

# Osady jezior w Polsce.

## Charakterystyka i stan rozpoznania, metodyka badań, propozycje

Jacek Rutkowski

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Analiz Strukturalnych i Kartografii, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
e-mail: jrutkowski@mpoczta.net

### Wprowadzenie

Jeziora w Polsce badane są, w uproszczeniu, w aspekcie kilku zagadnień. Wśród nich są prace analizujące misę jezior, zbudowaną ze skał podłoża, prace badające wypełniające ją częściowo osady oraz wodę. W wodzie oraz w stropowej części osadów rozwija się świat organiczny. Czynniki te oddziałują na siebie, tworząc skomplikowany ekosystem jeziora. Jeśli pominiemy się współczesny świat organiczny, którym interesują się hydrobiolodzy, to wydaje się, że w Polsce największe zainteresowanie wzbudzają i najlepiej są rozpoznane: woda i kształt misy. Najslabiej rozpoznane są osady. Im też poświęcony jest niniejszy artykuł. Jest on pisany z punktu widzenia geologa specjalizującego się w litologii skał osadowych (głównie węglanowych i klastycznych) oraz sedimentologii. Omawiając stan rozpoznania osadów jezior Polski położono nacisk na metodykę, jaką stosuje się, lub należało by stosować w badaniach, a nie krytykę istniejącego stanu wiedzy. Proponowany zakres badań winien być w przyszłości uzupełniany i modyfikowany.

Współczesne i kopalne jeziora (wieku czwartorzędowego) występujące na ziemiach polskich można podzielić na młode i stare. Młode powstały u schyłku ostatniego zlodowacenia (około 14-16 tys. lat BP) i później. Wypełnione są one osadami w różnym stopniu, nieraz całkowicie. Będą one omówione w niniejszym artykule. Jeziora, które można określić jako stare, powstały przed podaną datą. Są to, w pierwszym rzędzie, jeziora związane ze starszymi zlodowaceniami, badane w odsłonięciach przez geografów i geologów. Jeziora z okresów międzylodowcowych były analizowane głównie przez paleobiologów z wierceń, rzadziej z odsłoneń, i będą tu potraktowane bardziej ogólnie.

### Osady

Osady młodych jezior w Polsce interesują różnych specjalistów. Pierwszy nurt stanowią limnologicy i paleobiolodzy, specjaliści od torfów, geologii i petrografii, ochrony

środowiska oraz geomorfolodzy. Drugi nurt zainteresowań reprezentują geolodzy złożowi i rolnicy, interesujący się problematyką surowcową (wykorzystania osadów jeziornych do nawożenia pól) oraz geolodzy inżynierscy z racji budownictwa. Obok publikacji (np. Rzepecki 1985, Żurek-Pysz 1998) efektem tego są dokumentacje złóż i obiektów inżynierskich, zawierające, między innymi, wyniki wierceń i różnych analiz. Oba te nurty zazębiają się w niewielkim stopniu.

Osady jezior Polski na podstawie składu petrograficznego można podzielić na 3 zasadnicze grupy. Pierwszą stanowią osady klastyczne powstałe ze zniszczenia starszych skał. Przynależą tu piaski i żwiry, a także pyły i ily. Drugą stanowią osady powstałe na drodze biochemicznej lub chemicznej. W Polsce są to głównie skały zbudowane z węglanu wapnia. Trzecia grupa osadów utworzona jest z substancji organicznej.

### Osady klastyczne

Osady klastyczne utworzone są z różnej wielkości okruchów skał starszych, z których zniszczenia powstały. Wymaga to pewnego komentarza. W geologii synonimem terminu klastyczne jest określenie okruchowe lub detrytyczne. Przy badaniach takich osadów jeziornych terminu detrytyczny nie należy używać, gdyż podobne określenie „detrytusowy” jest stosowane powszechnie przy charakteryzowaniu szczątków roślinnych wedle metody Troels-Smitha (1955).

Osady klastyczne są to głązy i żwiry (o wielkości ziarna powyżej 2 mm), piaski (2-0,06 mm), pyły (0,06-0,002) i ily (poniżej 0,002 mm). Głązy i żwiry na Niżu Polskim mogą być utworzone z skał magmowych i metamorficznych, wapieni, dolomitów, piaskowców, kwarcytów itd. Piaski budują zazwyczaj ziarna kwarcu, ale mogą tu występować także ziarna np. skaleni. Składnikiem pyłów (frakcji pylastej) jest najczęściej kwarc i pokruszone różne skały, ale także minerały ilaste. Wreszcie w skład iłów (frakcji ilastej) wchodziły minerały ilaste oraz inne, drobno rozrarte składniki. W czasie badań jezior pojawia się zazwyczaj problem oddzielenia osadów klastycznych jeziornych od podobnych utworów bu-

dujących dno misy, z których zresztą powstały. Odróżnienie może umożliwić, np. stwierdzenie obecności organizmów wodnych (bioindykatorów, Tobolski 2000), czy też rozpoznanie sytuacji geologicznej. Wskaźnikiem może być silne wzbogacenie piasków w minerały ciężkie, czy też obecność ławic, szczególnie bogatych w spłaszczony otoczaki.

W jeziorach na Niżu Polskim piaski i żwiry, wyjątkowo głązy, występują w miejscach, gdzie zachodzi rozmywanie starszych osadów klastycznych (np. lodowcowych czy wodnolodowcowych). Najczęściej spotyka się je w strefie litoralnej u podnóża klifów, rzadziej w bardziej centralnych partiach jezior. Falowanie i prądy powodują zubożenie stropowej części osadów zwirowych w drobniejsze frakcje, w wyniku czego tworzy się obrukowanie, o czym wspomina np. Szostak (1967). Materiał klastyczny może też pochodzić z erozji podłoża w zlewni i być przynoszony przez rzeki. U ich wylotu w jeziorach powstają niekiedy delty np. w Płocicznie (Chudzikiewicz et al. 1979). Do jezior tatrzańskich (Więckowski 1984, Wicik 1984, Baumgart-Kotarba et al. 1993) materiał klastyczny jest dostarczany ze stoków, także przez lawiny. Możliwy jest również transport pyłów i piasków na drodze eolicznej.

Osady klastyczne współczesnych jezior rzadko były obiektem opracowań analitycznych. Opublikowano nieliczne analizy dotyczą uziarnienia i składu petrograficznego zwirowisk tworzących obrukowanie, kształtu otoczek na plażach, a także uziarnienia piasków i ich wzbogacenia w minerały ciężkie w oparciu głównie o materiał z jeziora Wigry (Rutkowski et al. 2002, 2002a, Rutkowski 2004) i z zaporowego zbiornika Turawskiego (Teisseyre 1983).

Sedymentacja klastyczna ma miejsce także w zbiornikach zaporowych, głównie w Karpatach i Sudetach oraz na ich przedpolu. Osady wykształcone są tu jako mułki, rzadziej piaski i żwiry. Występująca w nich substancja organiczna jest pochodzenia lądowego. Swoim charakterem nie powinny różnić się one zasadniczo od osadów tworzących się w dolinach rzecznych w czasie powodzi. W górnej części jezior powstają niekiedy delty, np. u ujścia Dunajca do jeziora Rożnowskiego (Klimek et al. 1990). Osady jezior zaporowych analizowano głównie z punktu widzenia szybkości wypełniania zbiorników (Łajczak 1999).

Wiele uwagi poświęcono ilom zastoiskowym, tworzącym się na przedpolu lądolodów, jakie w plejstocenie pokrywały Polskę. Rytmicznie warstwowane osady (iły warwowe) są najlepiej zbadanymi klastycznymi osadami jezior w Polsce. Budują je laminy jasne, grubsze i bardziej gruboziarniste, powstałe w okresie letnim, przedzielone cieńszymi, ciemniejszymi i bardziej drobnoziarnistymi laminami utworzonymi w okresie zimowym. Z punktu widzenia uziarnienia iły warwowe mogą być zarówno ilami, jak i pyłami. Utwory te opisywano w licznych pracach w zakresie wykształcenia lamin, struktur sedymentacyjnych i późniejszych deformacji, składu mineralnego i chemicznego. Interesowano się także ich własnościami geotechnicznymi i przydatnością dla przemysłu ceramicznego. Literaturę zestawia Paluszkiwicz (2004).

### Osady biochemiczne i chemiczne

Do grupy tej przynależą osady powstałe na skutek wytrącania się węglanu wapnia w związku z procesami asymilacji oraz utworzone ze skorup małży, ślimaków i pancerzyków okrzemek. Należy wymienić również osady utworzone na drodze czysto chemicznej, na skutek wytrącania się węglanu wapnia czy związków żelaza.

Węglan wapnia  $\text{CaCO}_3$ , z nieznaczną domieszką węglanu magnezu, występuje w Polsce na Niżu w osadach wielu jezior, w ilości do kilku do ponad 95%. Jeśli jego zawartość przekracza 80%, osad określa się jako kredę jeziorną. Przy niższej mówimy o gytii węglanowej. Z mineralogicznego punktu widzenia węglan wapnia jest przeważnie kalcytem. Jedynie muszle mięczaków zbudowane są z aragonitu.

Obecny w osadach jeziornych węglan wapnia powstał głównie na skutek jego wytrącania z wody w czasie asymilacji. Buduje on także skorupki małży, ślimaków i małżoraczek. Wytrącanie zachodzi również na skutek procesów fizykochemicznych.  $\text{CaCO}_3$  jest więc pochodzenia biochemicznego czy chemicznego. W osadach jezior składnik ten może występować zarówno we frakcji ilastej, pylastej i piaszczystej, a nawet zwirowej, co ma miejsce w strefie litoralnej. W profundalu obserwuje się wyłącznie frakcje pylastą i ilastą. Wkładowki bardziej gruboziarniste, pojawiające się niekiedy w profilach kredy jeziornej z litoralu lub w ich stropie, stanowią zapis intensywniejszej działalności fal lub prądów. We frakcjach grubszych, od 1 czy 0,5 mm, występują często rurki o średnicy od kilku dziesiątych do 1-2 mm, powstające na skutek wytrącania się węglanu wapnia na makrofitach, głównie ramienicach *Chara* sp. (wapienie ramienicowe – por. Tobolski 2000, Rutkowski 2004). Wyjątkowo zdarzają się grudki wykazujące ślady naskorupień węglanowych, przypominające onkolity (Tobolski 2000). Niektóre rurki są zamknięte, co wskazuje, że powstawały one w czasie co najmniej 2 lat. Stałym składnikiem tego typu osadów, powstałych w litoralu, są muszle małży i ślimaków. Jeśli występują one masowo, można mówić o wapieniach muszlowych.

Jon wapniowy  $\text{Ca}^{2+}$ , obecny w wodach jezior, pochodzi głównie z rozpuszczania okruchów skał węglanowych (wapieni i dolomitów), zawartych w piaskach i żwirach osadów wodnolodowcowych czy lodowcowych (na Niżu Polskim) lub ze starszego podłoża skalnego, co było znane od dawna (np. Rzepecki 1985). Do jezior jest on dostarczany poprzez rzeki i wody gruntowe. Może też pochodzić z rozmywania brzegów zbudowanych z osadów zawierających ziarna skał węglanowych i rozarty materiał węglanowy, a więc może być częściowo składnikiem klastycznym. Może on być także, zmywany z nawożonych sztucznie pól (Marszelewski 2001), a więc być natury antropogenicznej.

Oznaczenie zawartości węglanu wapnia w osadzie, możliwe jest np. stosunkowo prostą i często w Polsce stosowaną metodą Scheiblera. Polega ona na oznaczeniu objętości  $\text{CO}_2$  i obliczeniu na tej podstawie zawartości  $\text{CaCO}_3$ . Określenie zawartości węglanu wapnia na podstawie straty prażenia

pomiędzy 550 a 950°C jest mniej wskazane, gdyż w tych temperaturach uchodzi woda z rozkładających się minerałów ilastych. Analiza chemiczna daje oczywiście tylko sumę  $\text{CaCO}_3$  w osadzie. Odróżnienie skupień węglanu wapnia, powstałych na drodze biochemicznej, od ziarn skał wapieni pochodzenia klastycznego możliwe jest we frakcjach żwirowych i piaszczystych (pod binokulem). Autorzy prac poprzestają najczęściej na podaniu zawartości  $\text{CaCO}_3$  i substancji organicznej. Natomiast opisy petrograficzne i analizy składu ziarnowego podawane są znacznie rzadziej (Wyrwicki 2000, Żurek-Pysz 1998, Król 1998, Rutkowski et al. 2002, Rutkowski 2004). Wykorzystywano także rentgen dla określenia charakteru domieszki składników klastycznych i mikroskop skaningowy.

Istotnym składnikiem niektórych osadów jeziornych są pancerzyki okrzemek, zbudowane z krzemionki, badane głównie przez paleobiologów. Osady bogate w okrzemki (diatomity) opisywał z interglacjalnych osadów jeziornych z Bełchatowa Krzyszkowski (1991). O gytiach z dużą zawartością okrzemek w jeziorze Beldany wspomina także Więckowski (1966).

Pochodzenia biochemicznego czy chemicznego są wytrącające się w niektórych jeziorach związki żelaza, tworzące tzw. rudy jeziorne. Z jezior Polski utwory takie nie były opisywane, chociaż wzbogacenia w ten pierwiastek prawdopodobnie istnieją (Więckowski 1966). Ilość żelaza w osadach jeziornych może być znaczna. W przeliczeniu na  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dochodzi do 9,1% (Jeziora Raduńskie, Gołębiowski 1976) i do 10,0% (jeziora Suwalszczyzny, Stangenberg 1938).

Podstawowymi cechami węglanowych osadów jeziornych, w tym także węglanowych, są ich własności fizyczne. Jest to zawartość wody (stosunek masy wysuszonej próbki do jej masy w stanie wilgotności naturalnej wyrażony w procentach wagowych) oraz gęstość objętościowa (stosunek masy próbki w stanie wilgotności naturalnej do jej objętości wyrażony w  $\text{kg/m}^3 \times 10^3$ ). Informują one o kompaktacji osadu. Przykładowo, w kredzie jeziornej z Wigier (Rutkowski 2004) zmienia się ona w zakresie 1,2-1,5  $\text{kg/m}^3 \times 10^3$ . Oba te parametry oznacza się bezpośrednio po wydobyciu rdzenia z rdzeniówki. Gęstość objętościową należy wyliczyć natychmiast po zważeniu próbki, kiedy materiał jest jeszcze na stole i można powtórzyć oznaczenie.

### Osady organiczne

Substancja organiczna stanowi jeden z zasadniczych składników większości osadów jeziornych, występując w ilości od poniżej 1% (np. w czystych piaskach plażowych) do ponad 90% (np. w bezwapnistych gytiach jezior dystroficznych). Substancja organiczna może powstawać zarówno w jeziorze, jak też być przynoszona ze zlewni przez wodę lub wiatr. Lokalnie na dnie jezior mogą występować rozmyte torfy. Podstawową i powszechnie stosowaną metodą badawczą jest tu analiza szczątków organicznych dokonywana pod mikroskopem wg Troels-Smitha (1955), opisana w przewodniku Tobolskiego (2000).

W świetle analiz chemicznych w osadach jezior NE Polski substancję organiczną reprezentują kwasy humusowe (kwasy fulwowe i huminowe), bituminy, polisacharydy i inne (Górniak 1996). Kwasy humusowe są częściowo skompleksowane z substancją mineralną. Są to substancje bardzo złożone, a ich rozdzielenie przy masowym oznaczaniu niewykonalne.

Analitycznie można oznaczać substancję organiczną jako stratę prażenia lub metodą Tiurina. Pierwsza jest powszechnie stosowana w Polsce w badaniach osadów prowadzonych równoległe z badaniami paleobiologicznymi. Odejmując stratę prażenia od 100% otrzymuje się tzw. popielność, którą interesują się np. torfoznawcy. Oznaczając stratę prażenia (550°C, 4 godz.) uzyskujemy wynik nieco zawyżony, gdyż w tych warunkach rozkłada się częściowo węglan wapnia (czemu można zaradzić poprzez regenerację) i uchodzi częściowo woda, zawarta w minerałach ilastych. Ograniczenia te można najczęściej pominąć. Metoda Tiurina daje zawartość węgla organicznego, którą następnie przelicza się na substancję organiczną. Wymaga ona stosowania żrących odczynników ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

Bezwapienne gyty z jezior dystroficznych wykazują w stropie bardzo wysoką zawartość wody, rzędu 99% i gęstość objętościową bliską  $1 \text{ kg/m}^3 \times 10^3$ . Osad taki ma konsystencję płynną, co powoduje, że sondy ciężarkowe grzęzną w nim na trudną do określenia głębokość, czyniąc je nieprzydatnymi do pracy w takich warunkach.

### Niektóre problemy analityczne

Ważnym źródłem informacji o większości osadów jeziornych są wyniki analiz chemicznych. Najczęściej wykorzystuje się analizy wskaźnikowe, podające np. zawartość  $\text{CaCO}_3$ , czy substancji organicznej, rzadziej analizy wieloskładnikowe. Wyniki przedstawia się najczęściej w formie tlenków, niekiedy w formie atomowej. Może to być uzasadnione, jeśli interesuje nas głównie chemizm osadów. Jeśli obiektem zainteresowań są osady zalegające na dnie jeziora, czy zachodzące tam procesy, to dyskutowane powinny być te związki chemiczne (minerały), które faktycznie występują na dnie. Przykładowo, w analizie chemicznej zawartość wapnia może być podana jako zawartość Ca lub CaO, które w przyrodzie nie są obserwowane. W osadach występuje natomiast węglan wapnia  $\text{CaCO}_3$ . Różnice pomiędzy nimi, szczególnie po zalaniu wodą, nie wymagają komentarzy. Glin Al w osadach może występować głównie w skaleniach i/lub w minerałach ilastych o odmiennych własnościach sorbcyjnych. Krzem Si może występować jako kwarc, jako uwodniona krzemionka budująca pancerzyki okrzemek, a także w skaleniach i w minerałach ilastych.

### Wybrane problemy sedymentacji i wiek osadów

Warunki sedymentacji i charakter zmian środowiska określa się, na ogół, na podstawie zawartego w osadach świata organicznego i charakterystyki samych osadów. Można spoj-

rzyć na to, analizując struktury sedymentacyjne występujące w różnej skali i badane odmiennymi metodami. Ważne jest tu również, datowanie osadów pozwalające na porównywanie profili odległych jezior.

Do najważniejszych struktur sedymentacyjnych należy roczna laminacja (Goslar 1995, Tobolski 2000). Powstaje ona na skutek cyklicznej zmienności świata organicznego i/lub warunków fizykochemicznych. W jeziorze Gościąg (Rajska-Jasiewiczowa et al. 1998), laminacja tworzyła się przez ok. 12 850 lat. Długie serie osadów laminowanych opisano z jeziora Perepilsno na Pojezierzu Lubelskim (l.c.). Znane są one z Bełchatowa, gdzie reprezentują plejstocen (interglacjał ferdynandowski, Krzyszkowski 1991). Osady laminowane w kilkunastu jeziorach północno-wschodniej Polski stwierdził ostatnio Tylman (2006). Prześwietlanie rdzeni promieniami rentgena uwidacznia często struktury sedymentacyjne nie widoczne lub słabo widoczne gołym okiem. Metodę tą stosowano w jeziorach tatrzańskich i w Gościążu (Baumgart-Kotarba et al. 1993, Rajska-Jasiewiczowa et al. 1998). Struktury sedymentacyjne w wielkiej skali, jak np. zaleganie transgresywne, wyklinowywanie się warstw czy też ścięcia erozyjne osadach jeziornych można śledzić na przekrojach sejsmicznych wysokiej rozdzielczości (Rutkowski et al. 2002, 2005), a także analizując przekroje wykonane za pomocą wierceń. Osady jeziorne w stromościennych rynnach są niekiedy zaburzone przez osuwiska. Najlepszą metodą ich rozpoznania jest sejsmika, co wykazano w jeziorze Wigry (Rutkowski et al. 2002, 2005) i sonar (Osadczyk, w tym tomie). Osuwisko można też stwierdzić na podstawie artefaktów, np. w jeziorze Mikołajskim, gdzie pod 2,7 m warstwą osadu znaleziono kawałek skóry ze śladami szycia (Więckowski (1966).

O warunkach sedymentacji w litoralu można wnioskować na podstawie obserwacji bezpośrednich dna. Można to czynić przy użyciu tzw. lunety wodnej lub w czasie nurkowania. Luneta wodna jest to rura o średnicy ok. 20 cm, zamknięta z dołu przezroczystą szybą. Umożliwia ona z łodzi obserwacje dna do głębokości kilku metrów. To, praktycznie, prawie nieznanne urządzenie, zdaniem autora jest bardzo korzystne przy badaniach litoralu. W Polsce obserwacje można nawet wykonywać nurkując z maską i rurką w okresie maksimum letniej stagnacji do głębokości 2-3 m. Począwszy od dolnej części epilimnionu nurkowanie musi odbywać się w kombinezonie ochronnym, a prace prowadzić zespół wyszkolonych płetwonurków. Można też wykorzystać do obserwacji podwodny pojazd z kamerą (por. Grabiec, w tym tomie), co jest jednak bardzo kosztowne.

Wykorzystanie płetwonurków do badaniach jezior jest w Polsce minimalne. Wynika to z wysokich kosztów sprzętu, konieczności pracy co najmniej dwóch nurków oraz braku limnologów o odpowiednich kwalifikacjach.

### **Datowanie osadów jeziornych i szybkość sedymentacji**

Wiek osadów jeziornych może być określany na podstawie rocznej laminacji, metodami biologicznymi i fizycznymi opartymi na rozpadzie promieniotwórczych izotopów,

w oparciu o sejsmostratygrafię i obecność produktów działalności człowieka. Można wykorzystać także dendrochronologię. Większość tych metod jest w Polsce powszechnie stosowana.

Najdokładniejsze porównania wieku można wykonywać wykorzystując osady rocznie laminowane, omówione powyżej. Metody biologiczne datowania osadów są najpowszechniej stosowane. Polegają one na oznaczeniu zespołów roślin (na podstawie analizy pyłkowej), wioślarek, okrzemek, małżoraczków, mięczaków itp. Na tej podstawie, przez porównanie, określa się wiek osadów.

Najważniejszą metodą fizyczną datowania osadów jeziornych jest metoda radiowęglowa  $^{14}\text{C}$  (Pazdur, w druku), o zasięgu do 50 000 lat. Jej odmiana jest tzw. „metoda akceleratorowa” (AMS – Accelerator Mass Spectrometry), pozwalająca na datowanie próbek o masie kilku miligramów. Wiek osadów można oznaczać na szczątkach roślin i zwierząt żyjących na lądzie. Wiek flory i fauny jeziornej, a także osadów węglanowych tworzących się w jeziorach jest często postarzony, co wiąże się z tzw. efektem rezerwarowym. Jego odliczanie jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym. Stąd też, dla zasady, należy datować spąg torfów przykrywających i strop podścielających osady jeziorne. Ważna jest informacja, na jakim materiale wykonano datowanie (jaki materiał, powstały na lądzie czy w wodzie, węglany). W Polsce metoda radiowęglowa jest powszechnie stosowana, a oznaczenia wykonuje się w kilku ośrodkach. Metoda AMS stosowana jest tylko w Poznaniu. Masowe datowania próbek utrudnia wysoki koszt oznaczeń, szczególnie wykonywanych metodą AMS.

Wiek stropowej, najmłodszej części osadów jeziornych można określać metodą ołowiową  $^{210}\text{Pb}$  o zasięgu do 150 lat i metodą cezową wykorzystującą sztuczny izotop tego pierwiastka  $^{137}\text{Cs}$  powstały przy wybuchach jądrowych i awariach, np. w Czarnobylu. Jej zasięg wynosi 60 lat. Trudności w interpretacji może sprawiać przemieszanie osadu.

Korelację osadów jeziornych w sprzyjających warunkach można przeprowadzać metodami sejsmiki wysokiej rozdzielczości i sejsmostratygrafii (Rutkowski et al. 2002a, 2004, Osadczyk, w tym tomie). Polega to na porównywaniu zespołów refleksów na profilach sejsmicznych i powinno być podstawą wstępnych badań jezior. W Polsce badania są w fazie początkowej, a facje przydatne do korelacji opisano z jeziora Wigry (Rutkowski, op. cit).

Datowanie i korelacje osadów jeziornych można przeprowadzać także na podstawie obecności artefaktów i produktów działalności człowieka. Rolę tę spełnia znaczna domieszka metali śladowych w stropowej części profili osadów jeziornych, powstała w okresie intensywnego rozwoju przemysłu (Prosowicz, Helios-Rybicka 2002, Migaszewski, Gałuszka 2002).

Określanie wieku osadów powinno się opierać na wielu danych, co pozwala określić szybkość sedymentacji w mm/rok. W starszej literaturze czyniono to drogą interpolacji liniowej pomiędzy datami. Właściwsze jest wyliczenie tzw. krzywej

kalibracyjnej. Jej wartość zależy od ilości pomiarów i dokładności, z jaką zostały wykonane. Przy pobieraniu próbek z jezior, w których współcześnie trwa sedymentacja, a osady są nie zaburzone, jedyną datą określoną z całkowitą pewnością jest data pobrania próbki równa wiekowi stropu osadów.

Szybkość sedymentacji można podawać w mm/rok. Wynik taki jest jednak, zależny od zawartości wody w osadzie i stopnia kompaktacji. Wpływ tych czynników eliminuje się wyrażając ją w g/rok/cm<sup>2</sup> (np. Ralska-Jasiewiczowa 1998, Gołębiewski et al. 2001). Tę ostatnią wartość wylicza się mnożąc zawartość suchej pozostałości (%) przez gęstość objętościową (g/cm<sup>3</sup>) i dzieląc ją przez szybkość sedymentacji (lat/cm).

Określając środowisko sedymentacji osadów jeziornych rozważa się na ogół zmiany w charakterze osadzonego materiału, rzadziej struktury sedymentacyjnej. Związek osadów z życiem biologicznym w pracach dotyczących osadów jest zauważany w małym stopniu mimo, że już 80 lat temu pisali o tym biolodzy (np. Demel 1923). Zanik łąk ramienicowych, będących poważnym źródłem węglanu wapnia w osadach, spowodowany wzrostem zanieczyszczeń zmienia zasadniczo charakter osadu. Dotyczy to także pojawienia się gęstych zarośli trzcin.

### Problem klasyfikacji

Z przedstawionych uwag wynika, że ewidentne rozdzielanie materiału klastycznego od powstałego na drodze chemicznej czy biochemicznej jest niemożliwe. Realnym jest natomiast wydzielenie trzech nieco innych grup składników. Pierwsza to węglan wapnia, powstały dzięki procesom biochemicznym i chemicznym, ale także pochodzenia klastycznego. Drugą reprezentuje substancja organiczna powstała w jeziorze i przyniesiona częściowo przez rzeki. Trzecia to mieszanina materiału klastycznego (minerały ilaste, kwarc i okruchy różnych skał), substancji wytrąconych na drodze chemicznej (np. związków żelaza), często z domieszką krzemionkowych pancerzyków okrzemek. Zazwyczaj są one drobno lub bardzo drobnoziarniste. Petrograficznie są to jedne z trudniejszych skał, a ich jakościowe badanie, nie mówiąc już o ilościowym, jest żmudne, kosztowne i nie rokuje szybko spektakularnych wyników.

Powoduje to brak zainteresowań petrografów tego rodzaju utworami. Osady te zazwyczaj określa się terminem gytia. Obejmuje on utwory bardzo odmienne jak: bezwapienne galaretowate gytie występujące w niektórych jeziorach dystroficznych, gytie o bardzo zróżnicowanej zawartości węglanu wapnia czy kredę jeziorną. A zatem termin gytia, *de facto*, oznacza „osad jeziorny”.

Stąd też w pracach biologicznych takie utwory należy badać metodą Troels-Smitha (1955; por. Tobolski 2000) i stosować wynikające z niej określenia. Uzyskane tą drogą informacje są niewystarczające do analizy procesów geologicznych zachodzących w osadach (np. lityfikacji, przeobrażeń substancji organicznej, diagenety, tempa sedymentacji itp.),

a także wiązania i uwalniania zanieczyszczeń (np. fosforu, metali ciężkich). Analizy laboratoryjne przy tego typu rozważaniach powinny objąć, co najmniej, oznaczenie węglanu wapnia i substancji organicznej oraz wody i gęstości objętościowej. W dalszej kolejności można wymienić badania uziarnienia i chemizmu, obserwacje mikroskopowe itp.

Problem klasyfikacji osadów jeziornych jest, z racji ich charakteru litologicznego, skomplikowany. Ważniejsze podziały omawiają Rzepecki (1983) i Tobolski (2000). Zdaniem piszącego te słowa od nazewnictwa ważniejsza jest pełna charakterystyka osadu, pozwalając dopasować go do licznych klasyfikacji. Stąd proponuje się szeroki zakres badań analitycznych. Piszący te słowa zaleca klasyfikację Tobolskiego (2000) uzupełnioną o ilościowe oznaczenie zawartości węglanu wapnia i substancji organicznej.

Generalnie osady zawierające ponad 80% CaCO<sub>3</sub> należy traktować jako kredę jeziorną (niekiedy jako wapienie ramienicowe, czy muszlowe). Utwory utworzone głównie z substancji organicznej, przy minimalnej zawartości CaCO<sub>3</sub>, stanowią gytie bezwęglanowe. Osady o cechach pośrednich są gytiami węglanowymi. Wszystkie te utwory mogą zawierać domieszkę kwarcu klastycznego, pyłu czy minerałów ilastych i wtedy określić je wypada odpowiednio jako piaszczyste, mułkowe czy ilaste (obecność minerałów ilastych należy stwierdzić analitycznie). Znaczna domieszka okrzemek pozwala traktować osad jako diatomitowy lub diatomit, a przewagą związków żelaza jako żelazisty, czy jako rudę jeziorną.

Przy analizie problemów utylitarnych nomenklaturę osadów określają odpowiednie normy. Dotyczy to wartości surowcowej osadów jeziornych jako materiału do wapnowania pól, a także zagadnień związanych z budownictwem i pracami melioracyjnymi.

Rozpoznanie litologii osadów umożliwia jej kartograficzne przedstawienie, choć generalnie jest to problem trudny (Rutkowski, Król 2005). Zazwyczaj przedstawia się wybrane elementy składu chemicznego czy uziarnienia. Jest to stosunkowo proste w przypadku dużych jezior, gdzie zmienność horyzontalna osadów jest nieznaczna, a izolinie zawartości można kreślić bez większych ograniczeń (np. Rühle 1961, Osadczyk 2004). Tam, gdzie zmienność pozioma (facjalna) jest znaczna, najczęściej w litoralu, należy ją uwzględnić przy wykreślaniu mapy. Dotyczy to także metali śladowych, których zawartość jest zależna od facji osadów (Prosowicz, Helios-Rybicka 2002). Przy dużej zmienności osadów w strefie brzegowej lub jej słabej dostępności należy pozostawić ją bez sygnatury (Osadczyk 2004). Jeżeli można wykazać, że zasięg kredy jeziornej w przybliżeniu odpowiada położeniu płyczn na zdjęciach lotniczych (Rutkowski et al. 2002, 2006), to na tej podstawie można sporządzić mapę geologiczną osadów pokrywających dno. Opracowań kartograficznych opartych o sondowanie jest niewiele (Rühle 1932, Szostak 1967, Teisseyre 1983).

## Podsumowanie

Stan rozpoznania osadów jeziornych w Polsce jest zróżnicowany. Wynika to z zalecanych metod opróbowania, liczebności, przygotowania i korzeni naukowych autorów, możliwości logistycznych czy atrakcyjności obiektów. Pobierając próbki w najgłębszych miejscach jezior otrzymuje się na niżu osady węglanowo-organiczne lub organiczno-klastyczne, jak gytie węglanowe, czy gytie z domiesza mułków lub ilów. Natomiast osady litoralne, jak kreda jeziorna, czy jeziorne piaski i żwiry pozostawały poza zasięgiem bardziej szczegółowych rozważań. Stąd też, na współczesną kredę jeziorna zwrócono uwagę dopiero w ostatnich latach.

Ilość autorów zajmujących się osadami jezior jest niewielka, a tylko część z nich posiada przygotowanie z petrografii skał osadowych i sedimentologii. Sprzęt do pobierania rdzeni jest kosztowny. Samo pobieranie rdzeni z dna jezior jest wielokrotnie trudniejsze niż na lądzie. Z problemami logistycznymi wiąże się zainteresowanie w pierwszym rzędzie jeziorami posiadającymi odpowiednie zaplecze (np. jeziora: Mikołajskie, Raduńskie i Wigry) czy położonymi w pobliżu ośrodków naukowych (jeziora kaszubskie, rejon Olsztyna). Jako obiekty szczególnie atrakcyjne badano, np. jezioro Gościąg i jeziora Tatr. Spośród 2913 jezior o powierzchni większej od 10 ha, jakie podaje Jańczak (1996-1999) informacje o osadach dotyczą nie więcej niż parę procent obiektów. Rozpoznanie osadów jeziornych w Polsce jest proporcjonalne do realnych możliwości i stanowi jedno z zadań na przyszłość. W tym świetle stan badań jeziornych nie odbiega zasadniczo od publikowanych prac z zakresu geomorfologii czy geologii.

Przedstawiając stan rozpoznania osadów jeziornych, należy podkreślić znaczenie największego polskiego osiągnięcia w tym zakresie jakim jest opracowanie jeziora Gościąg (Ralska-Jasiewiczowa et al. 1998). Jest to niewielkie jezioro położone na Pojezierzu Gostynińskim koło Płocka o powierzchni 42 ha i głębokości do 24 m, wypełnione osadami laminowanymi. W profilu o długości ok. 15 m stwierdzono ok. 12 850 rocznych lamin, które powstawały od allerödu po dzień dzisiejszy. Jezioro jest szczegółowo i wszechstronnie opracowane i było tematem wielu publikacji podsumowanych w monografii ponad 40 autorów (Ralska-Jasiewiczowa et al. 1998). Przedstawiono w niej wyniki badań nad otoczeniem jeziora, wykształceniem osadów, stratygrafią opartą na laminacji i datowaniach radiowęglowych, palinologii, wioślarkach i okrzemkach. Uwzględniono także cechy geochemiczne i stabilne izotopy, problematykę archeologiczną i historyczną. Szczególna wartość monografii polega na jej interdyscyplinarnym charakterze i korelowaniu ze sobą różnorodnych, badanych przez wielu autorów zjawisk. Tego rodzaju opracowania posiada obecnie jedynie kilka jezior w skali światowej. Stanowi ono wzór dla dalszych opracowań, co zresztą zaznacza się w nowszych publikacjach.

Odkrycie osadów laminowanych w jeziorze Gościąg jest zasługą wybitnego limnologa i konstruktora sprzętu, dr Kazimierza Więckowskiego. Pracując od 1957 roku w Stacji

Badawczej Instytutu Geografii PAN w Mikołajkach prowadził on równoległe prace nad osadami jezior i sprzętem wiertniczym. Już w roku 1961 dysponował sondą pozwalającą na uzyskanie rdzeni o długości 10 m. Przy jej pomocy 3 osobowy zespół pobierał dziennie z lodu lub z pontonu 4-6 rdzeni. Praca o osadach jeziora Mikołajskiego (Więckowski 1966) o powierzchni ok. 4 km<sup>2</sup> oparta jest, między innymi, na analizie ok. 100 rdzeni o długości do 10 m (łącznie 600 m).

Jako człowiek życzliwy i chętny do współpracy K. Więckowski, częściowo wspólnie z B. Wicikiem, pobierali rdzenie z wielu jezior w Polsce (np. na Pomorzu, w Tatrach, Lubelszczyźnie itp.) rozpoznając osady jezior dla własnych opracowań, prowadząc praktyki i wspomagając innych. W ten sposób laminowane osady jeziora Gościąg zostały rozpoznane po raz pierwszy w 1980 r.

## Propozycje w zakresie programu badań

Na zakończenie celowym jest przypomnienie niektórych zasad prowadzenia badań osadów jeziornych. Dotyczy to szczególnie obiektów dużych i będzie interesujące szczególnie dla młodszych badaczy. Badania jezior optymalnie jest prowadzić wielofazowo, przy czym poszczególne fazy mogą się zająć.

### Opróbowanie

W strefach brzegowych punkty opróbowania powinny być lokalizowane na mapach topograficznych 1:10 000 i dokładniejszych lub na zdjęciach lotniczych w podobnej skali. W pozostałych częściach jezior właściwa jest lokalizacja przy użyciu GPS (z dokładnością do 0,01 minuty). Punkty w których pobierano próbki i wykonywano obserwacje powinny być na bieżąco wnoszone na mapę dokumentacyjną (Rutkowski, Król 2005).

Pobierając rdzenie należy określić głębokość w danym punkcie i zlokalizować go w stosunku do linii brzegowej, ławicy przybrzeżnej, stref erozji i akumulacji. Istotne jest nawiązanie do ujścia rzek, źródeł, punktów wypływu ścieków, przystani itp. Ważne jest też powiązanie punktów opróbowania z życiem biologicznym, a szczególnie z występowaniem organizmów osadotwórczych (łąki ramienicowe, skupienia mięczaków) czy zwartych pokryw trzciny. Wszystkie te dane mogą ułatwić późniejsze prace interpretacyjne.

Pobrane rdzenie czy próbki powinny znaleźć się na wykonanych już, lub przewidzianych do wykonania liniach przekrojów batymetrycznych i sejsmicznych. Jeśli jezioro było już opisywane nawet w innych aspektach, to opróbowanie powinno uwzględniać takie strefy.

Zebrany materiał powinien umożliwić charakterystykę wszystkich facji występujących w jeziorze. Poszczególne facje trzeba przy opróbowywaniu traktować oddzielnie. Ilość rdzeni czy próbek przewidzianych do badań zależy od koncepcji prowadzenia prac. Przy badaniach punktowych potrzeba minimum kilka rdzeni z każdej facji. Rozpo-

znanie profilami wymaga, co najmniej, kilku rdzeni na przekrój. Przy badaniach powierzchniowych (dla sporządzenia map) może to być kilkadziesiąt i więcej próbek na km<sup>2</sup>.

Ilość próbek potrzebnych do scharakteryzowania poszczególnych facji zależy także, od ich zmienności. Można ją określić metodami statystycznymi. Innym rozwiązaniem jest przyjęcie, że ilość pobranych próbek jest wystarczająca, jeśli następne próbki nie zmieniają charakterystyki danych osadów.

Zasadnicze znaczenie mają oczywiście możliwości logistyczne i finansowe. Ostateczna ilość próbek i zakres prac jest zawsze kompromisem pomiędzy ilością badań potrzebną do planowanej charakterystyki jeziora, a możliwościami.

### Opracowanie rdzeni

Po wydobyciu rdzeni zaleca się wykonać następujące prace.

1. Zdjęcia fotograficzne z zaznaczoną skalą.
2. Opis makroskopowy rdzeni z uwzględnieniem, między innymi, uziarnienia, szczątków organicznych, struktur sedymentacyjnych, konsystencji, barwy i jej zmian na powietrzu, reakcj z kwasem solnym itp.
3. Pobranie próbek w stanie świeżym i określenie:
  - gęstości objętościowej w stanie wilgotności naturalnej.
  - zawartości wody (suchej pozostałości) (% wag.).
  - uziarnienia (badanego na mokro).
4. Pobranie materiału do analiz paleobiologicznych.
5. Pobranie próbek do oznaczeń chemicznych wskaźnikowych, co najmniej CaCO<sub>3</sub> i substancji organicznej.
6. Pobranie próbek do pozostałych analiz, jak np. do: obserwacji przepłukanego materiału, badań w mikroskopie optycznym i skaningowym, mikrosonda, rentgen, DTA, badań izotopowych, oznaczania podatności magnetycznej, pełnych analiz chemicznych, analiz geochemicznych, chlorofilu itp.
7. Zestawianie tabel, wykonanie wykresów, wyliczenia statystyczne i sporządzenie map, ilustrujących zmienność badanych osadów oraz ich wstępna interpretacja powinny się odbywać sukcesywnie w miarę uzyskiwania wyników.

### Program badań

Faza wstępna obejmuje zapoznanie się z jeziorem, jego batymetrią, a szczególnie rozkładem płycizn (na mapach batymetrycznych i zdjęciach lotniczych), osadami i środowiskiem przyrodniczym (w tym także z mapami roślinności podwodnej) oraz dotychczasowym rozpoznaniem. Zaleca się zapoznanie się z podobnymi jeziorami, szczególnie posiadającymi szczegółowe opracowania.

Należy także zaznajomić się z techniką pobierania rdzeni, ich podziału i analiz laboratoryjnych. Rozpoczynając prace nad jeziorami po raz pierwszy dobrze jest zapoznać się z tymi zagadnieniami u boku kogoś prowadzącego podobne badania. Ponadto należy zaplanować uzupełniające pomiary batymetryczne i badania sejsmoakustyczne. Faza wstępna obejmuje także pobranie próbek potrzebnych do wstępnej

oceny osadów, ich zbadanie i interpretację wyników.

Daje to wiedzę która pozwala na optymalną lokalizację sond, wierceń i przekrojów. Pozwala na ich właściwe opróbowanie. Ponadto umożliwia określenie przydatności-metod pobierania rdzeni, wykonywania analiz, ich pracochłonności i kosztów, a zatem ilości sond oraz ilości i wielkości próbek które planujemy przebadac oraz czasu potrzebnego na te prace. Pozwala także planować uzupełniające zakupy sprzętu itp. Przewidywać należy tylko badania, których wyniki sami lub przy współpracy z innymi potrafimy zinterpretować. Próbek należy pobrać więcej niż przewidujemy wykonać badań, a ich wielkość powinna być co najmniej 2 razy większa od ilości materiału potrzebnego do oznaczeń. Planowanie pobierania próbek z lodu jest obecnie (AD 2006/2007) bardzo ryzykowne, gdyż brak jest gwarancji pojawienia się pokrywy lodowej, chociaż przed 50 laty można to było zakładać.

Badania zasadnicze obejmują wykonanie sond i wierceń, opróbowanie, analitykę, zestawień tabelarycznych, kartograficznych, wykresów i analizę statystyczną. Zestawienia powinny być sporządzane z chwilą pojawienia się pierwszych wyników. Na każdym etapie prowadzenia badań konieczne jest krytyczne podejście do swoich wyników. Postępy w rozpoznaniu jeziora i własnych kwalifikacjach mogą spowodować konieczność wykonania kontrolnych badań terenowych, reinterpretacji części uzyskanych wyników, a czasem ich powtórzenia.

Podsumowaniem prac jest przygotowanie sprawozdań, artykułów do druku oraz referatów. Należy przy tym pamiętać, że poprawne są: praca, komunikat czy referat zawierające: lokalizację, dane o metodzie, wyniki i ich omówienie na tle dotychczasowych poglądów i porównania. Należy je przedstawić w sposób jasny i przejrzysty dla czytelnika lub słuchacza w poprawnym polskim lub angielskim języku. Ważnym jest też publikowanie podstawowego materiału dokumentacyjnego, a nie tylko uśrednionych tabel i wniosków.

### Literatura

- Baumgart-Kotarba M., Kotarba A., Wachniew P. 1993. Młodo holocenijskie osady jeziorne Morskiego Oka w Tatrach Wysokich i oraz ich datowanie radioizotopami <sup>210</sup>Pb i <sup>14</sup>C. Dokumentacja Geograficzna 4-5. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN: 45 – 61.
- Chudzikiewicz L., Doktor M., Gradziński R., Haczewski G., Leszczyński S., Łaptaś A., Pawełczyk J., Porębski S., Rachocki A., Turnau E. 1979. Sedymentacja współczesnej delty piaszczystej w jeziorze Płociczno (Pomorze Zachodnie). *Studia Geologica Polonica* LXII. PAN. Warszawa: 1-61.
- Demel K. 1923. Ugrupowania etologiczne makrofauny w strefie litoralnej jeziora Wigierskiego. *Prace Inst. Nenckiego* 29. *Prace Stacji Hydrobiologicznej na Wigrach*. 2/1923: 1-49.
- Gołębiewski R. 1976. Osady dennie jezior Raduńskich. *Gdańskie Towarzystwo Naukowe. Wydział V Nauk o Ziemi*. Gdańsk: 1-99.

- Gołębiewski R., Bojanowski R., Tylman W., Białkowski M., Kępińska U., Fedorowicz S. 2001. Tempo współczesnej sedymentacji osadów w jeziorach wybranych pojezierzy młodoglacjalnych. W: Karczewski A., Zwoliński Z. (ed.) Funkcjonowanie ekosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych - Monitoring, ochrona, edukacja. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich. Poznań: 143-156.
- Goslar T. 1995. Rocznie laminowane osady jeziorne. In: Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (ed.). Badania osadów czwartorzędowych - wybrane metody i interpretacja wyników. Wyd. Geografii i Stud. Regionalnych Uniwersytet Warszawski: 236-248.
- Górnica A. 1996. Substancje humusowych i ich rola w funkcjonowaniu ekosystemów słodkowodnych. Uniwersytet Warszawski Filia w Białymstoku Rozprawy 448, Białystok: 1-151.
- Klimek K., Łajczak A., Zawilińska L. 1990. Sedimentary environment of the modern Dunajec delta in artificial Lake Rożnów, Carpathians Mts. Poland. *Quaestiones Geographicae* 11/12 (1985-1986): 81-92.
- Król K. 1998. Wstępne wyniki badań kredy jeziornej z jeziora Wigry. *Spraw. z Czynn. i Posiedzeń PAU* 61 (za 1997): 112—114.
- Krzyszczkowski D. 1991. Pleistocene non-glacial rhythmites in the Bełchatów outcrop (Kleszczów Graben, Central Poland); their Genesis and palaeogeography. *Folia Quaternaria* 61/62: 59-74.
- Krzyszczkowski D. (ed.) 1991. The polyinterglacial Czyżów Formation in the Kleszczów Graben (Central Poland). *Folia Quaternaria* 61/62: 1-257.
- Łajczak A. 1999. Współczesny transport i sedymentacja materiału unoszonego w Wiśle i głównych dopływach. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*: 15: 1-215.
- Marszelewski W. 2001. Changes in the concentration of main cations in the lakes of Northeast Poland. *Limnological Review* 1/2001: 197-206
- Migaszewski Z.M., Gałuszka A., Paślawski P. 2003. Baseline versus background concentrations of trace elements in sediments of Lake Wigry, NE Poland. *Limnol. Rev.* 3: 165-171.
- Osadczyk A. 2004. Zalew Szczeciński- środowiskowe warunki współczesnej sedymentacji lagunowej. *Uniwersytet Szczeciński. Rozprawy i Studia (DCXXIII)* 549: 1-156.
- Osadczyk A. 2006. Geofizyczne metody badań osadów dennych (w tym tomie).
- Paluszkiwicz R. 2004. Warunki sedymentacji osadów rytmicznie warstwowanych w zastoisku Złocienieckim na Poj. Drawskim. *Poznańskie Tow. Przyj. Nauk. Pr. Kom. Geogr. Geol.* 34: 1-101.
- Pazdur A. (w druku). Oznaczanie wieku osadów metodami izotopowymi i dezymetrycznymi. W: E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.): *Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku.*
- Prosowicz D., Helios-Rybicka E. 2002. Trace metals in recent bottom sediments of Lake Wigry (Bryzgiel Basin). *Limnol. Rev.* 2: 323-332.
- Ralska-Jasiewiczowa M., Goslar T., Madeyska T., Starkel L. (eds.) 1998. Lake Gościąg, Central Poland. A monographic study. Part I. W: Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Science, Kraków: 128-143.
- Rutkowski J. 2004. Osady jeziora Wigry. *Rocznik Augustowski-Suwalski* IV: 1-36.
- Rutkowski J., Król K. 2005. Problemy kartografii geologicznej den jeziornych w Polsce. W: Jankowski A., T. Rzętała M. (ed.) *Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne – procesy przyrodnicze oraz znaczenie społeczno-gospodarcze.* Uniw. Śląski: 197-204.
- Rutkowski J., Król K., Krzysztofiak L., Prosowicz D. 2002. Recent sediments of the Wigry Lake (Bryzgiel Basin). *Limnological Review* 2/2002: 353-362.
- Rutkowski J., Król K., Krzysztofiak L., Prosowicz D. 2006. Mapa osadów pokrywających dno jeziora Wigry. *Prace Kom. Paleogeografii Czwartorzędu PAU III:2005*: 171-178.
- Rutkowski J., Pietsch K., Król K., Rudowski S., Krzysztofiak L. 2005. High-resolution seismic survey in the Wigry Lake (NE Poland). *Peribalticum* IX: 147-162.
- Rutkowski J., Rudowski S., Pietsch K., Król K., Krzysztofiak L. 2002a. Sediments of Lake Wigry (NE Poland) in the light of high-resolution seismic (seismoacoustic) survey. *Limnological Review* 2/2002: 363-371.
- Rühle E. 1932. Jezioro Hańcza na Pojezierzu Suwalskim. *Wiadomości Służby Geograficznej.* VI, 4: 422-455.
- Rühle E. 1961. Procesy dynamiczne w zbiornikach jeziornych i charakter ich osadów. *Biuletyn.* 169. Instytut Geologiczny: 255-302.
- Rzepecki P. 1983. Klasyfikacja i główne typy litologiczne osadów jeziornych. *Zeszyty Naukowe AGH* 913, *Geologia* 9, 1: 73-94.
- Rzepecki P. 1985. Jeziorne osady wapienne Polski Północnej między Łyną a Brdą. *Zeszyty Naukowe AGH* 1038, *Geologia* 11, 3: 5-79.
- Stangenberg M. 1938. Skład chemiczny osadów głębinowych jezior Suwalszczyzny. *Instytut Badawczy Lasów Państwowych. Rozprawy i sprawozdania* A. 31: 1-40.
- Szostak M. 1967. Pochodzenie jeziora Śniardwy i jego zasoby wodne. *Prace Geograficzne Inst. Geogr. PAN* 57: 1- 69.
- Teisseyre A., K. 1983. Osady denne Jeziora Turawskiego w świetle badań geologicznych. *Geologia Sudetica* XVIII, 1: 21-56.
- Tobolski K. 2000. Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych. PWN, Warszawa: 1-508.
- Tobolski K. 2003. Torfowiska na przykładzie Ziemi Świeckiej. *Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły. Świecie*: 1-255.
- Troels-Smith J. 1955. Karakterisering af lose jordarter. *Danmarks Geologiske Undersogelse* IV, 3(10): 1-73.
- Tylman W. 2006. New sites with laminated lake sediments in north-eastern Poland: preliminary results of field survey. *Limnol. Rev.* 6: 283-288
- Wicik B. 1984. Osady jezior tatrzańskich i etapy ich akumulacji. *Prace i Studia Geograficzne. UW. Wydz. Geogr. i Stud. Reg.* 5: 55-69.
- Więckowski K. 1966. Osady denne Jeziora Mikołajskiego. *Prace Geograficzne Inst. Geogr. PAN* 57: 1-111.
- Więckowski K. 1984. Makroskopowa charakterystyka osadów dennych jezior tatrzańskich. *Prace i Studia Geograficzne. Uniwersytet Warszawski. Wydz. Geogr. i Stud. Reg.* 5: 39-54.
- Wyrwicki R. 2000. Trzeciorzędowa kreda jeziorna a czwartorzędowa – analiza porównawcza. *Pol. Tow. Geol. Uniwersytet A. Mickiewicza. Poznań. Streszcz. Ref. IX*: 86-94.
- Żurek-Pysz U. 1998. Wskaźniki litologiczne gytii nawiązaniu do ich właściwości geologiczno-inżynierskich. W: J. Liszkowski (red.) *Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Wind-Wojewoda. Wrocław*: 173-180.