

JOANNA CIEŚLEWICZ *, MIROSŁAW KOBIERSKI**

MINERAŁY ILASTE W OSADACH DENNYCH
WYBRANYCH JEZIOR W OBRĘBIE MEZOREGIONÓW
POJEZIERZA POŁUDNIOWOBAŁTYCKIEGOCLAY MINERALS
OF SELECTED LAKES BOTTOM SEDIMENTS OF MESOREGIONS
FROM POJEZIERZE POŁUDNIOWOBAŁTYCKIE*Katedra Chemii Środowiska, **Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Abstract: There was researched the composition of clay minerals which occur in the lake bottom sediments. The analyses involved sampling of bottom sediments from Lakes Wdzydze, Zbysze-wickie, Pniewo, Silm and Kolmowo. The samples demonstrated a strongly differentiated content of organic carbon ($54\text{--}317\cdot\text{kg}^{-1}$) and inorganic carbon ($0\text{--}61.7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) as well as total nitrogen ($3.8\text{--}32.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Despite a differentiated elemental composition (detritus gyttja; sandy claygyttja; claygyttja and calcareous gyttja), there was observed a similar composition of clay minerals in the clay fraction of lake bottom sediments. In the clay fraction of Lakes Pniewo and Silm, demonstrating an acid reaction as well as the lowest content of exchangeable cations of calcium and magnesium, there was observed a dominance of illites of their interstratified forms. A high content of K_2O in the clay fraction of the lake sediments confirms a considerable share of illite minerals. Vermiculites and an inconsiderable content of kaolinites and chlorites and the accessory content of quartz were noted in the clay fraction of the bottom sediments in the lakes researched. Clay minerals in lake bottom sediments are most frequently of allogenic origin. Some vermiculites and interstratified minerals with illites could have got formed due to autogenic changes. In fine-grained sediments, e.g. in gyttja, showing a neutral and alkaline reaction, a high content of exchangeable cations and a dominance of amorphous iron oxides, there were found conditions favorable to vermiculitization. It is difficult to provide a final definition of the origin of respective groups of minerals and the direction of their transformation since the research material has been made up of sediments of the top layer, undergoing changes today.

Słowa kluczowe: osady denne jezior, minerały ilaste.

Key words: lakes bottom sediments, clay minerals.

WSTĘP

Osady denne zbiornika wodnego stanowią unikalny zapis zmian zachodzących zarówno w samym zbiorniku jak i jego zlewni. Poszczególne jeziora różnią się udziałem podstawowych komponentów jakimi są materia organiczna, węgiel wapnia oraz część mineralna bezwęglanowa [Tobolski 1995]. W osadach dennych wielu jezior dominuje

materiał nieorganiczny. Identyfikacja minerałów występujących w zbiorniku jest ważnym elementem określającym genezę osadów oraz mechanizmy ich transportu, co pozwala jednocześnie na ocenę panujących w przeszłości warunków hydrologicznych i klimatycznych. Z uwagi na zróżnicowaną genezę osadów dennych jezior można występujące w nich minerały podzielić na trzy klasy: allogeniczne, endogeniczne i autogeniczne [Håkanson, Jansson 1983]. Materiał mineralny dostający się do jeziora poprzez cieki powierzchniowe, erozję linii brzegowej lub doniesiony drogą powietrzną, stanowią głównie minerały allogeniczne. Do minerałów endogenicznych można zaliczyć składniki nieorganiczne, które powstały w słupie wody, a ich chemiczne wytrącanie może być powodowane poprzez różne czynniki. Natomiast minerały autogeniczne powstają na drodze diagenetycznych przemian osadu, który wcześniej został zdeponowany (minerały wtórne) lub reakcji chemicznych zachodzących w wodzie interstycjalnej osadu (minerały pierwotne lub wtórne) [Boyle 2001; Last 2001].

Ilość i jakość zdeponowanego na dnie osadu charakterystyczna jest dla poszczególnych zbiorników wodnych i zależy od jego typu troficznego oraz kategorii hydrologicznej. Allochtoniczny materiał osadów dennych pochodzi przede wszystkim z erozji podłoża zlewni przez wody opadowe oraz z rozmycia koryt rzek. Nie wszędzie proces ten przebiega w jednakowy sposób, co odzwierciedla zróżnicowany skład osadów. Powstają one w wyniku oddziaływania licznych procesów w samych zbiornikach wodnych, ale także w najbliższym ich otoczeniu i obszarze całej zlewni. Na proces powstawania osadów składają się zatem erozja, transport materiału oraz jego sedymentacja na dnie jezior. Występujące w osadach dennych minerały krzemianowe, w tym także minerały ilaste, są najczęściej pochodzenia allogenicznego Håkanson, Jansson 1983].

Osady denne jako część ekosystemu wodnego pełnią ważną rolę w przejściu z ziemnowodnego do lądowego typu środowiska. Skład minerałów ilastych w osadach limnicznych determinowany jest także przebiegiem procesów zachodzących na dnie jezior, a wpływ tych procesów na skład mineralny osadów dennych nie jest w pełni poznany i udokumentowany.

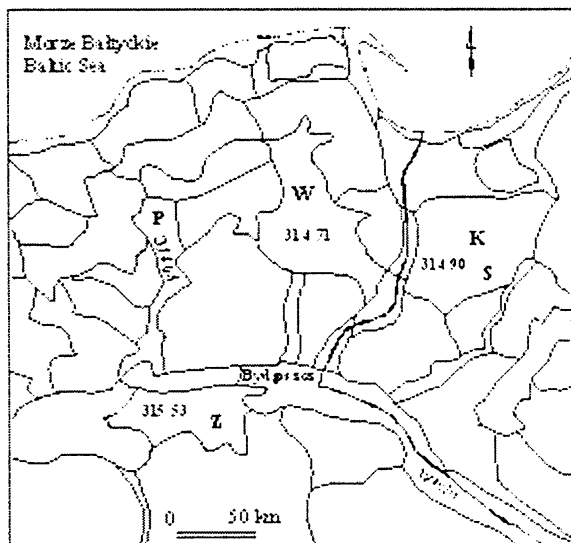
Celem niniejszej pracy była ocena składu minerałów ilastych we frakcji ilastej osadów dennych jezior wybranych mezoregionów Pojezierza Południowobałtyckiego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły próbki osadów pobranych z jezior Wdzydze (W), Zbyszewickie (Z), Pniewo (P), Silm (S) i Kolmowo (K), których położenie (rys. 1) oraz sposób zagospodarowania zlewni przedstawiono w tabeli 1. Podstawowe dane morfometryczne badanych jezior przedstawiono w tabeli 2 [Jańczak 1996, 1997].

Próbki osadów z warstwy 0–20 cm zostały pobrane czerpakiem Ekmana. Po doprowadzeniu do stanu powietrznie suchego, próbki osadów zostały zhomogenizowane i przesiane przez sito o średnicy oczek 1 mm. Następnie w analizowanym materiale oznaczono:

- zawartość węgla całkowitego (TC) i węgla nieorganicznego (IC) analizatorem Primacs^{SC} firmy Skalar, zawartość węgla organicznego (TOC) obliczono z różnicy $TOC=TC-IC$,
- azot ogółem (Nt) metodą Kjeldahla,
- pH w wodzie (w stosunku 1:5 w/v) elektrometrycznie.



Jeziora – Lakes

- W – jezioro Wdzydze
 Z – jezioro Zbyszewickie
 P – jezioro Pniewo
 S – jezioro Silm
 K – jezioro Kolmowo

Mezoregiony – Mesoregions

- 314.68 – Dolina Gwdy
 314.71 – Bory Tucholskie
 314.90 – Pojezierze Iławskie
 315.53 – Pojezierze Chodzieskie

RYSUNEK 1. Schematyczna mapa regionów fizyczno-geograficznych: lokalizacja jezior
 FIGURE 1. Schematic map of physico-geographical regions: lakes as sampling sites

Na podstawie wyników analiz próbek osadów dennych obliczono procentowe udziały: materii organicznej ($TOC \times 1,74$ [Mudroch i in. 1997]), węgla wapnia ($IC \times 8,33$) oraz części mineralnej bezwęglanowej z różnicy $100\% - (\% \text{ materii organicznej} + \% \text{ węgla wapnia})$, a także określono typ i rodzaj osadu [Markowski 1980].

W próbkach zbiorczych osadów oznaczono zawartość wolnych tlenków żelaza (Fed) w ekstrakcie ditioninowo-cytrynianowym metodą Mehra-Jacksona [1960], natomiast zawartość amorficznych tlenków żelaza w ekstrakcie szczawianu amonu (Feo) metodą Tamma w modyfikacji Schwertmanna [1964]. Obliczono zawartość krystalicznych tlenków żelaza (Fek) ze wzoru $Fek = Fed - Feo$ oraz wskaźnik krystaliczności tlenków żelaza z ilorazu Feo/Fed. Kationową pojemność wymienną oraz koncentrację kationów wymiennych oznaczono według metody z $BaCl_2$ (norma ISO nr 11260).

Skład chemiczny frakcji ilastej o średnicy $< 2 \mu m$ oznaczono po mineralizacji w mieszaninie stężonych kwasów HF i $HClO_4$ [Crock, Severson 1980]. Zawartość poszczególnych pierwiastków oznaczono metodą atomowej spektroskopii absorpcyjnej ASA spektrometrem Philips PU 9100X.

TABELA 1. Podstawowe dane morfometryczne jezior
 TABLE 1. Basic morphometric data for the lakes

Jezioro Lake	Powierzchnia Area [ha]	Głębokość maksymalna Maximum Depth [m]	Długość maksymalna Maximum Length [m]	Szerokość maksymalna Maximum wide [m]
Wdzydze	918,8	68,0	8200	2800
Zbyszewickie	36,1	7,2	1550	350
Pniewo	15,5	3,8	650	150
Silm	58,8	3,7	1625	800
Kolmowo	43,4	5,7	1050	550

TABELA 2. Położenie i zagospodarowanie zlewni badanych jezior
TABLE 2. Location and catchment management of researched lakes

Jezioro – Lake	Położenie – Location	Zagospodarowanie zlewni Catchment management
Wdzydze (W)	Bory Tucholskie	lasy iglaste
Zbyszewickie (Z)	Pojezierze Chodzieskie	grunty orne
Pniewo (P)	Dolina Gwdy	lasy iglaste
Silm (S)	Pojezierze Iławskie	lasy liściaste, grunty orne
Kolmowo (K)	Pojezierze Iławskie	łąki, pastwiska, grunty orne

Frakcję ilastą o średnicy $<2 \mu\text{m}$ wydzielono według zmodyfikowanej metody Jacksona [Cieśla 1965], przy zastosowaniu sedimentacji przyspieszonej; po wcześniejszej dyspersji gleby, wykorzystując Na-jonit [Gonet, Cieśla 1988]. Frakcję ilastą wysycono kationami magnezu i potasu (MgCl_2 , KCl). Preparaty orientowane frakcji ilastej poddano analizie na dyfraktometrze HZG-4 TUR z lampą $\text{CuK}\alpha$, filtrem Ni, przy parametrach roboczych 20 KV i 15 mA. Impulsy zbierano w zakresie kątowym $2\text{--}30^\circ 2\theta\text{CuK}\alpha$ z prędkością kątową goniometru $0,1^\circ/\text{min}$ i czasem zbierania sygnału 3 sekundy. Dyfraktogramy z charakterystycznymi położeniami i natężeniami linii dyfrakcyjnych opracowano graficznie, wykorzystując program ORIGIN. Interpretację uzyskanych rentgenogramów przeprowadzono przez porównanie wartości $d_{(001)}$ z wartościami uzyskanymi dla wzorcowych (czystych) minerałów [Jackson 1975; Thorez 1976; Pavel, Uziak 1977; Brindley, Brown 1980]. Przy półilościowym oznaczaniu minerałów ilastych interpretowano linie analityczne refleksów frakcji ilastej, wykorzystując położenia i intensywności linii: dla kaolinitu $d=0,712$; $0,357 \text{ nm}$, dla illitu $d=1,00$; $0,50$; $0,333 \text{ nm}$, dla chlorytu oraz wermikulitu $d=1,42$; $0,475 \text{ nm}$ dla smektytu $d=1,42$; $1,70 \text{ nm}$, a dla minerałów mieszanopakietowych linie dyfrakcyjne w przedziale kątów pomiędzy liniami $d_{(001)}$ poszczególnych minerałów. O obecności kwarcu świadczyły refleksy $d=0,426 \text{ nm}$. W celu identyfikacji smektytów wykorzystano preparaty próbek wysyconych magnezem (Mg), które następnie poddano solwatacji glikolem etylenowym ($\text{Mg}+\text{ge}$). Preparaty frakcji wysyconej potasem (K) poddano obróbce termicznej (temp. 550°C) w celu identyfikacji minerałów kaolinitowych, które w tej temperaturze ulegają destrukcji oraz aby zweryfikować obecność minerałów wermikulitowych i chlorytowych. Obecność refleksów o wartości $d=1,42 \text{ nm}$ na dyfraktogramach preparatów potasowych poddanych temp. 550°C świadczy o obecności chlorytów. Dla otrzymanych wyników wykonano analizę skupień metodą Warda [Ward 1963].

TABELA 3. Właściwości fizyko-chemiczne próbek osadów dennych
TABLE 3. Physico-chemical properties of bottom sediment samples

Jezioro – Lake	TOC	IC	Nt	TOC:Nt	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$
	[$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]				
Wdzydze (W)	90	61,7	10,2	8,8	7,5
Zbyszewickie (Z)	54	10,2	3,8	14,0	7,1
Pniewo (P)	188	0,0	12,0	15,7	4,6
Silm (S)	317	0,0	32,1	9,9	5,0
Kolmowo (K)	146	11,0	16,5	8,9	6,5

WYNIKI

W tabeli 3 przedstawiono wyniki dotyczące właściwości fizyko-chemicznych próbek osadów dennych. Najniższą wartością pH charakteryzowała się próbka pochodząca z jeziora Pniewo (pH 4,6), natomiast najwyższe pH stwierdzono dla próbki pochodzącej z jeziora Wdzydze (pH 7,5). Obojętny odczyn próbki osadów z jeziora Wdzydze wiązać należy z wysoką zawartością CaCO_3 (tab. 4). Analizowane próbki charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością węgla organicznego (TOC) oraz azotu ogółem (Nt).

Najwyższą całkowitą zawartość węgla organicznego i azotu ogółem stwierdzono w próbce pochodzącej z jeziora Silm (S), odpowiednio $317 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $32,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

TABELA 4. Skład i klasyfikacja osadów dennych
TABLE 4. Composition and classification of bottom sediments

Jezioro – Lake	Materia organiczna Organic matter	Węglany Carbonates	Część mineralna bezwęglanowa Mineral fraction without carbonates	Rodzaj gytii Kind of gyttja
	[%]			
Wdzydze (W)	15,7	51,4	32,9	wapienna
Zbyszewickie (Z)	9,4	8,5	82,1	ilasta
Pniewo (P)	32,7	0,0	67,3	piaszczysto-ilasta
Silm (S)	55,2	0,0	44,8	drobnodetrytusowa
Kolmowo (K)	25,4	9,2	65,4	ilasta

Zróżnicowane zawartości TOC i Nt w próbkach osadów odzwierciedlają wartości ich stosunku TOC:Nt. Najniższą wartość tego stosunku otrzymano dla osadów jeziora Wdzydze, natomiast najwyższą dla próbki z jeziora Pniewo (tab. 3).

Procentowy udział materii organicznej, węglanu wapnia i części mineralnej bezwęglanowej pozwala określić typ i rodzaj osadów dennych. Próbki osadów z jezior Zbyszewickie, Pniewo i Kolmowo reprezentują osady mineralne, próbkę pobraną z jeziora Wdzydze sklasyfikowano jako osad węglanowy, a próbkę pochodzącą z jeziora Silm jako osad organiczny (tab. 4).

Badane próbki zawierały od $0,667 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ w osadzie z jeziora Zbyszewickiego do $4,255 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ żelaza wolnego (Fed) w próbce z jeziora Wdzydze. Podobną zależność stwierdzono dla żelaza amorficznego w próbkach osadów dennych obu jezior. Wysoka wartość wskaźnika krystaliczności wskazuje, że w próbkach osadów wszystkich jezior dominują formy żelaza amorficznego (tab. 5).

Wśród oznaczonych kationów wymienionych wszystkich osadów dominował wapń. Najwyższą koncentrację kationów magnezu ($58,8 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$) stwierdzono w osadzie dennym jeziora Silm, a

TABELA 5. Żelazo wolne (Fed), żelazo amorficzne (Feo), żelazo krystaliczne (Fek = Fed-Feo) oraz wskaźnik krystaliczności (Feo/Fed)

TABLE 5. The free iron (Fed), amorphous iron (Feo), crystalline iron (Fek= Fed-Feo) and crystallinity index (Feo/Fed)

Jezioro – Lake	Fed	Feo	Fek	Feo/Fed
	[$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]			
Wdzydze (W)	4,255	3,077	1,178	0,72
Zbyszewickie (Z)	0,667	0,414	0,253	0,62
Pniewo (P)	1,510	1,108	0,402	0,73
Silm (S)	3,937	2,752	1,185	0,70
Kolmowo (K)	1,720	1,143	0,577	0,66

TABELA. 6. Kationy wymienne, suma zasadowych kationów [S]

TABLE 6. Exchangeable cations, base saturation [S]

Jezioro – Lake	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	[S]
	[mmol(+) · kg ⁻¹]				
Wdzydze (W)	376,3	25,1	69,4	8,9	479,7
Zbyszewickie (Z)	297,4	47,8	96,1	4,7	446,0
Pniewo (P)	205,4	18,9	138,9	4,3	367,1
Silm (S)	236,6	20,2	137,4	8,7	441,5
Kolmowo (K)	312,0	31,4	41,43	6,0	390,8

kationów wymiennych potasu (138,9 mmol(+) · kg⁻¹) w próbce z jeziora Pniewo. Suma zasadowych kationów wymiennych badanych osadów mieściła się w granicach od 367,1 mmol(+) · kg⁻¹ do 479,7 mmol(+) · kg⁻¹ (tab. 6).

W składzie chemicznym frakcji ilastej osadów dennych jezior stwierdzono duże zróżnicowanie. Zawartość Fe₂O₃ najwyższa była w próbce z jeziora Pniewo; CaO w próbce z jeziora Wdzydze; MgO w próbce z jeziora Zbyszewickie. Zawartości K₂O i Na₂O były zbliżone we frakcji ilastej wszystkich badanych osadów (tab. 7).

We frakcji ilastej osadów dennych wszystkich badanych jezior dominowały minerały illitowe. Niewielką zawartość, aczkolwiek zbliżoną we wszystkich próbkach osadów, stanowiły minerały z grupy kaolinitu (tab. 8, rys. 2). W próbce z jeziora Wdzydze obok illitów i ich minerałów mieszanopaketowych ze smektytami stwierdzono znaczącą zawartość czystych wermikulitów, a także niewielką zawartość minerałów chloryt/wermikulit.

Obecność wermikulitów potwierdzają refleksy d=1,42 nm widoczne na dyfraktogramach preparatów Mg+ge oraz wyraźny wzrost intensywności refleksów o wartości d=1,00 nm na dyfraktogramach frakcji wysyczonej potasem. Najwięcej illitów i ich form mieszanopaketowych stwierdzono w próbkach z jezior Silm i Pniewo. Świadczy o tym obecność wyraźnych refleksów o wartościach d=1,00; 0,50; 0,333 nm. O obecności wermikulitów i ich struktur mieszanopaketowych z chlorytem świadczą odpowiadające im refleksy widoczne na dyfraktogramach frakcji ilastej próbek z jezior Zbyszewickie i

TABELA7. Skład chemiczny frakcji ilastej osadów dennych

TABLE 7. Partial chemical composition of clay fraction of bottom sediments

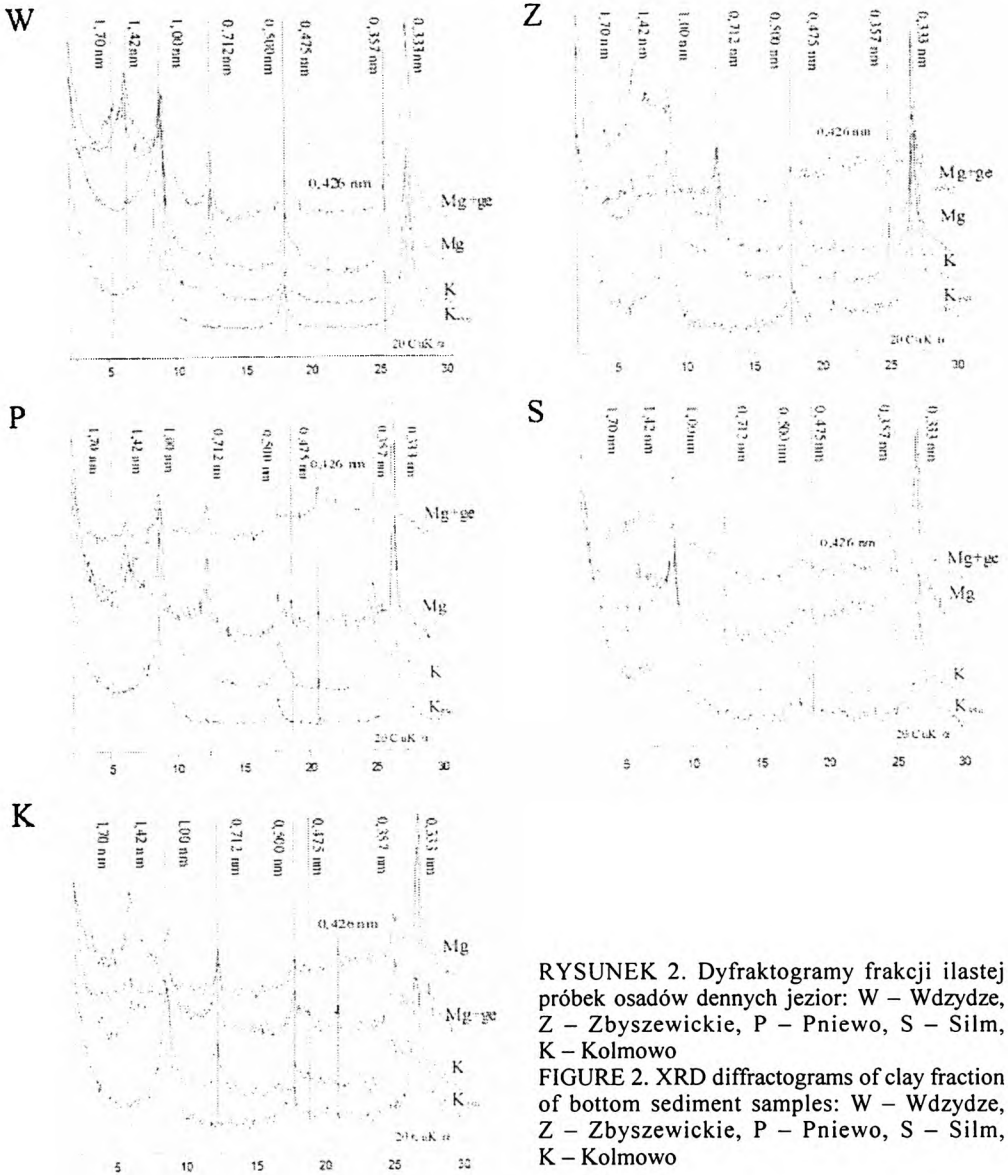
Jezioro – Lake	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
	[%]				
Wdzydze (W)	6,56	3,98	3,34	3,49	1,04
Zbyszewickie (Z)	7,38	2,75	4,46	4,19	0,68
Pniewo (P)	9,75	0,58	2,11	4,82	0,44
Silm (S)	9,28	1,25	2,68	4,61	1,02
Kolmowo (K)	7,21	2,54	3,02	3,47	0,86

TABELA 8. Szacunkowa zawartość minerałów ilastych oraz kwarcu w próbkach frakcji ilastej osadów dennych badanych jezior

TABLE 8. Estimated content of clay minerals and quartz in the samples of clay fraction of bottom sediments of the lakes researched

Jezioro – Lake	I	I/S	S	V	Ch	Ch/V	K	Q
Wdzydze (W)	+++	+	++	++	-	+	+	-
Zbyszewickie (Z)	+++	++	-	++	+	-	+	+
Pniewo (P)	++++	++	-	+	-	+	+	+
Silm (S)	++++	+	+	+	+	-	+	+
Kolmowo (K)	+++	+	-	++	-	++	+	+

+ – szacunkowa zawartość minerałów do 10 %; estimated content of clay minerals to 10%; I-- illit; illite, S -- smektyt; smectite, V – wermikulit; vermiculite, C– chloryt; chlorite, K– kaolinit; kaolinite, I/S – illit/smektyt; illite/smectite, Ch/V – chloryt/wermikulit; chlorite/wermiculite, Q – kwarc/quartz



RYSUNEK 2. Dyfraktogramy frakcji ilastej próbek osadów dennych jezior: W – Wdzydze, Z – Zbyszewickie, P – Pniewo, S – Silm, K – Kolmowo

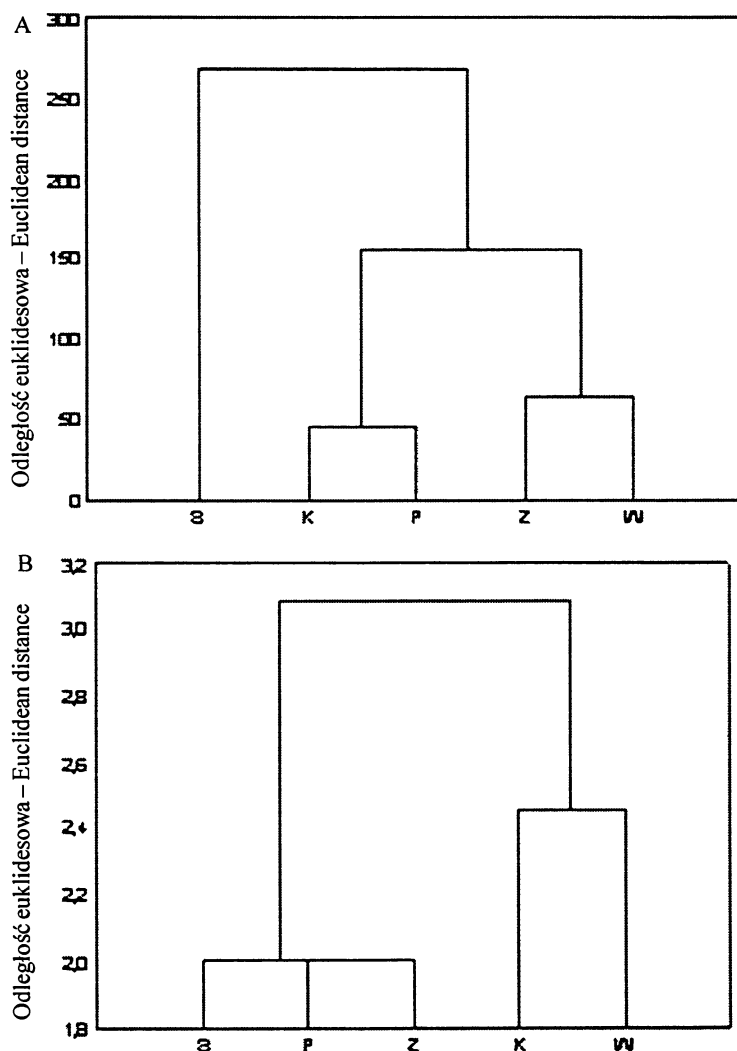
FIGURE 2. XRD diffractograms of clay fraction of bottom sediment samples: W – Wdzydze, Z – Zbyszewickie, P – Pniewo, S – Silm, K – Kolmowo

Kolmowo. Obecność niewielkich refleksów o wartości $d=1,42$ nm na dyfraktogramach preparatów K₅₅₀ jest potwierdzeniem występowania chlorytów o stabilnej strukturze krystalicznej. Akcesoryczną zawartość stanowił drobnodispersyjny kwarc ($d=0,426$ i $0,334$ nm).

Stosowana w analizie skupień metoda Warda została wykorzystana do oszacowania odległości między skupieniami. Metoda ta pozwala na obliczenie sumy kwadratów dowolnych skupień. Na podstawie wyników właściwości fizyko-chemicznych przeprowadzono analizę skupień (rys. 3A), która pozwoliła na wydzielenie trzech grup.

Zbliżonymi parametrami charakteryzowały się osady jezior Zbyszewickie i Wdzydze oraz Pniewo i Kolmowo, natomiast zdecydowanie odmiennie kształtowały się właściwości osadów jeziora Silm. Natomiast na podstawie składu minerałów ilastych osadów dennych wydzielono dwie grupy.

Pierwsza z nich obejmuje jeziora Silm, Pniewo i Zbyszewickie, druga zaś grupuje jeziora Kolmowo i Wdzydze. Niewielkie odległości pomiędzy wydziałonymi grupami świadczą o zbliżonym składzie minerałów ilastych badanych jezior (rys. 3B).



RYSUNEK 3. Analiza skupień na podstawie: właściwości fizyko-chemicznych (A), składu mineralogicznego próbek osadów dennych (B) : W, Z, P, S, K – jak na rys. 1

FIGURE 3. The cluster analysis based on the physicochemical properties (A) and the mineral composition (B) of bottom sediments samples; W, Z, P, S, K – as given in Fig. 1

DYSKUSJA

Osady powstające na dnie jezior stanowią najczęściej heterogeniczne układy minerałów o różnej wielkości oraz krystalicznych i amorficznych substancji koloidalnych. Akumulacja allochtonicznej materii organicznej i materiału mineralnego na dnie zbiornika wodnego przebiega w niejednakowy sposób, co przejawia się przestrzennym zróżnicowaniem tych osadów. Zawartość węgla organicznego w osadach dennych jezior może wahać się w bardzo szerokich granicach od $29 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ w osadach mineralnych [de Sousa i in. 2004] do około $460 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ w osadach organicznych [Cieślewicz 2005]. Wartości stosunku TOC:Nt mniejsze od 10 wskazują, że głównym źródłem materii organicznej osadów jest fitoplankton, natomiast wyższe wartości wskazują na domieszkę materiału pochodzącego z roślin wyższych [Nakai, Koyama 1987; Kaufman i in. 2003; Meyers, Lallier-Vergés 1999].

Ilość i jakość zdeponowanego osadu charakterystyczna jest dla każdego zbiornika wodnego i zależy od rodzaju i hydrologicznej kategorii zbiornika oraz jego typu troficznego.

Wyraźne zróżnicowanie składu elementarnego (różny rodzaj gyttii) ma swoje odzwierciedlenie w koncentracji kationów wymiennych, form żelaza oraz pH. Czynniki te warunkować mogły przemiany w obrębie osadów, a w konsekwencji wpływać na ich skład minerałów ilastych. Jednakże minerały ilaste występujące w osadach dennych jezior, są najczęściej pochodzenia allogenicznego, a zaledwie niewielka ich część powstaje w wyniku rekryształizacji lub neoformacji [Hakanson i Jansson 1983].

Pomimo wyraźnych różnic właściwości fizyko-chemicznych badanych osadów, stwierdzić można, iż charakteryzują się one zbliżonym składem minerałów ilastych. We frakcji ilastej osadów jezior Pniewo i Silm, charakteryzujących się kwaśnym odczynem i najniższą zawartością kationów wymiennych wapnia i magnezu, stwierdzono dominację illitów i ich form mieszanopakietowych. Potwierdzeniem tego jest najwyższa zawartość K_2O we frakcji ilastej oraz wysoka koncentracja potasu wymiennego w kompleksie sorpcyjnym tych jezior. W warunkach tych zachodzić może proces agradacji smektytów i ich transformacja w struktury illit/smektyt. Proces częściowej lub całkowitej destrukcji struktur krystalicznych minerałów ilastych zachodzi znacznie szybciej w warunkach kwaśnego odczynu [Eberl i in. 1993]. Singer i Stoffers [1980] stwierdzili, że w trakcie diagenety osadów dennych jezior, w obecności znaczących ilości wymiennego K^+ , wystąpiły warunki sprzyjające procesowi illityzacji smektytów. Natomiast w środowisku zasobnym w wymienne kationy wapnia dochodzić może do izomorficznego podstawienia K^+ w strukturze illitów.

Transformacja illitu w smektyt lub wermikulit przez struktury mieszanopakietowe, jest częściej następstwem destrukcji ich sieci krystalicznej oraz efektem usunięcia niewymiennego potasu [Wilson 1999].

W osadach dennych badanych jezior stwierdzono wysoki udział form żelaza amorficznego w sumie żelaza wolnego. Żelazo może być adsorbowane na powierzchni cząstek koloidalnych oraz w drodze izomorficznych podstawień zostać wbudowane w struktury minerałów ilastych. Osady denne powstają dzięki licznym procesom, w samym zbiorniku wodnym, ale także w otoczeniu jezior i całej zlewni. Składowymi procesami tworzenia się osadów dennych jezior są zatem sedymentacja materiału naniesionego w trakcie erozji powierzchniowej osuwających się zboczy oraz w wyniku mechanizmów przenoszenia i akumulacji rozmytego materiału brzegowego. Dane literaturowe wskazują na dominację illitów w osadach dennych jezior. Franz i in. [2006] stwierdzili w osadach jeziora Iznik obecność illitu, kaolinitu, smektytu lub chlorytu. Minerały z grupy smektytów oraz niewielką

zawartość illitów i kaolinitów stwierdzono we frakcji ilastej wierzchniej warstwy osadów pobranych z jeziora Alberta. Natomiast w głębszych warstwach tego jeziora dominowały illity i minerały mieszanopaketowe illit/smektyt [Singer, Stoffers 1980].

Minerałami ilastymi skał macierzystych gleb w mezoregionach Pojezierza Południowopomorskiego i Wielkopolskiego są illity, smektyty oraz chloryty. Rzadziej występują wermikulity oraz kaolinity [Stankowska 1970; Kaczyński, Grabowska-Olszewska 1997; Długosz i in. 2004]. W składzie minerałów ilastych glin i piasków lodowcowych, utworów aluwialnych i fluwioglacjalnych oraz pyłów wodnego pochodzenia na obszarach występowania badanych jezior dominują illity i ich interstratyfikowane formy ze smektytami [Cieśla, Dąbkowska-Naskręt 1983; Dąbkowska-Naskręt i in. 1996; Dąbkowska-Naskręt i in. 1998; Kobierski, Dąbkowska-Naskręt 2003]. Stąd też w składzie mineralogicznym frakcji ilastej osadów dennych badanych jezior stwierdzono dominację illitów i ich minerałów mieszanopaketowych oraz udział smektytów, wermikulitów i chlorytów. Franz i in. [2006] zaobserwowali dominację illitów w składzie minerałów ilastych osadów dennych jeziora Iznik, zwłaszcza w głębszych jego warstwach. Hardy [1999] w swych badaniach stwierdza, że kwarc i skalenie występują głównie we frakcji od 2–10 μm , illity we frakcji 0,2–5 μm , a smektyty i chloryty we frakcji mniejszej od 0,2 μm .

Kierunek transformacji minerałów ilastych w osadach dennych badanych jezior jest niejednoznaczny. Interpretację wyników analizy dyfraktometrycznej utrudnia fakt, iż materiał badawczy pobrano z powierzchniowej warstwy osadów dennych, podlegających współczesnym przemianom. Planowane jest w najbliższej przyszłości rozszerzenie badań mineralogicznych o próbki z głębszych warstw osadów.

WNIOSKI

1. Osady dennie wybranych jezior mezoregionów Pojezierza Południowobałtyckiego charakteryzują się wyraźnym zróżnicowaniem składu elementarnego i właściwości fizykochemicznych. Skład minerałów ilastych osadów dennych badanych jezior determinowany był rodzajem zdeponowanego na dnie materiału, który w wyniku erozji linii brzegowej, splotu powierzchniowego, transportu drogą powietrzną z najbliższego otoczenia i obszaru całej zlewni, gromadził się na dnie zbiorników.
2. W próbkach osadów jezior Pniewo i Silm, charakteryzujących się kwaśnym odczynem oraz najniższą zawartością kationów wymiennych wapnia i magnezu, stwierdzono we frakcji ilastej dominację illitów. Wysoka zawartość K_2O we frakcji ilastej potwierdza znaczący udział illitów i ich form mieszanopaketowych w składzie minerałów ilastych.
3. Najwięcej smektytów stwierdzono we frakcji ilastej osadów dennych jeziora Wdzydze. Osady dennie tego jeziora charakteryzowały się najniższą zawartością części mineralnej bezwęglanowej oraz najwyższą zawartością CaCO_3 i wymiennych kationów wapnia. Frakcja ilasta osadów jeziora Wdzydze zawierała najmniej K_2O .
4. We frakcji ilastej osadów dennych badanych jezior stwierdzono wermikulity oraz niewielkie zawartości kaolinitów i chlorytów oraz akcesoryczną zawartość kwarcu.
5. Minerały ilaste w osadach dennych badanych jezior są najczęściej pochodzenia allogenicznego. Część wermikulitów oraz minerałów mieszanopaketowych z illitami powstać mogło w drodze przemian autogenicznych. W drobnoziarnistym osadzie, jakim jest gytia, charakteryzującym się obojętnym i zasadowym odczynem, wysoką zawartością kationów wymiennych oraz dominacją amorficznych tlenków żelaza, stwierdzono warunki sprzyjające wermikulizacji.

LITERATURA

- BOYLE J.F. 2001: Inorganic geochemical methods in Palaeolimnology. W: Last W.M., Smol J.P. (red.) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. t. 2. Physical and geochemical methods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London: 83–140.
- BRINDLEY G.W., BROWN G. 1980: Crystal structure of clay minerals and their X-ray identification. *Miner. Soc. Monography*. London: 5: 411–436.
- CIEŚLEWICZ J. 2005: Comparison of chemical composition of sediments in lakes in catchments forested with beech and pine. *Latvijas Universitātes Raksti* 692: 7–18.
- CIEŚLA W. 1965: Adaptacja metody Jacksona do przygotowania próbek glebowych do analiz chemicznych i innych badań glebowych. *Rocz. Glebozn.* 15: 13–19.
- CIEŚLA W., DĄBKOWSKA-NASKRĘT H. 1983: Skład chemiczny frakcji ilastej gleb wytworzonych z gliny zwałowej moren dennych Niziny Wielkopolskiej. *Rocz. Glebozn.* 34, 3: 37–59.
- CROCK J.G., SEVERSON R. 1980: Four reference soil and rock samples for measuring element availability in the western energy regions. *US Geological Survey Circular* 841: 16 ss.
- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., DŁUGOSZ J., KOBIERSKI M. 1996: Badania składu mineralogicznego frakcji ilastej wybranych gleb brunatnych Niziny Wielkopolskiej. *Rocz. Glebozn.* 47,3/4: 171–180.
- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., KOBIERSKI M., DŁUGOSZ J. 1998: Identyfikacja struktury minerałów mieszanopakietowych z pakietami smektytowymi we frakcji ilastej gleb. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 464: 261–269.
- DE SOUSA W.P., VEIGA DE CARVALHO C.E., VEIGA DE CARVALHO C.C., SUZUKI M.S. 2004: Mercury and organic carbon distribution in six lakes from the north of Rio de Janeiro State. *Braz. Archiv. Biol. Technol.* 47, 1: 139–145.
- DŁUGOSZ J., KOBIERSKI M., MALCZYK P. 2004: Skład mineralogiczny frakcji ilastej gliny lodowcowej zlodowacenia bałtyckiego fazy poznańskiej regionu Pomorza i Kujaw. *Prace Komisji Nauk Rol. i Biol.* XXXIX, BTN, Seria B. 52: 41–47.
- EBERL D.D., VELDE B., Mc COORMICK T. 1993: Synthesis of illite-smectite from smectite at earth surface temperatures and high pH. *Clay Mineral.* 20: 676–683.
- FRANZ S.O., SCHWARZ L., BRUCHMANN C., SCHARF B., KLINGEL R., VAN ALSTINE J.D., ÇAGATAY N., ÜLGEN U.B. 2006: Results from a multi-disciplinary sedimentary pilot study of tectonic Lake Iznik (NW Turkey) – geochemistry and paleolimnology of the recent past. *J. Paleolimnol.* 35(4): 715–736.
- GONET S., CIEŚLA W. 1988: Metody dyspergowania próbek gleb do badań frakcji ilastej. *Prace Komisji Naukowej PTG* 103 ss.
- HÅKANSON L. JANSSON M. 1983: Minerals in Lake Sediments. W: L. HÅKANSON, M. JANSSON. Principles of Lake Sedimentology. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo: 101–117.
- HARDY M., JAMAGNE M., ELSASS F., ROBERT M., CHESNEAU D. 1999: Mineralogical development of the silt fraction of a podzoluvisol on loess in the Paris Basin (France). *European J. Soil Sci.* 50: 443–456.
- JACKSON M.L. 1975: Soil chemical analysis, advanced course. Publ. by the author, Madison, Wisconsin: 895 ss.
- JANCZAK J. (red.) 1996: Atlas jezior Polski. tom I, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań: 268 ss.
- JANCZAK J. (red.) 1997: Atlas jezior Polski. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań, tom II: 241 ss.
- KACZYŃSKI R. GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1997: Soil mechanics of the potentially expansive clays in Poland. *Applied Clay Science* 11: 337–355.
- KAUFMAN D.S., HU F.S., BRINER J.P., WERNER A., FINNEY B.P., GREGORY-EAVES I. 2003: A~33,000 year record of environmental change from Arolik Lake, Ahklum Mountains, Alaska, USA. *J. Paleolimnol.* 30: 343–362.
- KOBIERSKI M., DĄBKOWSKA-NASKRĘT H. 2003: Skład mineralogiczny i wybrane właściwości fizykochemiczne zróżnicowanych typologicznie gleb Równiny Inowrocławskiej. Cz. II. Skład mineralogiczny frakcji ilastej. *Rocz. Glebozn.* 54, 4: 29–44.
- LAST W.M. 2001: Mineralogical analysis of lake sediments. W: Last W.M., Smol J.P. (red.) Tracking environmental change using lake sediments. Vol. 2 Physical and geochemical methods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London: 83–140.

- mic Publishers, Dordrecht, Boston, London: 143–187.
- MARKOWSKI S. 1980: Struktura i właściwości podtorfowych osadów jeziornych rozprzestrzenionych na Pomorzu Zachodnim jako podstaw ich rozpoznania i klasyfikacji. W: Kreda jeziorna i gytia. Materiały konferencyjne. Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra: 44–55.
- MEHRA O. P., JACKSON M. L., 1960: Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system, buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.* 7: 317–327.
- MEYERS P.A., LALLIER-VERGES E. 1999: Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *J. Paleolimnol.* 21: 345–372.
- MUDROCH A., AZCUE J.M., MUDROCH P. (red.) 1997: Physico-chemical analysis of aquatic sediments. Lewis Publishers Boca Raton, New York, London, Tokyo: 287 ss.
- NAKAI N., KOYAMA M. 1987: Reconstruction of paleoenvironment from the view-points of the inorganic constituents, C/N ratio and carbon isotopic ratio in the 1400 m core taken from lake Biwa. W: Horie S. (red.) History of Lake Biwa. *Kyoto Univ. Contrib.*, Kyoto: 137–156.
- PAVEL L., UZIĄK S. 1977: Metody badań składu i właściwości mineralnych wysokodispersyjnych składników gleb. *Probl. Agrofiz.* 24: 5–67.
- SCHWERTMANN U. 1964: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraction mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanz. Bodenk.* 105: 194–202.
- SINGER A., STOFFERS P. 1980: Clay mineral diagenesis in two east african lake sediments. *Clay Min.* 15: 291–307.
- STANKOWSKA A. 1970: Minerały ilaste i własności sorpcyjne glin morenowych jako funkcja ich wieku. *PTPN Poznań* 11, 1: 15–37.
- THOREZ J. 1976: Practical identification of clay minerals. W: Lelotte G. (red.) A handbook for teachers and Students in clay mineralogy. Dison, Belgium: 90 ss.
- TOBOLSKI K. 1995: Osady denne. W: Choiński A. (red.) Zarys limnologii fizycznej Polski. Wyd. Nauk. UAM, Poznań: 180–200.
- WARD J.H. 1963: Hierarchical grouping to optimize an objective function.. *J. Am. Stat. Assos.* 58: 236–244.
- WILSON M. J. 1999: The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Min.* 34: 7–25.

Joanna Cieślęwicz

Katedra Chemii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
ul. Bernardyńska 6/8, 85-029 Bydgoszcz
e-mail: joanna@utp.edu.pl