

## SKŁAD CHEMICZNY OSADÓW BAGIENNYCH Z DOLINY LUCIĄŻY (TORFOWISKO BĘCZKOWICE NA RÓWNIENIE PIOTRKOWSKIEJ)

RYSZARD K. BORÓWKA<sup>1</sup>, JULITA TOMKOWIAK<sup>1</sup>, DANIEL OKUPNY<sup>2</sup>, JACEK FORYSIAK<sup>3</sup>

**A d r e s a u t o r ó w:** 1 – Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk o Ziemi, Zakład Geologii i Paleogeografii, ul. Mickiewicza 18, 70-383 Szczecin, e-mail: ryszard@univ.szczecin.pl; 2 – Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN, Wydział Geograficzno-Biologiczny, Instytut Geografii, Zakład Ekorozwoju i Kształtowania Środowiska Geograficznego, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków; 3 – Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geomorfologii i Paleogeografii, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź

**A b s t r a k t.** Analizę geochemiczną przeprowadzono dla osadów organicznych z torfowiska Bęczkowiec w środkowym biegu doliny rzeki Luciąża. Z profilu B-1, zlokalizowanego w południowej części doliny, pobrano do analiz geochemicznych 60 próbek osadów (do głębokości 3,00 m), reprezentujących 5-cm segmenty rdzenia. W próbkach tych oznaczono straty na prażeniu w temperaturze 550°C, informujące o zawartości materii organicznej oraz oznaczono pierwiastki o wymowie paleogeograficznej: Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn i metale ciężkie: Cu, Zn i Pb. Stosując analizę skupień wydzielono sześć lokalnych poziomów geochemicznych (LGZ), różniących się istotnie pod względem składu chemicznego osadów. Dla serii osadów torfowych określono również związki korelacyjne pomiędzy analizowanymi metalami, a także materią organiczną oraz obliczonymi wskaźnikami geochemicznymi: Ca/Mg, Na/K, Na+K+Mg/Ca, Fe/Ca, Fe/Mn, Cu/Zn, pozwalającymi na rekonstrukcję warunków akumulacji analizowanych osadów. W toku analizy składowych głównych zidentyfikowano 10 głównych czynników, z których wybrano trzy pierwsze PC1, PC2 i PC3, wyjaśniające łącznie 84,4% wariancji. Do czynników kształtujących skład chemiczny holocenicznych osadów organicznych w środkowej części doliny Luciąży zaliczono produktywność biologiczną ekosystemu torfowego, procesy denudacji chemicznej i mechanicznej w zlewni (zwłaszcza dostawę allochtonicznej materii mineralnej), wzrost udziału wód opadowych w bilansie wodnym torfowiska oraz działalność człowieka.

**S ł o w a k l u c z o w e:** osady torfowe, mokradło torfotwórcze, martwa dolina rzeczna, geochemia, środkowa Polska

### WPROWADZENIE

Zasadniczą właściwością zbiorników akumulacji biogenicznej jest gromadzenie osadów organogenicznych, które z kolei rejestrują własną historię oraz otoczenie jezior i torfowisk, oraz są nośnikami istotnych informacji o sferze abiotycznej i ożywionej (TOBOLSKI 2004). Jedną z podstawowych metod rekonstrukcji dawnych trendów

różnorodnych zmian środowiskowych są badania geochemiczne (BORÓWKA 2007). Osady biogeniczne pod względem właściwości fizykochemicznych zaliczane są do jednych z najbardziej niejednorodnych utworów (KWIATKOWSKI 1971; MALAWSKA i in. 2006; DOMIŃCZAK, OKUPNY 2010; PAWŁOWSKI i in. 2014). Za skład chemiczny osadów zbiorników akumulacji biogenicznej w strefie klimatu umiarkowanego odpowiadają: sedymentacja terygeniczna, sedymentacja biogeniczna, sedymentacja chemogeniczna substancji krystalicznych i bezpościowych, oraz adsorpcja jonów rozpuszczonych w wodzie (BORÓWKA 2007).

## OBSZAR I CEL BADAŃ

Do badań składu chemicznego osadów bagiennych w dolinie Luciąży wybrano rdzeń B-1, zlokalizowany w południowej części torfowiska Bęczkowice ( $\varphi$  51°11'05,5"N;  $\lambda$  19°42'44,6"E). Został on pobrany z jednego z przegłębień torfowiska (Ryc. 1), w którym stwierdzono występowanie dość miększej serii późnoglacialnych osadów bagiennych (FORYSIAK 2012).

W profilu rdzenia B-1 wyróżniono następujące warstwy (FORYSIAK 2012):

- A. 0,00–0,30 m – mursz;
- B. 0,30–0,70 m – torf turzycowy, słabo rozłożony;
- C. 0,70–0,95 m – torf turzycowo-trzciniowy, silnie rozłożony;
- D. 0,95–1,50 m – torf trzciniowy z udziałem makroszczątków turzyc oraz drewna;
- E. 1,50–2,15 m – torf turzycowo-mszysty;
- F. 2,15–2,75 m – torf turzycowy, dość dobrze rozłożony, ze szczytkami trzciny;
- G. 2,75–2,90 m – gytia detrytusowa, w części dolnej silnie zapiaszczona;
- H. 2,90–3,00 m – piasek drobno- i średnioziarnisty.

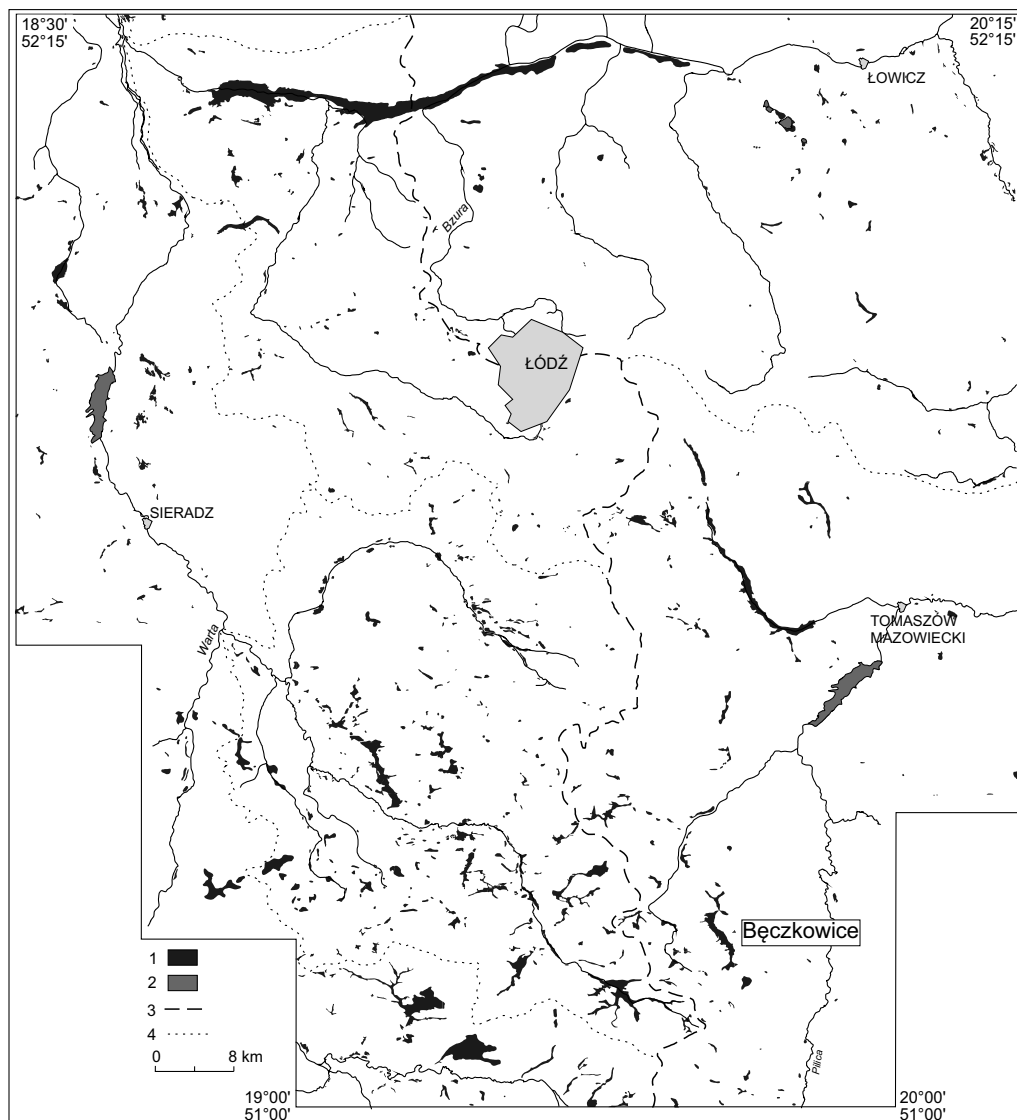
Do analiz geochemicznych pobrano z omawianego profilu 60 próbek osadów, reprezentujących 5-cm segmenty rdzenia. Ponadto, oznaczono wiek radiowęglowy czterech próbek osadów (Tab. 1).

Tabela 1. Wyniki oznaczeń wieku radiowęglowego oraz wieku kalibrowanego próbek osadów z profilu B-1 (wg FORYSIAKA 2012, z uzupełnieniami)

Table 1. Radiocarbon dates from B-1 peat core and results of calibration of radiocarbon dates from B-1 core (after FORYSIAK 2012, with additions)

L.p.	Głębokość (cm)	Rodzaj datowanego osadu	Wiek (lata $^{14}\text{C}$ BP)	Zakres wieku (lata kal. BP)*	Mediana i dyspersja wieku (lata kal BP)	Numer lab.
1.	105	torf trzciniowy	8480 ± 80	9595–9290	9444 ± 152	MKL-893
2.	212–215	torf turzycowo-mszysty	12340 ± 110	14945–13985	14465 ± 480	MKL-894
3.	250	torf turzycowy	12450 ± 140	15120–14095	14608 ± 512	MKL-617
4.	282–285	gytia detrytusowa	12430 ± 110	14380–14135	14258 ± 122	MKL-985

\* kalibracja z prawdopodobieństwem 95% (wg <http://www.adamwalanus.pl/c14cal.html>)



Ryc. 1. Położenie profilu B-1 z torfowiska Bęczkowiec na tle torfowisk regionu Łódzkiego wg Forsyia (2012) i Okupnego i in. (2014). 1 – torfowiska; 2 – rzeki i zbiorniki wodne; 3 – dział wodny pierwszego rzędu; 4 – działły wodne drugiego rzędu

Fig. 1. Location B-1 profile taken from Bęczkowiec peatland against the peatlands of Łódź Region after Forsyia (2012) and Okupny et al. (2014). 1 – peatlands; 2 – rivers and water reservoirs; 3 – watershed of the 1<sup>st</sup> order; 4 – watersheds of the 2<sup>nd</sup> order

Celem badań geochemicznych jest nie tylko poznanie stratygraficznej zmienności składu chemicznego osadów bagiennych, lecz także próba rekonstrukcji warunków środowiskowych panujących podczas akumulacji tych utworów w dolinie Luciąży, która miała miejsce w okresie późnego wistulianu oraz na początku holocenu.

## METODY BADAŃ

Zawartość materii organicznej i mineralnej w analizowanych próbkach oznaczano poprzez ich spalanie w piecu muflowym w temperaturze 550°C. Uzyskany po spalaniu popiół roztwarzano na mokro w mikrofalowym mineralizatorze Speedwave firmy Berghof, przy użyciu stężonego kwasu azotowego, 10% kwasu solnego oraz perhydrolu.

W uzyskanym roztworze, przy pomocy urządzenia SOLAAR 969 firmy Unicam oznaczono metodą spektrometrii absorpcji atomowej zawartość następujących pierwiastków: Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn i Pb. Obliczono także szereg wskaźników geochemicznych (Ca/Mg, Na/K, Na+K+Mg/Ca, Fe/Ca, Fe/Mn, Cu/Zn), pozwalających na rekonstrukcję warunków akumulacji analizowanych osadów.

Ponadto, dla obszarów dolinnych regionu łódzkiego, określono wartości tła geochemicznego (poziomu odniesienia, poziomu referencyjnego) dla poszczególnych pierwiastków. Określenie wartości lokalnego tła geochemicznego jest zagadnieniem bardzo złożonym, gdyż naturalna zawartość w środowisku przyrodniczym danych pierwiastków jest uwarunkowana szeregiem czynników geologicznych i przyrodniczych (KIJEWski 1995; MATSCHULLAT i in. 2000). ZGŁOBICKI (2008) zwraca uwagę na fakt, że powszechnie używane pojęcie tła geochemicznego nie zawsze jest jednoznacznie definiowane. Najczęściej za tło geochemiczne przyjmowana jest wielkość koncentracji danego pierwiastka w osadach czy glebach pozbawionych wpływu zanieczyszczeń antropogenicznych (m.in. KIJEWski 1995; LIS, PASIECZNA 2001). Przyjęty sposób wyznaczenia „koncentracji naturalnej” jest zgodny z metodyką określania tła geochemicznego w badaniach środowiska przyrodniczego (SHOTYK i in. 1990; GALUSZKA 2006). Wartości te obliczono uśredniając wyniki oznaczeń poszczególnych pierwiastków dla osadów podłoża następujących torfowisk dolinnych: Bęczkowice, Kopanicha, Mianów oraz Wilczków. Uzyskane wyniki tła geochemicznego (Na – 0,07 mg/g; K – 0,61 mg/g; Ca – 0,36 mg/g; Mg – 0,23 mg/g; Fe – 2,89 mg/g; Mn – 21,5 µg/g; Cu – 8,1 µg/g; Zn – 8,1 µg/g; Pb – 2,1 µg/g) umożliwiły obliczenie współczynników koncentracji oznaczonych pierwiastków oraz ich miejsca w szeregu migracyjnym, zgodnie z procedurą zaproponowaną przez BORÓWKĘ (1992):  $K_x = AC_x / n_x$  (gdzie  $K_x$  – bezwymiarowy współczynnik koncentracji danego pierwiastka,  $AC_x$  – zawartość danego pierwiastka w popiele osadów biogenicznych,  $n_x$  – średnia zawartość danego pierwiastka w podłożu mineralnym). Następnie obliczono procentowy udział poszczególnych współczynników koncentracji (w sumie 11 współczynników) dla danej próbki:  $K_{Na} + K_K + K_{Ca} + K_{Mg} + K_{Fe} + K_{Mn} + K_{Cu} + K_{Zn} + K_{Ni} + K_{Cr} + K_{Pb} = \Sigma K$ ;  $\Sigma K = 100\% = x\% Na + y\% K + \dots + z\% Pb$ . Ponadto bez wzięcia pod uwagę tła geochemicznego, które uwzględnia całokształt warunków środowiskowych sprzed okresu wzmożonego dopływu metali ciężkich, można wyciągnąć fałszywe wnioski na temat oceny rzeczywistego poziomu ich zawartości (BORÓWKa 2007).

Statystyczne opracowanie wyników analiz wykonano wykorzystując przede wszystkim program Microsoft Office Excel, a także program PAST – Paleontological Statistics (HAMMER i in. 2001).

## WYNIKI BADAŃ

Analiza diagramu geochemicznego (Ryc. 2) pozwoliła na wydzielenie sześciu poziomów, różniących się istotnie pod względem składu chemicznego osadów. Przeciętne wartości oznaczonych elementów geochemicznych w wyróżnionych poziomach prezentuje tabela 2.

Poziom **B-1/I**, reprezentowany przez dwie próbki, stanowią osady piaszczyste i piaszczysto-organiczne występujące w stropie serii mineralnej omawianego profilu, na głębokości od 300 do 290 cm. Utwory te zawierają najniższy udział materii organicznej (średnio – 1,3%), a także wapnia, magnezu i manganu. Relatywnie niska jest tutaj również koncentracja pozostałych metali (Tab. 2).

Poziom **B-1/II** odpowiada 15 cm warstwie silnie zapiaszczonej gytii, pojawiającej się na głębokości od 290 do 275 cm. Zawiera ona przeciętnie 18,5% materii organicznej, a ponadto maksymalny udział większości analizowanych metali, oprócz wapnia, manganu i ołowiu (Tab. 2). Zgodnie z klasyfikacją osadów jeziornych MARKOWSKIEGO (1980), która uwzględnia wzajemną relację udziału węglanu wapnia, materii organicznej i materii mineralnej, wyróżniony utwór posiada cechy gytii ilastej.

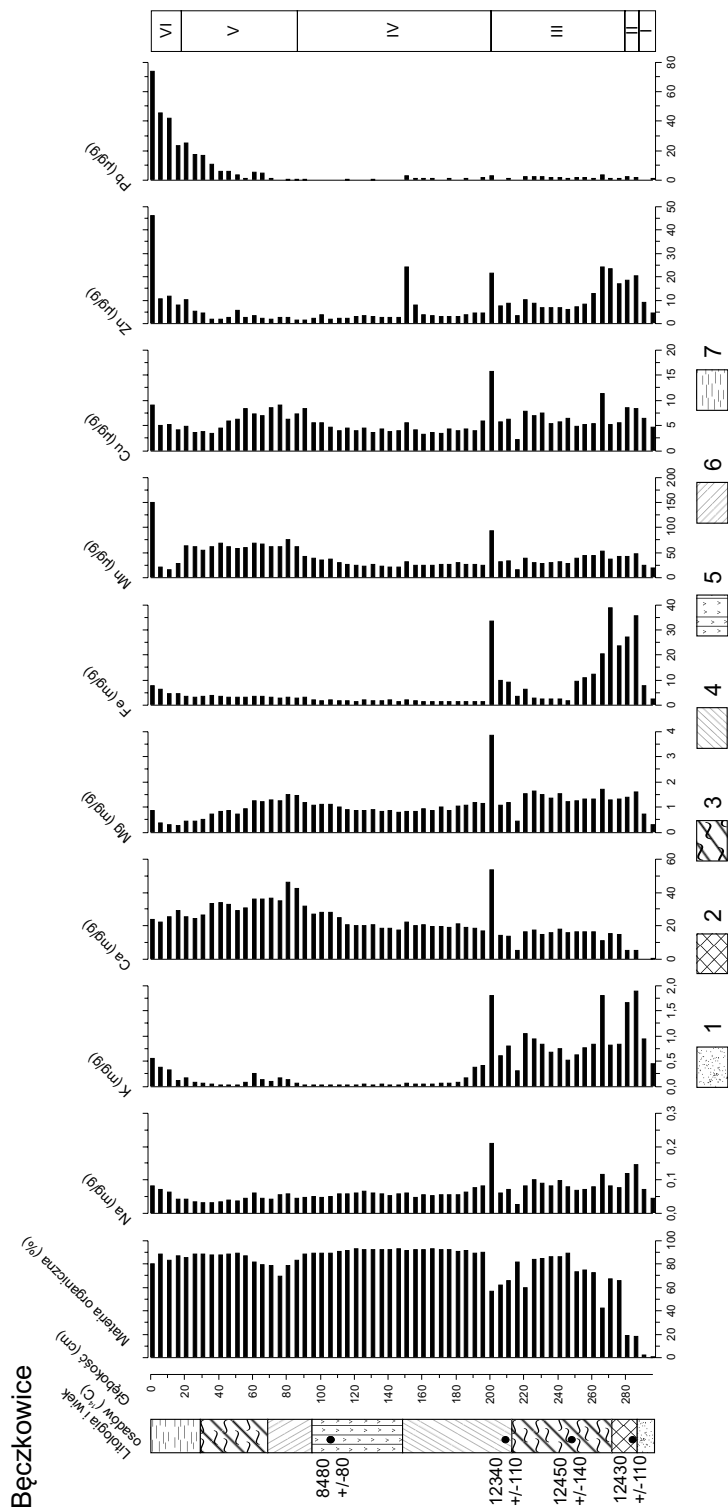
Poziom **B-1/III** obejmuje osady bagienne (głównie torf turzycowy) występujące na głębokości od 275 do 200 cm. Zawartość materii organicznej waha się tutaj od ok. 60 do 80%, osiągając średnio 72,2%. W dalszym ciągu utrzymuje się tutaj jeszcze stosunkowo wysoki udział pierwiastków litofilnych – potasu, magnezu i sodu. W dolnej części tego poziomu notuje się również relatywnie wysoką koncentrację żelaza oraz cynku. Górną granicę tego poziomu stanowi próbka z głębokości 202,5–200,0 cm, w której stwierdzono znaczący udział wszystkich analizowanych metali oprócz ołowiu (Ryc. 2), przy jednocześnie niskiej zawartości materii organicznej (56,8%).

W omawianym poziomie na uwagę zasługują stosunkowo wysokie wartości chemicznego współczynnika erozji (Na+K+Mg/Ca), a także stosunku Fe/Mn, szczególnie

Tabela 2. Bęczkowice, profil B-1 – średnia zawartość materii organicznej oraz wybranych metali w poszczególnych lokalnych poziomach geochemicznych oraz całej serii torfów (pogrubioną czcionką zaznaczono maksima średniej zawartości oznaczonych elementów)

Table 2. Bęczkowice peatland, B-1 core – the average content of organic matter and selected metals in the each local geochemical levels and a all series of peat (maximum content of tagged components indicated in bold font)

Poziomy geochemiczne	Materia organiczna (%)	Na (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)	Fe (mg/g)	Mn (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Pb (µg/g)
VI	84,73	0,06	0,35	25,12	0,47	5,76	53,88	5,89	19,06	<b>46,20</b>
V	83,96	0,04	0,10	<b>33,52</b>	0,97	3,27	<b>63,68</b>	6,20	3,52	7,17
IV	<b>91,42</b>	0,06	0,08	21,49	0,98	1,75	28,18	4,58	4,19	0,75
III	72,22	0,09	0,88	17,32	1,48	11,90	39,09	6,78	11,26	1,83
II	18,5	<b>0,13</b>	<b>1,78</b>	5,12	<b>1,50</b>	<b>31,50</b>	44,95	<b>8,52</b>	<b>19,49</b>	2,04
I	1,3	0,06	0,70	0,27	0,54	5,17	21,71	5,57	6,80	0,98



Ryc. 2. Diagram geochemiczny rdzenia B-1. Litologia: 1 – piaski średnio- i drobnoziarniste, 2 – gytia detrytusowa, 3 – torf turzycowy, zapiaszczony, 4 – torf turzycowo-mszysty, 5 – torf trzcinyowy z drewnem, 6 – torf turzycowiskowy, silnie rozłożony, 7 – mursz

Fig. 2. Geochemical diagram of the B-1 core. Lithology: 1 – medium and fine-grained sands, 2 – detrital gyttja, 3 – sedge peat with sand, 4 – sedge-moss peat, 5 – reed peat with wood, 6 – tall-sedge highly decomposed peat, 7 – muck

Tabela 3. Wartości współczynników korelacji (r) i wysokich współczynników determinacji ( $R^2$ ) obliczone dla poszczególnych metali oznaczonych w serii osadów torfowych poziomu geochemicznego B-1/III

Table 3. Matrix of correlation (r) and high of determination coefficients ( $R^2$ ) between the contents of organic matter and selected metals in deposits of the B-1/III geochemical level

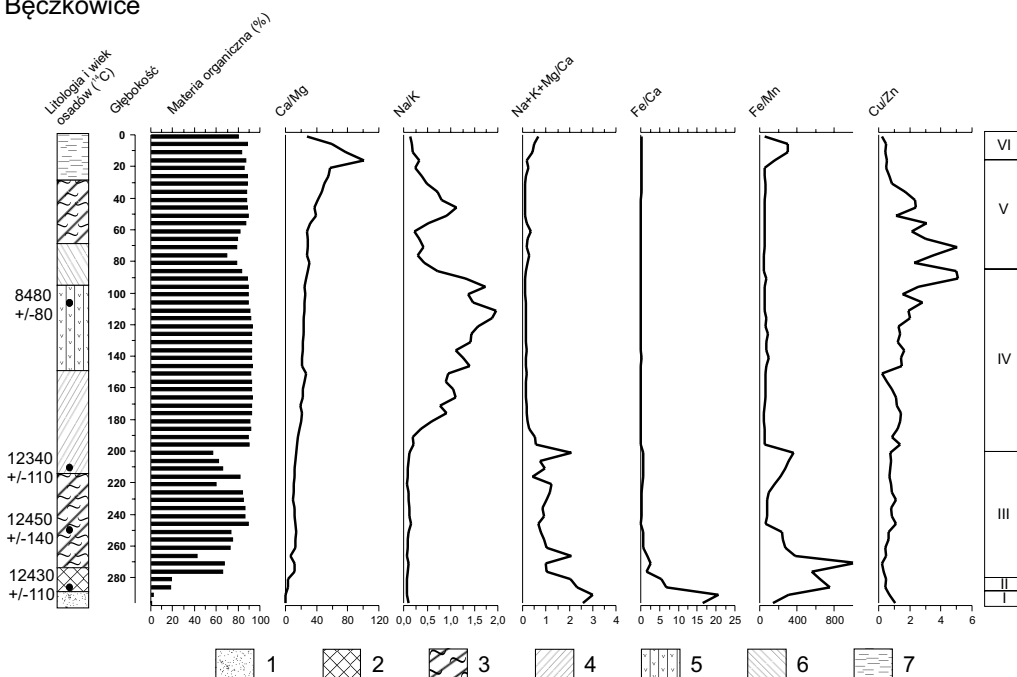
Poziom geochemiczny B-1/III (N = 15)										
r	MO	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb
MO	1									
Na	-0,207	1								
K	<b>-0,706</b>	0,772	1							
Ca	0,223	0,558	0,077	1						
Mg	-0,220	<b>0,953</b>	<b>0,746</b>	0,675	1					
Fe	-0,580	0,128	0,347	-0,044	0,093	1				
Mn	<b>-0,712</b>	0,570	<b>0,764</b>	0,338	0,622	0,544	1			
Cu	-0,542	0,828	0,904	0,199	<b>0,795</b>	0,105	0,594	1		
Zn	<b>-0,698</b>	0,485	<b>0,714</b>	-0,006	0,417	<b>0,885</b>	<b>0,721</b>	0,502	1	
Pb	-0,363	<b>0,814</b>	<b>0,871</b>	0,167	<b>0,803</b>	0,013	0,527	<b>0,880</b>	0,431	1

w jego górnej części (Ryc. 3). Ponadto, w poziomie tym stwierdzono ujemny związek korelacyjny pomiędzy procentowym udziałem materii organicznej a zawartością potasu, manganu i cynku, a także pomiędzy parami metali litofilnych: Na i K, Na i Mg oraz K i Mg. Istnieją również silne związki korelacyjne sodu, potasu i magnezu z miedzią i ołowiem, a także żelaza i manganu z cynkiem (Tab. 3).

Poziom **B-1/IV** obejmuje przede wszystkim osady torfowe występujące na głębokości od 200 do 90 cm, początkowo są to torfy turzycowo-mszyste, a następnie trzcinowe z rosnącym udziałem turzyc. Charakteryzuje się on stabilną, a zarazem wysoką zawartością materii organicznej (91,4%), a ponadto niską koncentracją potasu, magnezu, żelaza, manganu, miedzi i ołowiu. W jego obrębie zauważa się także malejący ku górze udział sodu, a jednocześnie rosnącą zawartość wapnia (Ryc. 2). Ponadto, odznacza się wysoką wartością stosunku Na/K (Ryc. 3). Jak wynika z tab. 4, istnieje wysoce istotna, ujemna korelacja pomiędzy materią organiczną a zawartością magnezu, manganu, wapnia i miedzi, a także dodatnie związki korelacyjne sodu z potasem, cynku z ołowiem, wapnia z manganem i żelazem oraz miedzi z manganem i żelazem.

Poziom **B-1/V** występuje na głębokości od 90 do 20 cm. W części dolnej jest to torf turzycowo-trzcinowy, przechodzący następnie w torf turzycowy. W obrębie tego poziomu maksimum udziału uzyskują wapń i mangan, natomiast minimum sód i cynk (Tab. 2). W porównaniu z poziomem B-1/IV odnotowuje się tutaj wyraźnie niższą zawartość materii organicznej (średnio – 83,96%). Zaznacza się to szczególnie na głębokości od 80 do 65 cm, gdzie spada ona poniżej 80%, przy jednoczesnym wzroście zawartości potasu i miedzi. Na tej samej głębokości zaznacza się też pewien niewielki wzrost chemicznego wskaźnika erozji, a zarazem spadek wartości stosunku

## Bęczkowice



Ryc. 3. Pionowe zróżnicowanie wybranych wskaźników geochemicznych w osadach profilu B-1.

Litologia: patrz Fig. 2

Fig. 3. Vertical differences in the selected geochemical parameters within the deposits of the B-1 core.  
Lithological explanation: see Fig. 2

Na/K. Natomiast, począwszy od górnej części poziomu B-1/IV, a następnie w całym poziomie B-1/V obserwuje się wysokie wartości stosunku Cu/Zn (Ryc. 3).

W obrębie omawianego poziomu stwierdzono bardzo silny dodatni związek korelacyjny pomiędzy udziałem Ca i Mg, a także wysoce istotne związki sodu z potasem oraz cynku z ołowiem. Na uwagę zasługuje również ujemny związek korelacyjny magnezu z ołowiem (Tab. 5).

Poziom **B-1/VI** stanowi stropową, zmurszałą część utworów bagiennych występujących od głębokości 20 cm do powierzchni. Udział materii organicznej jest tutaj tylko nieco wyższy niż w poziomie B-1/V (średnio – 84,73%), natomiast wyraźne maksimum zawartości zanotowano dla ołowiu (Tab. 1). Ponadto, występują tu stosunkowo wysokie i rosnące ku górze koncentracje cynku i miedzi, a także sodu oraz potasu (Ryc. 2).

## ANALIZA SKŁADOWYCH GŁÓWNYCH

Analizę składowych głównych (Principal components analysis – PCA) zastosowano dla zestawu dziesięciu zmiennych geochemicznych (materia organiczna, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb). W toku analizy zidentyfikowano 10 głównych składowych,



Tabela 4. Wartości współczynników korelacji (r) i wysokich współczynników determinacji (R<sup>2</sup>) obliczone dla poszczególnych metali oznaczonych w serii osadów torfowych poziomu geochemicznego B-1/IVTable 4. Matrix of correlation (r) and high of determination coefficients (R<sup>2</sup>) between the selected geochemical parameters in deposits of the B-1/IV geochemical level

Poziom geochemiczny B-1/IV (N = 22)										
r	MO	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb
MO	1									
Na	-0,066	1								
K	-0,353	<b>0,839</b>	1							
Ca	<b>-0,714</b>	-0,556	-0,389	1						
Mg	<b>-0,920</b>	0,213	0,522	0,509	1					
Fe	-0,417	-0,371	-0,391	<b>0,712</b>	0,166	1				
Mn	<b>-0,807</b>	-0,440	-0,198	<b>0,947</b>	0,628	0,615	1			
Cu	<b>-0,701</b>	-0,054	0,093	0,645	0,513	<b>0,716</b>	<b>0,717</b>	1		
Zn	0,058	0,084	0,056	-0,075	-0,255	0,063	0,045	0,146	1	
Pb	-0,006	0,293	0,388	-0,256	-0,075	-0,186	-0,062	0,156	<b>0,845</b>	1

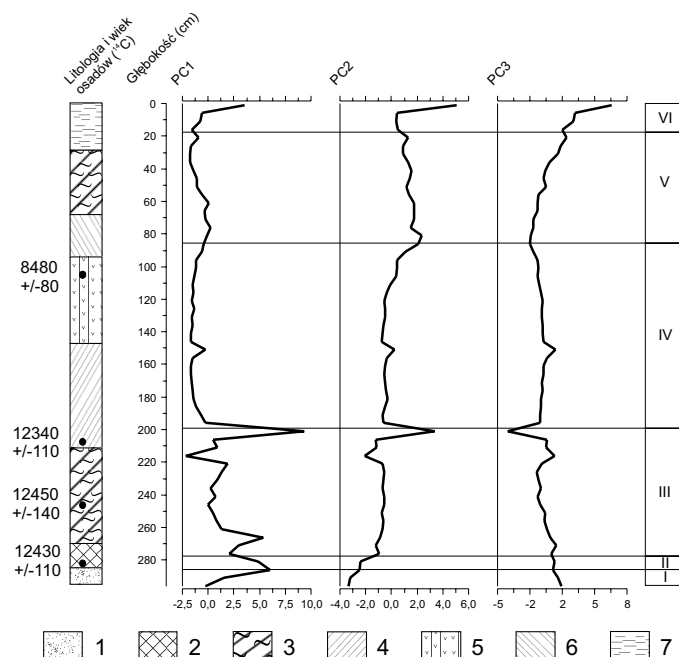
Tabela 5. Wartości współczynników korelacji (r) i wysokich współczynników determinacji (R<sup>2</sup>) obliczone dla poszczególnych metali oznaczonych w serii osadów torfowych poziomu geochemicznego B-1/VTable 5. Matrix of correlation (r) and high of determination coefficients (R<sup>2</sup>) between the selected geochemical parameters in deposits of the B-1/V geochemical level

Poziom geochemiczny B-1/V (N = 14)										
r	MO	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb
MO	1									
Na	-0,719	1								
K	-0,591	<b>0,785</b>	1							
Ca	-0,541	0,599	0,137	1						
Mg	-0,707	0,732	0,328	<b>0,922</b>	1					
Fe	0,512	-0,391	-0,105	-0,281	-0,502	1				
Mn	-0,325	0,601	0,383	0,660	0,514	0,209	1			
Cu	-0,699	0,655	0,384	0,483	0,754	-0,742	0,068	1		
Zn	0,293	-0,111	0,250	-0,666	-0,657	0,180	-0,193	-0,371	1	
Pb	0,485	-0,467	0,036	-0,759	<b>-0,844</b>	0,506	-0,274	-0,745	<b>0,784</b>	1

z których wybrano trzy pierwsze – PC1, PC2 i PC3, wyjaśniające łącznie 84,47% wariacji (Tab. 6)

Pierwsza składowa główna (PC1) jest silnie dodatnio skorelowana z zawartością potasu, sodu, żelaza, miedzi, magnezu i cynku przy jednocześnie nieco słabszej

## Bęczkowice



Ryc. 4. Wykresy wartości składowych głównych oraz wydzielone poziomy geochemiczne w osadach profilu B-1. Litologia: patrz Fig. 2

Fig. 4. Plots of principal components separate and the geochemical level in sediment of B-1 core. Lithological explanation: see Fig. 2

ujemnej korelacji z materią organiczną. Wynika stąd, że informuje ona z jednej strony o nasileniu dostawy materii mineralnej związanej głównie z denudacją mechaniczną, a z drugiej strony o produkcji autochtonicznej materii organicznej. A zatem procesy depozycji allochtonicznej materii mineralnej, wyjaśniające prawie 47% ogólnej zmienności geochemicznej analizowanych utworów (Tab. 7), odgrywały najważniejszą rolę w kształtowaniu składu chemicznego osadów ze stanowiska Bęczkowice. Współwystępowanie wymienionych wyżej pierwiastków, występujących w składnikach mineralnych obecnych w torfach jest zjawiskiem powszechnym i wynikać może nie tylko z sorbowania metali przez minerały ilaste ale także ze strącania siarczków metali w warunkach ograniczonego natlenienia (WOSZCZYK, SPYCHALSKI 2007; RYDELEK 2011).

Składowa druga (PC2), wyjaśniająca ponad 21% zmienności geochemicznej osadów (Tab. 6), jest silnie dodatnio skorelowana ze zmiennością zawartości wapnia oraz manganu (Tab. 7), a więc pierwiastków, które są bardzo łatwo dostarczane wraz z wodami gruntowymi, i świadczy o zmianach nasilenia denudacji chemicznej (BORÓWKA 1992).

Składowa trzecia (PC3), która wyjaśnia ok. 16% zmienności geochemicznej osadów (Tab. 6), jest bardzo silnie skorelowana jedynie ze zmiennością zawartości ołowiu

(Tab. 7). Pozwala to na postawienie tezy o geochemicznej antropopresji na środowisko, lecz niekoniecznie w skali lokalnej, ponieważ związki ołowiu mogą być intensywnie dostarczane wskutek migracji atmosferycznej, wraz z opadami (BRÄNNVALL i in. 2001; PRATTE i in. 2013; KÜTTNER i in. 2014).

Tabela 6. Procent wariancji dla poszczególnych składowych

Table 6. Percent variation for each component

Składowe główne	% całkowitej wariancji
1	<b>46,92</b>
2	<b>21,27</b>
3	<b>16,28</b>
4	6,26
5	3,86
6	2,43
7	1,42
8	0,89
9	0,42
10	0,25

Tabela 7. Korelacja zmiennych geochemicznych z trzema pierwszymi głównymi składowymi (czcionką pogrubioną wyróżniono najsilniejsze związki korelacyjne)

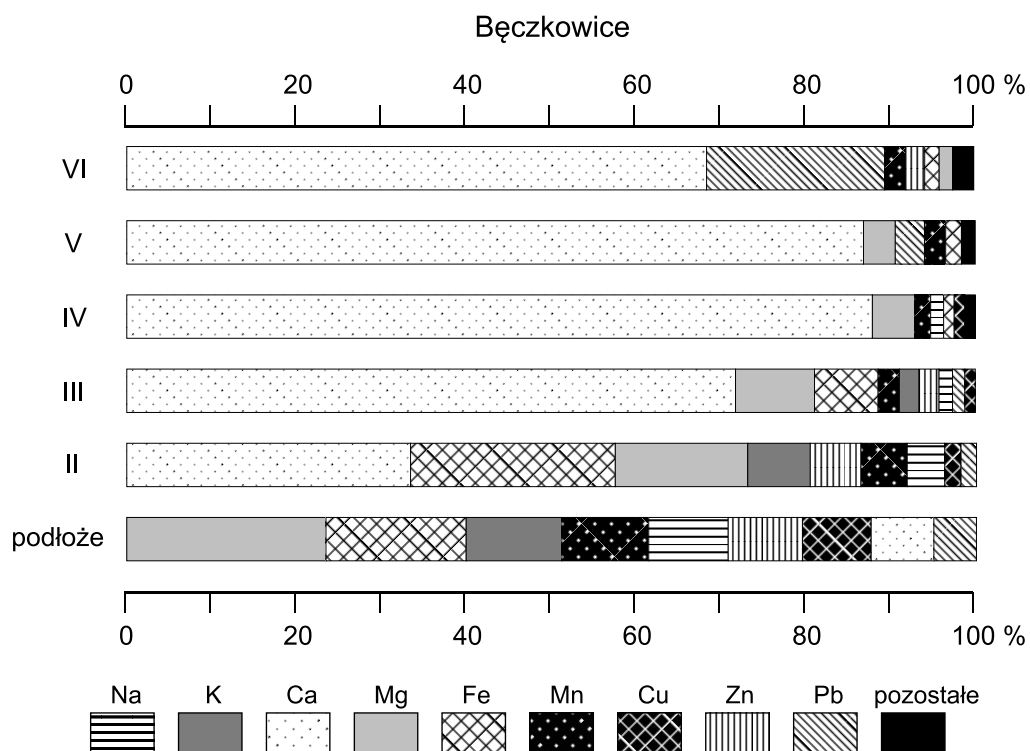
Table 7. Correlation of geochemical variables with three first principal component (bold of font marked the strongest correlations)

Zmienne geochemiczne	PC1	PC2	PC3
Mat. org.	<b>-0,64</b>	0,45	-0,17
Na	<b>0,89</b>	-0,10	-0,17
K	<b>0,92</b>	-0,31	0,03
Ca	-0,08	<b>0,88</b>	-0,38
Mg	<b>0,75</b>	0,18	-0,59
Fe	<b>0,84</b>	-0,16	0,07
Mn	0,41	<b>0,79</b>	0,18
Cu	<b>0,82</b>	0,35	-0,22
Zn	<b>0,72</b>	0,13	0,57
Pb	0,07	0,47	<b>0,81</b>

## ZMIANY KONCENTRACJI ANALIZOWANYCH METALI W KONTEKŚCIE REGIONALNEGO TŁA GEOCHEMICZNEGO

Profil omawianych osadów bagiennych formował się w sąsiedztwie krawędzi doliny Luciąży, która w okolicach Bęczkowice jest całkowicie zajęta przez rozległe torfowisko niskie (por. Ryc. 1). Bliskość krawędzi powoduje, że analizowane osady biogeniczne powstawały przy współdziałaniu procesów denudacyjnych. Z samego składu chemicznego osadów nie można jednak wnioskować bezpośrednio o intensywności i charakterze procesów denudacyjnych, a zwłaszcza udziale denudacji chemicznej (BORÓWKA 1992). Z tego też względu, posługując się procedurą opracowaną przez BORÓWKĘ (1992), dla każdego z pierwiastków obliczono współczynniki koncentracji, które po zsumowaniu umożliwiły określenie procentowego udziału wybranego metalu w szeregu migracyjnym.

Dzięki zastosowaniu tej procedury w odniesieniu do średnich zawartości oznaczonych pierwiastków w wyróżnionych wcześniej lokalnych poziomach geochemicznych (Tab. 2), udało się stwierdzić i zobrazować (Ryc. 5), które z metali odznaczają się



Ryc. 5. Pionowe zróżnicowanie wielkości współczynników koncentracji poszczególnych metali wyrażone w procentach sumy tych współczynników w osadach profilu B-1

Fig. 5. Vertical differences in concentration coefficients for particular metals, presented as per cent of sum of these coefficients in deposits of the B-1 core

największą lub najmniejszą koncentracją w utworach bagiennych w konfrontacji z regionalnym tłem geochemicznym, a także w jaki sposób przedstawiają się względne relacje koncentracji tych metali w układzie stratygraficznym.

We wszystkich wyróżnionych poziomach osadów bagiennych z profilu w Bęczkowicach, na pierwszym miejscu w szeregu migracyjnym znajduje się wapń. Jest to pierwiastek łatwo migrujący wraz z wodami gruntowymi i tą drogą był dostarczany do basenu sedymentacji utworów bagiennych. W poziomie geochemicznym B-1/II znaczenie wapnia w szeregu migracyjnym jest stosunkowo niewielkie, co może się wiązać ze słabym dopływem wód gruntowych, które w tym czasie (ok. 14 000 lat kal. BP – por. tab. 1) były zapewne objęte wieloletnią zmarzliną. Dolinę mogły wówczas zasilać wody związane ze strefą czynną zmarzliny, dostarczające również łatwo migrujące związki żelaza dwuwartościowego, które w poziomie B-1/II zajmuje drugie miejsce w szeregu migracyjnym (Ryc. 5). Obecność manganu, na dość odległym miejscu w szeregu migracyjnym pierwiastków, kilka miejsc za żelazem (po Mg, K i Zn), może sugerować bardzo słaby wpływ wód rzecznych na rozwój torfowiska. Wody rzeczne są bowiem zwykle bogate w jony  $Mn^{2+}$  lub transportują ten metal w formie zawiesiny koloidalnej (KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1979).

W poziomie B-1/III wzrasta bardzo wyraźnie znaczenie wapnia i magnezu w szeregu migracyjnym pierwiastków, co może wskazywać na rozpoczęcie procesu degradacji zmarzliny. Zmniejsza się znaczenie żelaza, natomiast mangan awansuje z szóstego na czwarte miejsce w szeregu migracyjnym.

W poziomach B-1/IV i B-1/V łączny udział wapnia i magnezu w szeregu migracyjnym przekracza 90%. W tym czasie bardzo wyraźnie spada znaczenie potasu, który w niżej leżących poziomach zajmował czwarte i piąte miejsce (Ryc. 5).

W najwyższym poziomie geochemicznym (B-1/VI) na drugie miejsce w szeregu migracyjnym przesuwają się ołów, natomiast trzecie i czwarte zajmują mangan i cynk. Wysoka pozycja ołowiu, a także cynku w szeregu migracyjnym pierwiastków wskazuje na ich antropogeniczne pochodzenie. Jednocześnie wzrost znaczenia manganu może świadczyć o większej częstotliwości oddziaływania wód rzecznych podczas formowania się tego najmłodszego poziomu geochemicznego.

## DYSKUSJA I INTERPRETACJA UZYSKANYCH WYNIKÓW BADAŃ

Zgodnie z wynikami wstępnej analizy palinologicznej wykonanej przez M. Obremską, a także oznaczeniami wieku radiowęglowego osadów (por. FORYSIAK 2012 i Tab. 1), poziom geochemiczny B-1/II oraz dolna część poziomu B-1/III (od 275 do 260 cm) odpowiadają okresowi najstarszego dryasu. W tym czasie akumulacja gytii detrytusowej oraz torfu turzycowego odbywała się w warunkach wzmózonej dostawy materii mineralnej oraz potasu (Ryc. 1), co jednocześnie potwierdza wysoka wartość chemicznego współczynnika erozji (Ryc. 2). Geochemiczne dowody na wzmózoną dostawę allochtonicznej materii mineralnej (rzędu 11–80%) ze zlewni do zbiorników akumulacji biogenicznej w tym okresie udokumentowano także

w utworach innych torfowisk regionu. W okresie tym nastąpiła akumulacja torfu mszystego oraz gytii wapiennej i ilastej w misie torfowiska Witów (WASYLIKOWA 1964, 2011), gytii wapiennej na stanowisku Ługi (FORYSIAK 2012; OKUPNY 2013; OKUPNY i in. 2013a), mułku jeziornego w misie torfowiska Żabieniec (BORÓWKA, TOMKOWIAK 2010; FORYSIAK i in. 2010), gytii ilastej i drobnodetrytusowej na stanowisku Rąbień (KLOSS 2007; FORYSIAK i in. 2012) czy gytii wapiennej w Dolinie Świętojanki (GOŹDZIK, KONECKA-BETLEY 1992a,b). Był to również okres utrzymywania stosunkowo wysokiej koncentracji cynku, który w środowisku tundrowym podlega silnej bioakumulacji przez niektóre rośliny, w tym zwłaszcza brzozę i wierzbę karłowatą (FORTESCUE 1980, REIMANN i in. 2007). Z diagramu prezentującego szeregi migracyjne pierwiastków (Ryc. 5) wynika, że w tym czasie niemal równoważne miejsce w szeregu migracyjnym pierwiastków zajmowały wapń, żelazo oraz magnez, co świadczy najprawdopodobniej o ograniczonym zasilaniu gruntowym w związku z istnieniem w podłożu wiecznej zmarzliny. Dominowało natomiast zasilanie śródpokrywowe, funkcjonujące w strefie czynnej wiecznej zmarzliny, na co wskazują wysokie wartości stosunku Fe/Mn, świadczące o dominacji warunków redukcyjnych, sprzyjających zarazem migracji żelaza.

Górna część poziomu geochemicznego B-1/III (od 220 do 200 cm) prezentuje dość ciekawą sekwencję zmian składu chemicznego osadów, które odznaczają się tutaj wyraźnie niższą zawartością materii organicznej, a jednocześnie wyższymi wartościami chemicznego współczynnika erozji, a także stosunku Fe/Mn. Jednocześnie w stropie tej sekwencji notuje się wysoką koncentrację wszystkich analizowanych pierwiastków (Ryc. 2). Można na tej podstawie wnioskować, że ta około 20 cm warstwa osadów reprezentuje glebę kopalną z dobrze zachowanym poziomem akumulacyjnym. Jak wynika z analizy palinologicznej (FORYSIAK 2012), gleba ta formowała się w okresie ocieplenia *allerød*. Doszło wówczas nie tylko do spowolnienia procesu sedentacji torfu, ale także prawdopodobnie do częściowego przesuszenia i mineralizacji podłoża torfowego rozwijającej się gleby, mimo iż w okresie tym rozpoczęła się akumulacja biogeniczna w wielu zbiornikach, nie tylko regionu łódzkiego (FORYSIAK 2012) ale także pozostałej części strefy staroglacjalnej (ŻUREK 1990, 1994).

W poziomach geochemicznych B-1/III i B-1/IV notuje się stopniowy wzrost znaczenia migracji wapnia, co świadczy o rosnącym zasilaniu torfowiska przez wody gruntowe, bogate w jony wodorowęglanowe. Jak wynika z datowań palinologicznych i radiowęglowych (FORYSIAK 2012), taka sytuacja utrzymywała się od *bølingu* do końca *preboreału*. Ponadto, w poziomie B-1/IV, reprezentującym głównie okres *preborealny* (FORYSIAK 2012), na uwagę zasługuje wysoka wartość stosunku Na/K, wskazującym na wyraźną przewagę sodu w stosunku do potasu. W tym poziomie sól przesuwana się z dalekiego, na czwarte miejsce w szeregu migracyjnym pierwiastków (Ryc. 5). Z wcześniejszych badań składu chemicznego osadów torfowych można wnosić (BORÓWKA 1992), że wysokie wartości stosunku Na/K przypadają raczej na okresy wzmózonej ewapotranspiracji, co mogło mieć miejsce podczas *preboreału*, podczas którego zanotowano między innymi niski poziom wody na niezbyt odległym

torfowisku „Zabieniec” (FORYSIAK i in. 2010), a także w jeziorze Gościąż (STARKEL i in. 1998). Duże znaczenie diagnostyczne posiada popielność badanych torfów. Znaczną zawartością części popielnych (średnio 25%) odznaczają się torfy późno-vistuliańskie, natomiast torfy holocenięskie zawierają wyraźnie mniejsze zawartości popiołu, na ogół od 8% do 20% suchej masy torfu. Zgodnie z klasyfikacją osadów organicznych według OKRUSZKO (1994) pierwszy typ utworów wykazuje cechy słabego zamulenia, zaś torfy zalegające na głębokości od 185 cm do powierzchni terenu są niezamulone.

W spągu poziomym B-1/V, na głębokości od 90–70cm, gdzie występuje warstwa silnie rozłożonego torfu turzycowo-trzcinowego, wyraźnie wzrasta udział materii mineralnej. Warstwa ta reprezentuje zapewne horyzont kopalnej gleby bagiennej, rozwijającej się najprawdopodobniej od okresu borealnego aż do subboreału. W tym czasie została zahamowana sedentacja torfu w efekcie obniżenia poziomu wody na torfowisku. Stało się to zapewne w związku z opanowaniem obszarów sąsiednich przez zbiorowiska leśne o dużym potencjale ewapotranspiracyjnym. Jednocześnie zaznaczył się już proces okresowego podtapiania torfowiska przez wody rzeczne, który trwał także podczas sedentacji wyżej leżącej warstwy torfu turzycowego (w poziomie B-1/V). Świadczy o tym relatywnie wysoki udział manganu (Ryc. 1), który może być wskaźnikiem wzmożonego zasilania rzeczno. Jednakże w dalszym ciągu przeważało wówczas zasilanie gruntowe, na co wskazuje dominujące znaczenie wapnia w szeregu migracyjnym pierwiastków (Ryc. 5). Mieszany reżim hydrologiczny, obejmujący zarówno wody gruntowe i powierzchniowe, odzwierciedla skład chemiczny utworów narastających w holocenie w misach innych torfowisk dolinnych regionu, tzn. Ługi czy Podwódka (OKUPNY 2013; OKUPNY i in. 2013b). W poziomie B-1/V zaznacza się również stopniowy wzrost zawartości ołowiu oraz cynku. W przypadku tych metali stwierdzono istotną ujemną korelację z magnezem oraz wapniem (Tab. 5), co oznacza że ich zawartość nie jest związana z procesem gruntowego zasilania torfowiska. Ich dostawa na teren badanego torfowiska jest zapewne związana z migracją atmosferyczną. Proces ten nasilił się jeszcze w czasie akumulacji osadów najmłodszego poziomu B-1/VI, gdzie ołów znajduje się na drugim miejscu w szeregu migracyjnym pierwiastków. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń na temat wpływu osuszenia mokradeł na właściwości agrochemiczne osadów organicznych (SZEWCOW i in. 2011), można sądzić, że intensyfikacja procesów mineralizacji i humifikacji wierzchniej warstwy złoża sprzyja akumulacji wapnia w torfie, co w badanym profilu objawia się dużym udziałem współczynnika koncentracji tego pierwiastka (powyżej 60%) (Ryc. 5). Podwyższonej popielności (średnia wartość wynosi 16%) opisywanej warstwy murszu towarzyszy prawie dwukrotny (względem B-1/V poziomu geochemicznego) wzrost średniej koncentracji żelaza. Taka sytuacja może przyczyniać się do tworzenia konglomeratów i ograniczenia dostępności składników pokarmowych dla roślin (GRZYWNA 2014). Jest to szczególnie istotne dla produktywności użytków zielonych w południowej części torfowiska podlegającemu ekstensywnemu użytkowaniu kośnemu i pastwiskowemu (ZAJĄC i in. 2012).

## Summary

## CHEMICAL COMPOSITION OF BIOGENIC SEDIMENTS FROM THE RIVER VALLEY LUCIAŻA (BĘCZKOWICE PEATLAND IN THE PIOTRKÓW PLAIN)

Bęczkowiec peatland is located in central part of the river valley Luciaża, near Kamięnsk. In order to reconstruct the main stages of sedimentation of organic deposits, taken from the southern part of the Bęczkowiec peatlands, used stratigraphic variability of concentration marked litho-geochemistry elements (organic matter, mineral matter, macro- and microelements) and changes in the proportions of the participation of selected elements, i.e., catchment erosion indicator ( $\text{Na}+\text{Mg}+\text{K}/\text{Ca}$ ), eutrophication indicator ( $\text{Fe}/\text{Ca}$ ), type and rate of denudation in the catchment indicator ( $\text{Na}/\text{K}$ ,  $\text{Ca}/\text{Mg}$ ) and conditions of oxidation-reduction indicator ( $\text{Cu}/\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}/\text{Mn}$ ).

Peat sedimentation was interrupted at the beginning of the Atlantic. The peatland developed again in the Subatlantic (FORYSIAK 2012).

As a result of the hierarchical cluster analysis was collected in the study profile of six geochemical levels (B-1/I–VI), which differ significantly of chemical composition. The main litho-geochemistry component of studied sediment is organic matter (42.4–93.2%), which indicates the relative changes in the primary of biological production in wetlands. The average content of the several tested components (for example: mineral matter, lithophilic and sulfophilic elements) have the low differentiation between all geochemical levels, constitute a record stable of environmental conditions (mainly geomorphological and hydrological). Sediments of geochemical level B-1/I represents the phase of mineral and mineral with a small amount organic matter layer in reduced conditions (increase  $\text{Fe}/\text{Mn}$  ratio to 313) and increased mechanical denudation (catchment erosion indicator ranges from 2.58 to 3.1 and type of denudation in the catchment indicator –  $\text{Na}/\text{K}$  ranges from 0.07 to 0.10). Geochemical level B-1/II are characterized by gradual increase of organic matter content (from 18.3 to 66.2%) and slow increase type of denudation in the catchment indicator:  $\text{Na}/\text{K}$  (from 0.07 to 0.09) in the clay limnic deposits. Geochemical levels B-1/III are the record of sedimentation autochthonous rock-forming matter of autogenic origin (average content of organic matter is 72.2%) and rapid change of redox conditions (decrease of  $\text{Fe}/\text{Mn}$  ratio from 1036 to 358). Geochemical levels B-1/IV represents the phase mainly of sedge-moss peat and reed peat layers deposition in oxygenated conditions in sedimentary environment (average  $\text{Fe}/\text{Mn}$  ratio is 63.1) and gradual increase rate of chemical denudation ( $\text{Na}/\text{K}$  ratio ranges from 0.6 to 1.95). Geochemical level B-1/V is record of sedimentation of autochthonous rock-forming matter of autogenic origin (organic matter ranges from 69.3% to 91.9%) and significant increase of mechanical denudation in the catchment (average of catchment erosion indicator increased to 0,36). Geochemical level B-1/VI is the record change type of sedimentation of peat on muck, as is also indicated by abrupt decrease of organic matter (to 80%), decrease of  $\text{Fe}/\text{Mn}$  ratio (to 51) and increase catchment erosion indicator (from 0.14 to 0.67).

The most important factors (distinguished on the basis of principal components analysis) that affect the chemical composition of sediments from the site Bęczkowiec are: biological productivity in wetland's ecosystem, mechanical and chemical denudation processes in the catchment (eg. the supply of allochthonous mineral matter), sorption of organic deposits, increase of the rainwater in the water balance and anthropogenic activity.

## LITERATURA

- BORÓWKA R.K., 1992. The pattern and magnitude of denudation in interplateau sedimentary basins during the Late Vistulian and Holocene (in Polish with English summ.). Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Seria Geografia **54**: 1–177.
- BORÓWKA R.K., 2007. Geochemiczne badania osadów jeziornych strefy umiarkowanej. *Studia Limnologica et Talmatologica* **1**(1): 33–42.



- BORÓWKA R.K., TOMKOWIAK J., 2010. Skład chemiczny osadów z profilu torfowiska Żabieniec. [W:] J. TWARDY, S. ŻUREK, J. FORYSIAK (red.) Torfowisko Żabieniec. Warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 163–172.
- BRÄNNVALL M.-L., BINDER R., EMTERYD O., RENBERG I., 2001. Four thousand years of atmospheric lead pollution in northern Europe: a summary from Swedish lake sediments. *Journal of Paleolimnology* **25**: 421–435.
- DOMIŃCZAK P., OKUPNY D., 2010. Spatial variability of selected physicochemical properties of biogenic sediments in the Kopanicha peatland near Skierniewice (in Polish with English summ.). *Prace Geograficzne IGIiP* **123**: 99–110.
- FORTESCUE J.A.C., 1980. *Environmental geochemistry. A holistic approach*. Springer-Verlag, New York: 1–347.
- FORYSIAK J., 2012. Record of changes in the natural environment of the Late Weichselian and Holocene preserved in the sediments of peatlands of the Łódź Region (in Polish with English summ.). *Acta Geographica Lodziensia* **90**: 1–116.
- FORYSIAK J., BORÓWKA R.K., KLOSS M., OBREMSKA M., OKUPNY D. and ŻUREK S., 2012. Geological and geomorphological features of the Rąbień peatland and preliminary results of investigations of biogenic sediments (in Polish with English summ.). *Acta Geographica Lodziensia* **100**: 65–76.
- FORYSIAK J., BORÓWKA R.K., PAWŁOWSKI D., PŁÓCIENNIK M., TWARDY J., ŻELAZNA-WIECZOREK J., KLOSS M. and ŻUREK S., 2010. Rozwój zbiornika Żabieniec w późnym glacie i jego znaczenie dla paleoekologii i paleogeografii. [W:] J. TWARDY, S. ŻUREK, J. FORYSIAK (red.) Torfowisko Żabieniec. Warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 191–202.
- GALUSZKA A., 2006. Methods of determining geochemical background in environmental studies (in Polish with English summ.). *Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe, Problemy Ekologii Krajobrazu* **16**: 507–517.
- GOŹDZIK J., KONECKA-BETLEY K., 1992a. Late-Vistulian carbonate formations in outflow-closed depressions of the Bełchatów brown coal strip mine. Part I. Genesis and stratigraphy (in Polish with English summ.). *Roczniki Gleboznawcze* **43(3–4)**: 103–112.
- GOŹDZIK J., KONECKA-BETLEY K., 1992b. Late-Vistulian carbonate formations in outflow-closed depressions of the Bełchatów brown coal strip mine. Part II. Chemical and mineral composition (in Polish with English summ.). *Roczniki Gleboznawcze* **43(3–4)**: 113–124.
- GRZYWNA A., 2014. Evaluation of nutrient abundance in peat-muck soils of the Tyśmienica river basin (in Polish with English summ.). *IUMZ, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, **14(1)**: 19–26.
- HAMMER Ø., HARPER D.A.T., RYAN P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* **4**: 9.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1979. *Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym*. Wyd. Geologiczne, Warszawa: 1–300.
- KIJEWSKI P., 1995. Występowanie metali ciężkich na obszarze środkowego Nadodrza w strefie oddziaływania przemysłu miedziowego. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii* **29**: 47–54.
- KLOSS M., 2007. Roślinność subfossylna na tle historii wysokich torfowisk mszarnych w północno-wschodniej i środkowej Polsce oraz w Sudetach. *Inst. Bad. Leśnictwa, Sękocin Stary*: 1–141.
- KÜTTNER A., MIGHALL T.M., DE VLEESCHOUWER F., MAUQUOY D., MARTÍNEZ CORTIZAS A., FOSTER I.D.L., KRUPP E., 2014. A 3300-year atmospheric metal contamination record from Raeburn Flow raised bog, south west Scotland. *Journal of Archeological Science* **44**: 1–11.
- KWIATKOWSKI A., 1971. Nieorganiczne składniki torfu. *Biuletyn Torf* **4**, 31: 1–17.
- LIS J., PASIECZNA A., 2001. Tło geochemiczne i anomalie w środowiskach powierzchniowych ziemi w Polsce. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo* **48**: 123–127.

- MALAWSKA M., EKONOMIUK A., WILKOMIRSKI B., 2006. Chemical characteristics of some peatlands in southern Poland. *Journal Mires and Peat. International Mire Conservation Group* 1: 1–14.
- MARKOWSKI S., 1980. Struktura i właściwości podtorfowych osadów jeziornych rozprzestrzenionych na Pomorzu Zachodnim jako podstawa ich rozpoznawania i klasyfikacji. *Mater. pokonf. „Kreda jeziorna i gytie”*, t. 2, PTPNoZ, Oddz. Gorzów-Zielona Góra: 44–55.
- MATSCHULLAT J., OTTENSTEIN R., REIMANN C., 2000. Geochemical background – can we calculate it? *Environmental Geology* 39(9): 990–1000.
- OKRUSZKO H., 1994. System of hydrogenic soil classification used in Poland. *Bibl. Wiad. IMUZ* 84: 5–27.
- OKUPNY D., 2013. Zmiany środowiska geograficznego w regionie łódzkim w świetle cech geochemicznych osadów wybranych torfowisk. *Maszynopis rozprawy doktorskiej, Katedra Geomorfologii i Paleogeografii UŁ, Łódź*: 1–173.
- OKUPNY D., FORTUNIAK A., TOMKOWIAK J., 2013a. Cechy denudacji w regionie łódzkim w późnym wistulianie w świetle chemicznych badań osadów torfowiskowych. *Acta Geographica Lodzienia* 101: 89–99.
- OKUPNY D., FORTUNIAK A., TOMKOWIAK J., 2013b. Pionowa zmienność składu chemicznego osadów biogenicznych torfowiska Podwódką (Kotlina Szczercowska). [W:] R. K. BORÓWKA, A. CEDRO, I. KAVETSKYY (red.) *Współczesne problemy badań geograficznych*, Szczecin: 83–91.
- OKUPNY D., ŻUREK S., FORYSIAK J., 2014. Spatial pattern of mire distribution of the Lodz region (in Polish with English summ.). *Studia Limnologica et Telmatologica* 8(2): 81–91.
- PAWŁOWSKI D., OKUPNY D., WŁODARSKI W., ZIELIŃSKI T., 2014. Spatial variability of selected physico-chemical parameters within peat deposits in small valley mire: a geostatistical approach. *Geologos* 20(4): 269–288.
- PRATTE S., MUCCI A., GARNEAU M., 2013. Historical records of atmospheric metal deposition along the St. Lawrence Valley (eastern Canada) based on peat bog cores. *Atmospheric Environment* 79: 831–840.
- REIMANN C., ARNOLDUSSEN A., BOYD R., FINNE T. E., KOLLER F., NORDGULEN Ø., ENGLMAIER P., 2007. Element contents in leaves of four plant species (birch, mountain ash, fern and spruce) along anthropogenic and geogenic concentration gradients. *Science of Total Environment* 377: 416–433.
- RYDELEK P., 2011. Origin and composition of mineral particles of selected peat deposits in Lubartowska Upland. (in Polish with English summ.). *Water-Environment-Rural Areas* 11(2): 135–149.
- SHOTYK W., NESBIT W., FYE W.S., 1990. The behaviour of major and trace elements in complete vertical peat profiles from three *Sphagnum* bogs. *International Journal of Coal Geology* 15: 163–190.
- STARKEL L., PAZDUR A., PAZDUR M. F., WICIK B., WIĘCKOWSKI K., 1998. Lake-level changes and palaeohydrological reconstructions during the Holocene. [w:] M. RALSKA-JASIEWICZOWA, T. GOSLAR, T. MADEYSKA, L. STARKEL (eds), *Lake Gościąg, Central Poland. A monographic study, Part 1*, Instytut Botaniki PAN, Kraków: 225–229.
- SZEWCOW A.W., SZUKIN N.N., ZOTOW A.A., 2011. The effect of agro-technical compaction of reclaimed peat soil under managed meadow on its agro-chemical properties (in Polish with English summ.). *IUMZ, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 11(4): 209–215.
- TOBOLSKI K., 2004. Kryterium geologiczne w badaniach zbiorników akumulacji biogenicznej (Geological criteria in the studies of biogenic accumulation basins). *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 5: 119–126.
- WASYLIKOWA K., 1964. Vegetation and climate of the Late Glacial in Central Poland based on investigations made at Witów near Łęczycza (in Polish with English summ.). *Biuletyn Peryglacjalny* 13: 261–417.
- WASYLIKOWA K., 2011. Wiek osadów spągowych torfowiska Silne Bagno koło Witowa w świetle analizy pyłkowej. *Warsz. Nauk. „Torfowiska w krajobrazie przekształconym – funkcjonowanie i ochrona”, Wawrzkowizna*, 1–3 czerwca 2011: 93–94.

- WOSZCZYK M., SPYCHALSKI M., 2007. Factors influencing temporal changes in heavy metal contents in the deposits of Lake Sarbsko (Gardno-Łeba coastal plain) on the background of the basin evolution. (in Polish with English summ.). *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* **31**: 485–497.
- ZAJĄC I., KUCHARSKI L., KIL E., 2012. Problems of protection of peatlands in Central Poland on the example SAC Natura 2000 „Łąka w Bęczkowicach” and adjacent areas. [W:] J. FORYSIAK, L. KUCHARSKI, M. ZIULKIEWICZ (red.) *Peatlands and semi-natural landscape – their transformation and the possibility of protection*. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań: 11–18.
- ZGLOBICKI W., 2008. Geochemiczny zapis działalności człowieka w osadach stokowych i rzecznych. Wyd. UMCS, Lublin: 1–240.
- ŻUREK S., 1990. The relation between peatland development and natural environment of eastern Poland (in Polish with English summ.). *Roczniki Nauk Rolniczych, seria D, Monografie* **220**: 1–175.
- ŻUREK S., 1994. Mapa torfowisk 42.4.3. Skala 1: 3 000 000. Mapa wieku torfowisk 42.4.4. Skala 1: 3 000 000. [W:] M. NAJGRAKOWSKI (red.) *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*. PAN, Warszawa.