

Andrzej JAGUŚ¹, Victoria KHAK², Martyna A. RZĘTAŁA³ i Mariusz RZĘTAŁA³

SKŁAD CHEMICZNY OSADÓW DENNYCH ZBIORNIKA IRKUCKIEGO

CHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF IRKUTSK RESERVOIR

Abstrakt: Konsekwencją budowy zbiorników wodnych jest tworzenie się pokrywy osadów dennych. Osady często są postrzegane jako środowisko akumulacji substancji chemicznych, w tym zwłaszcza związków fosforu oraz wielu mikrozanieczyszczeń. Badaniom chemicznym poddano osady dennego Zbiornika Irkuckiego. Jest to najwyższy zbiornik kaskady rzeki Angary, zasilany głównie wodami wypływającymi z jeziora Bajkał. Badania prowadzono w lipcu 2010 roku w rejonie miejscowości Nowogrudinina i Patrony. W składzie podstawowym osadów dominował ditlenek krzemu (SiO_2) - 56,75÷61,24%. Znacząca była też zawartość Al_2O_3 14,12÷15,79% oraz Fe_2O_3 6,04÷7,17%. Pięciotlenek fosforu (P_2O_5) występował w ilości 0,17÷0,24%. Wśród pierwiastków śladowych największym udziałem w materiale osadowym wyróżniały się: bar 582÷615 ppm, cyrkon 200÷863 ppm, stront 186÷274 ppm, chrom 147÷243 ppm, wanad 123÷140 ppm, cer 85÷151 ppm i cynk 73÷94 ppm. Na ogół zawartości pierwiastków śladowych w osadach nie przekraczały naturalnych zawartości w skałach i glebach. Tylko nieliczne pierwiastki, np. chrom, występowały w ilościach większych niż tło geochemiczne.

Słowa kluczowe: Syberia, kaskada Angary, Zbiornik Irkucki, osady dennego, skład chemiczny

Funkcjonowanie jezior i zbiorników wodnych wiąże się z powstawaniem pokrywy osadów dennych. Formuje się ona w procesach sedymentacji oraz sedentacji [1]. W przypadku zbiorników zaporowych zdecydowanie dominuje sedymentacja, a podstawowym źródłem akumulowanego w formie osadów materiału są wody zasilających rzek [2, 3]. Potwierdzają to metody określania wielkości zamulania zbiorników, bazujące często na charakterystykach przepływu rzeczny [4, 5]. Wiek osadów dennych zbiorników zaporowych najczęściej nie przekracza kilkudziesięciu lat, stąd też nie należy przypisywać im znaczenia dla badań paleogeograficznych, co jest znamienne dla osadów jeziornych. Osady zbiornikowe są za to doskonałym indykatorem wpływów zlewniowych na geosystem zbiornika, a także odzwierciedlają jego stan ekologiczny. Często podkreśla się, że mają duże znaczenie w kształtowaniu obiegu fosforu w zbiorniku, będąc - spośród składowych ekosystemu limnicznego - głównym kumulatorem tego pierwiastka [6]. W osadach kumulowane są również liczne mikrozanieczyszczenia, jak pestycydy lub metale ciężkie [6]. Badania składu chemicznego zbiornikowych osadów dennych mogą zatem ujawniać warunki antropogenizacji środowiska przyrodniczego zlewni i samego zbiornika.

Badaniom, opisanym w niniejszej pracy, poddano osady dennego zaporowego Zbiornika Irkuckiego, położonego na terenie Federacji Rosyjskiej, w południowej części Syberii

¹ Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Polska, tel. 33 827 91 87, fax 33 827 91 01, email: ajagus@ath.bielsko.pl

² Instytut Skorupy Ziemskiej, Syberyjski Oddział Rosyjskiej Akademii Nauk, ul. M. Lermontowa 128, 664033 Irkuck, Rosja, email: khak@crust.irk.ru

³ Katedra Geografii Fizycznej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Polska, tel. 32 368 93 60, fax 32 291 58 65, email: mrz@wnoz.us.edu.pl

Wschodniej. Jest to najwyższy i jednocześnie najmniejszy zbiornik kaskady rzeki Angary [7]. Zbiornik ten stanowi początkowy odcinek Angary, wypływającej z jeziora Bajkał w warunkach spiętrzenia wód. Akwen zajmuje stosunkowo prosty fragment doliny na długości 55 km (od jeziora Bajkał do zapory), a jego szerokość wynosi od 1 do 3,5 km. Miasto Irkuck, od którego wywodzi się nazwa zbiornika, prawie w całości rozciąga się poniżej zapory. Celem prac było rozpoznanie i ocena składu chemicznego pokrywy osadów dennych, tworzącej się w Zbiorniku Irkuckim. Prace skoncentrowano w północnej (dolnej) części zbiornika. Można sądzić, że materiał osadowy tej części zbiornika ma charakter poligenetyczny, to znaczy pochodzi z różnych źródeł, wśród których należy wymienić: dopływy główny, dopływy ze zlewni bezpośredniej, strefę brzegową, depozycję atmosferyczną oraz sedymentację autochtonicznego planktonu.

Metody

Próbki osadów dennych Zbiornika Irkuckiego pobierano z łodzi za pomocą próbnika rurowego w lipcu 2010 roku. W sąsiedztwie miejscowości Nowogrudinina (lewobrzeże zbiornika) pobrano 4 próbki z głębokości 0,7, 3,5, 12 i 15 m. Z kolei w rejonie miejscowości Patrony (prawobrzeże zbiornika) pobrano 3 próbki z głębokości 1, 2 i 7 m. Obie miejscowości (i jednocześnie strefy pobrania próbek) są zlokalizowane na przeciwnych brzegach zbiornika w zbliżonym położeniu równoleżnikowym. Wydobyte osady umieszczano w sterylnych, plastikowych pojemnikach, które szczelnie zamykano przed transportem do laboratorium.

Skład chemiczny osadów dennych był analizowany w laboratorium ACTLABS (*Activation Laboratories Ltd.*) w Kanadzie. Próbki poddawano analizom na zawartość składników podstawowych oraz pierwiastków śladowych. W pierwszej grupie znalazły się oznaczenia na zawartość SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 oraz zawartość materii organicznej, wyrażona stratą masy po prażeniu próbek. Oznaczenia te wykonano metodą FUS-ICP, a jednostką miary były % mas. Przeprowadzono też oznaczenia następujących pierwiastków śladowych: Ba, Be, Sr, V, Y, Zr - metoda FUS-ICP; Cd, Cu, Ni, Pb, Zn - metoda TD-ICP; As, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Sc, Th, U, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb - metoda INAA. Zawartości pierwiastków podano w ppm.

Składniki podstawowe

Skład podstawowy badanych osadów (tab. 1) był podobny w częściach lewobrzeżnej i prawobrzeżnej zbiornika. W materiale wyraźnie dominował ditlenek krzemu (SiO_2), będący najważniejszym składnikiem litosfery. Jego zawartość w osadach w rejonie miejscowości Nowogrudinina wynosiła od 58,33 do 61,24%, natomiast w okolicach miejscowości Patrony od 56,75 do 60,79%. Duża była także zawartość Al_2O_3 (odpowiednio $14,34 \div 15,72$ oraz $14,12 \div 15,79\%$), co odzwierciedla fakt, że glin jest jednym z głównych komponentów litosfery, stanowiąc 7,91% jej masy [8]. Glin w formie tlenku Al_2O_3 wchodzi w skład występujących powszechnie glinokrzemianów, w tym minerałów ilastych. W badanych osadach stwierdzono również istotną (na poziomie kilku procent) zawartość Fe_2O_3 - najbardziej rozpowszechnionego spośród tlenków żelaza. A zatem około 80% masy analizowanego materiału osadowego stanowiły tlenki występujące powszechnie

w litosferze. Po około 2% masy przypadało na inne ważne tlenki, takie jak: tlenek magnezu (MgO), tlenek wapnia (CaO), tlenek sodu (Na₂O) oraz tlenek potasu (K₂O).

Tabela 1

Składniki podstawowe (tlenki) w osadach dennych Zbiornika Irkuckiego

Table 1

Basic components (oxides) in bottom sediments of the Irkutsk Reservoir

Związek chemiczny	Zawartość [%]	Związek chemiczny	Zawartość [%]
SiO ₂	56,75÷61,24	CaO	1,82÷3,19
Al ₂ O ₃	14,12÷15,79	Na ₂ O	1,54÷2,28
Fe ₂ O ₃	6,04÷7,17	TiO ₂	0,97÷1,38
MgO	1,93÷2,28	P ₂ O ₅	0,17÷0,24
K ₂ O	1,90÷2,07	MnO	0,09÷0,11

Prezentując skład podstawowy osadów, należy zwrócić uwagę na zawartość substancji organicznej, określoną poprzez wyprażenie próbki, powodujące stratę masy w wyniku spalenia związków organicznych [9]. Obecność dużej ilości związków organicznych w osadach dennych świadczy bowiem o dużej produktywności biologicznej akwenu (wysokiej trofii) i jednocześnie niekorzystnych warunkach tlenowych warstwy przydennej, uniemożliwiających rozkład materii organicznej. W osadach dennych Zbiornika Irkuckiego strata po prażeniu wynosiła w granicach (5,75÷8,93)% w rejonie miejscowości Nowogrudinina oraz (6,55÷9,09)% w pobliżu miejscowości Patrony. Wartości te należy uznać za niskie w świetle danych literaturowych dotyczących zbiorników zanieczyszczonych. Przykładowo Rzętała [10] podaje straty po prażeniu dla osadów dennych zbiornika regionu górnośląskiego w Polsce - w przypadku zbiornika Kozłowa Góra, poddanego antropopresji rolniczej, wynosiły 25,67%, natomiast w przypadku zbiornika Dzierżno Duże, funkcjonującego w warunkach antropopresji miejsko-przemysłowej, przekraczały 45%, a dla osadów z osadnika ściekowego straty te były na poziomie 52,84%.

Pierwiastki śladowe

Osady denne Zbiornika Irkuckiego zawierały liczne pierwiastki śladowe (tab. 2). Przedział zawartości niektórych z nich cechowała duża rozpiętość w zależności od miejsca pobrania próbki. Przykładowo cyrkon występował w ilości od 200 do 863 ppm, a hafn od 6,3 do 22,9 ppm. Z kolei występowanie niektórych pierwiastków (np. kobaltu, ołowiu, skandu) cechowała przestrzenna równomierność. Pierwiastkami mającymi największy udział w materiale osadowym były bar (około 0,06%) i wspomniany cyrkon (od 0,02 do 0,09%). Znaczny udział miały także: stront (0,02÷0,03%), chrom (około 0,02%), wanad (nieco ponad 0,01%), cer (około 0,01%) oraz cynk (nieco poniżej 0,01%). Niektóre pierwiastki występowały w ilościach co najwyżej kilku części na milion. Były to: arsen, beryl, kadm, cez, uran, samar, europ, iterb. Podczas prac laboratoryjnych nie został wykryty kadm - jego ewentualna obecność nie przekroczyła granicy wykrywalności w zastosowanej metodzie.

Zawartości większości badanych pierwiastków śladowych w osadach dennych Zbiornika Irkuckiego pozostawały w granicach ich naturalnego występowania w litosferze

[11]. Świadczy to o ograniczonym stopniu antropogenizacji geosystemu, gdyż obecność znacznej liczby pierwiastków śladowych w osadach jest na ogół konsekwencją wpływów antropogennych. Jednakże zarejestrowano występowanie kilku pierwiastków w ilościach wyraźnie przewyższających uśrednione tło geochemiczne [11] - dotyczyło to chromu, cyrkonu, ceru oraz neodymu. Stan ten należy najpewniej wiązać z dostawą zanieczyszczeń z działalności gospodarczej w zlewni zbiornika. Szczególnie duża była zawartość chromu, będącego metalem szeroko stosowanym w przemyśle. Stwierdzone w osadach dennych Zbiornika Irkuckiego ilości chromu ($147 \div 243$ ppm) znacznie przewyższały ilości podawane w literaturze dla osadów dennych niektórych dużych zbiorników zaporowych. Przykładowo w Zbiorniku Nassera (Sudan/Egipt) zarejestrowano $4,5 \div 50,0$ ppm Cr [12], a w zbiorniku Tuttle Creek (USA) $48 \div 120$ ppm Cr [13]. Inne metale ciężkie (np. Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) występowały w osadach Zbiornika Irkuckiego w ilościach podobnych lub mniejszych w porównaniu do wymienionych zbiorników. Obecność metali ciężkich w osadach odzwierciedla pośrednio ich występowanie w wodzie, gdyż metale ciężkie charakteryzuje naturalna podatność do tworzenia trudno rozpuszczalnych połączeń sorbowanych przez zawiesiny [14].

Tabela 2

Pierwiastki śladowe w osadach dennych Zbiornika Irkuckiego

Table 2

Trace elements in bottom sediments of the Irkutsk Reservoir

Pierwiastek	Zawartość [ppm]	Pierwiastek	Zawartość [ppm]
As	$7 \div 10$	Sr	$186 \div 274$
Ba	$582 \div 615$	Th	$7,8 \div 12,9$
Be	2	U	$2,1 \div 4,3$
Cd	$< 0,5$	V	$123 \div 140$
Co	$18 \div 23$	Y	$30 \div 48$
Cr	$147 \div 243$	Zn	$73 \div 94$
Cs	$2,7 \div 5,3$	Zr	$200 \div 863$
Cu	$21 \div 35$	La	$47,9 \div 75,9$
Hf	$6,3 \div 22,9$	Ce	$85 \div 151$
Ni	$60 \div 80$	Nd	$29 \div 58$
Pb	$13 \div 17$	Sm	$5,8 \div 9,6$
Rb	$40 \div 80$	Eu	$1,7 \div 3,0$
Sc	$17,2 \div 18,9$	Yb	$3,9 \div 7,0$

Wnioski

1. Efektem blisko półwiecznego okresu funkcjonowania Zbiornika Irkuckiego (od 1962 roku) było utworzenie pokrywy osadów dennych.
2. Podstawowymi komponentami osadów dennych są występujące powszechnie w litosferze tlenki, w tym przede wszystkim SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 . Ich udział jest stosunkowo podobny w rozkładzie przestrzennym.
3. Występowanie pierwiastków śladowych w osadach często cechuje zróżnicowanie przestrzenne. Zazwyczaj występują one w ilościach odpowiadających naturalnym zawartościom w skałach i glebach. Jednak zawartości niektórych pierwiastków

(np. chromu), wyraźnie przekraczające tło geochemiczne, świadczą o istnieniu wpływów antropogennych.

Literatura

- [1] Tobolski K. Osady denne. W: Choiński A. Zarys limnologii fizycznej Polski. Poznań: Wyd Nauk UAM; 1995:181-205.
- [2] Łajczak A. Zamulenie i lokalizacja zbiorników zaporowych w polskich Karpatach. Gospodarka Wodna. 1986;2:47-50.
- [3] Karnaukhova GA. Sedimentation system of the Angara river after regulation of its flow. Doklady Earth Sciences. 2007;413A:351-353. DOI: 10.1134/S1028334X07030063.
- [4] Łajczak A. Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, 8. Warszawa: Ofic Wyd Polit Warszaw; 1995.
- [5] Rzętała MA. Procesy brzegowe i osady denne wybranych zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (na przykładzie Wyżyny Śląskiej i jej obrzeży). Katowice: Wyd Uniwer Śląsk; 2003.
- [6] Kajak Z. Hydrobiologia - Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 2001.
- [7] Jaguś A, Khak V, Kozyreva E, Rzętała MA, Rzętała M, Szczypek T. Zmiany w środowisku wywołane spiętrzeniem wód rzeki Angary i jeziora Bajkał. Wszechświat. 2010;10-12:265-271.
- [8] Gworek B. Glin w środowisku przyrodniczym a jego toksyczność. Ochr Środow Zasob Natural. 2006;29:27-38.
- [9] Myślińska E. Laboratoryjne badania gruntów. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 1998.
- [10] Rzętała M. Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego. Katowice: Wyd Uniwer Śląsk; 2008.
- [11] Kabata-Pendias A, Pendias H. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 1999.
- [12] Moalla SMN, Awadallah RM, Rashed MN, Soltan ME. Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. Hydrobiology. 1998;64:31-40.
- [13] Juracek KE, Mau DP. Metals, trace elements, and organochlorine compounds in bottom sediment of Tuttle Creek Lake, Kansas, USA. Hydrobiology. 2003;494:277-282. DOI: 10.1023/A:1025447223154.
- [14] Skorbiłowicz E, Skorbiłowicz M. Metals in grain fractions of bottom sediments from selected rivers in north-eastern Poland. Phys Chem Earth. 2011;36:567-578. DOI: 10.1016/j.pce.2011.05.006.

CHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF IRKUTSK RESERVOIR

¹ Institute of Environmental Protection and Engineering, University of Bielsko-Biala, Poland

² Institute of Earth Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

³ Faculty of Earth Sciences, University of Silesia, Sosnowiec, Poland

Abstract: Construction of water reservoirs results in formation of a layer of bottom sediments. Sediments are often perceived as the environment of accumulation of chemical substances, particularly including phosphorus compounds and numerous microcontaminants. The chemical studies concerned bottom sediments of Irkutsk Reservoir, which is the highest reservoir in the Angara river cascade, mainly fed by water flowing out of Lake Baikal. The studies were carried out in July 2010 near towns of Novogrudinina and Patrony. The main composition of the sediments was dominated by silicon dioxide (SiO_2) - 56.75÷61.24%. Concentrations of Al_2O_3 and Fe_2O_3 were also significant, 14.12÷15.79% and 6.04÷7.17% respectively. Phosphorus oxide (P_2O_5) concentration was 0.17÷0.24%. The largest concentrations of trace elements in the sediments were those of: barium 582÷615 ppm, zirconium 200÷863 ppm, strontium 186÷274 ppm, chromium 147÷243 ppm, vanadium 123÷140 ppm, cerium 85÷151 ppm, and zinc 73÷94 ppm. Generally, concentrations of trace elements in the sediments did not exceed natural concentrations in rocks and soils. Only some elements, eg chromium, occurred in higher concentrations than the geochemical background.

Keywords: Siberia, Angara cascade, Irkutsk Reservoir, bottom sediments, chemical composition