

Zawartość metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg) w wybranych elementach ekosystemu estuarium Odry

Stanisław Piotrowski*



The contents of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg) accumulated in selected components of the Odra River Estuary ecosystem. *Prz. Geol.*, 55: 493–497.

S u m m a r y . The content of Cu, Zn, Pb, Co, Cd and Hg accumulated in water, mollusc shells and 15-cm layer of bottom sediments in Lake Dąbie, Domiąża and Roztocka Odrzańska is analysed. The metal concentrations range from 99.82 to 99.88% in bottom sediments, from 0.09 to 0.16% in water and from 0.01 to 0.04% in shells. There is some diversity in distribution of heavy metals in bottom sediments of the study areas due to diversity of heavy metal concentrations in the Odra River Estuary. The metal successions in mollusc shells of the three areas under consideration are identical: Zn > Cu > Pb > Cd > Hg. The distribution of metals in water and mollusc shells indicates greater concentrations of metals in molluscs. In particular, when considering the mass ratio, the water mass is greater than the mass of shells, varying from 3100 (Lake Dąbie) to 20000 (Domiąża). The content of metals in the shells ranges from 7.33% to 22.39% of their total amount in the analysed ecosystems.

Key words: heavy metals, water, bottom sediments, molluscs, the Odra River estuary

Jednym z efektów rozwoju cywilizacyjnego jest obserwowanie w estuariach wielu rzek świata wysokich, a przez to niebezpiecznych dla organizmów bytujących w tych środowiskach, koncentracji składników toksycznych, głównie metali ciężkich, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), polichlorowanych bifenyli (PCB) i pestycydów chloroorganicznych (OCP) — pisali na ten temat m.in. Fox i in. (2001), Loizeau i in. (2001), Piotrowski (1997, 2000a, b, 2003a, b, 2004) i Piotrowski & Łaba-Mydłowska (2003). Od wielu lat procedura badania oceny jakości środowisk wodnych jest nakierowana na badania geochemiczne osadów dennych w aspekcie ich toksyczności dla organizmów bentonicznych. Podejmowane są również kompleksowe badania oparte na triadzie: chemizm — toksyczność — fauna, które mają na celu ocenę środowisk wodnych (EPA, 2000).

W Polsce badania monitoringowe rzek i jezior koncentrują się głównie wokół zagadnień czystości samej wody (coroczne raporty WIOŚiGW). Dopiero w latach 90. XX wieku rozszerzono zakres badań monitoringowych na osady denne akwenów wodnych (Bojakowska, 2001; Lis & Pasieczna, 1995, 1998). Natomiast wykorzystywanie organizmów żywych, zarówno roślinnych, jak i zwierzęcych, jako organizmy wskaźnikowe jest stosowane w stosunkowo wąskim zakresie. Chociaż w ostatnich latach w Polsce wzrosło zainteresowanie mięczakami słodkowodnymi i lądowymi jako organizmami wskaźnikowymi (Jurkiewicz-Karnkowska, 1989, 1994; Jurkiewicz-Karnkowska & Królak, 1996; Królak & Zdanowski, 2001; Piotrowski, 1997, 2000b).

Skażenie środowiska można z powodzeniem określać metodami bioindykacyjnymi za pomocą organizmów wskaźnikowych czyli bioindykatorów (Spelleberg, 1991; Schubert, 1991; Kovács, 1992; Markert, 1993). Metody te od dawna są stosowane w krajach Europy Zachodniej, Ameryki Północnej czy Japonii. Jako wskaźnik stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi środowisk wodnych

używana jest na przykład *Dreissena polymorpha*, która dzięki ogromnym zdolnościom filtracji wody może magazynować w swoim organizmie duże ilości różnych metali ciężkich (Gunkel, 1994; Sures & Taraschewski, 1999).

Większość gatunków mięczaków gromadzi w swoich tkankach jony metali, zarówno niezbędnych do funkcji życiowych (Zn i Cu), jak i szkodliwych (np. Cd). Stopień związania metali w muszlach mięczaków jest bardzo różny (Borówka & Piotrowski, 2003) — od stabilnego (Sr) do bardzo mobilnego (Hg). Akumulacja dużych ilości metali ciężkich w mięczakach sprawia, że gdy mają one znaczny udział w zoobentosie, mogą po śmierci spowodować wtórne skażenie środowiska. Ponadto mogą przyczynić się do wzrostu śmiertelności żywiących się nimi konsumentów II rzędu. W dużej mierze będzie to zależać od warunków chemicznych danego środowiska, głównie od pH, Eh, zasolenia i temperatury wody (Jurkiewicz-Karnkowska, 1994).

W środowiskach wodnych, tak morskich, jak i słodkowodnych, mięczaki stanowią istotny element geochemicznego obiegu materii. Pod względem biomasy dominują one w zoobentosie, ich udział w biomacie organizmów bentosowych może dochodzić aż do 99%. Muszle mięczaków rozkładają się powoli, zwykle przez co najmniej kilkanaście lat, co sprawia, że węglan wapnia, główny składnik muszli, jest usunięty z obiegu materii w danym środowisku na dłuższy czas (Stańczykowska, 1986). Jednocześnie z geochemicznego obiegu są wyłączone inne składniki chemiczne, w tym metale ciężkie, które są związane z węglanową substancją muszli.

Celem prezentowanej pracy jest oszacowanie, jaka część metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Co, Cd i Hg) jest zgromadzona w wodzie powierzchniowej, muszlach mięczaków i osadach dennych w trzech rejonach estuarium Odry: w jeziorze Dąbie, Domiąży i Roztoce Odrzańskiej.

Obszar badań

Estuarium Odry stanowią: rozgałęziony układ cieków dolnej Odry, jezioro Dąbie, Domiąża, Roztocka Odrzańska, Zalew Szczeciński, cieśniny Piany, Świny i Dziwny oraz część Zatoki Pomorskiej (ryc. 1). Granice tego obszaru są

*Wydział Rzemiosł Artystycznych, Szkoła Wyższa Rzemiosł Artystycznych i Zarządzania we Wrocławiu, ul. Drobnera 5, 50-257 Wrocław; stanislaw.piotrowski@vp.pl

zmienne, a ich położenie zależy od wielu czynników. Estuarium Odry cechuje się skomplikowanym układem hydrologicznym. W Widuchowej Odra rozgałęzia się na Odrę Wschodnią (Regalicę) i Odrę Zachodnią, pomiędzy którymi aż po Szczecin rozciąga się obszar Międzyodrza, przez który przebiega wiele mniej lub bardziej drożnych kanałów. Po minięciu Międzyodrza Odra Wschodnia wpływa do jeziora Dąbie, po przepłynięciu którego ponownie łączy się z Odrą Zachodnią i dalej, już jako Domiąża, wpływa do Rostki Odrzańskiej i Zalewu Szczecińskiego (Piotrowski & Stolarczuk, 1999).

Jezioro Dąbie należy do zbiorników płytkich, polimiktycznych. Jego powierzchnia wynosi 56 km² a ponad 52% tej powierzchni zajmuje obszar o głębokości od 2 do 3 m. Jest to jezioro przepływowe, bardzo intensywnie przepływane przez wody Regalicy (Odry Wschodniej) i stanowi jednocześnie przejściowy zbiornik akumulacyjny ogromnej części wód Odry. Za pośrednictwem wielu odnóg i kanałów jezioro Dąbie ma dobre połączenia z wodami Odry Zachodniej (Piotrowski, 1997; Piotrowski & Stolarczuk, 1999).

Domiąża stanowi fragment głównego nurtu Odry, ograniczony od południa Ińskim Nurtem (ujście jeziora Dąbie do Odry Zachodniej), a od północy ujściem dwóch mniejszych rzek: Krępej i Gunicy. W korycie Domiąży występują liczne wyspy i odnogi, które dzielą rzekę na dwa główne ramiona — Wąski i Szeroki Nurt. Tym ostatnim przebiega część toru wodnego Szczecin-Swinoujście. Domiąża ma powierzchnię 9 km². Jej długość dochodzi do 9,8 km, natomiast szerokość wynosi od 0,5 km w części południowej do 1,1 km w części północnej (Piotrowski & Łaba-Mydlowska, 2003).

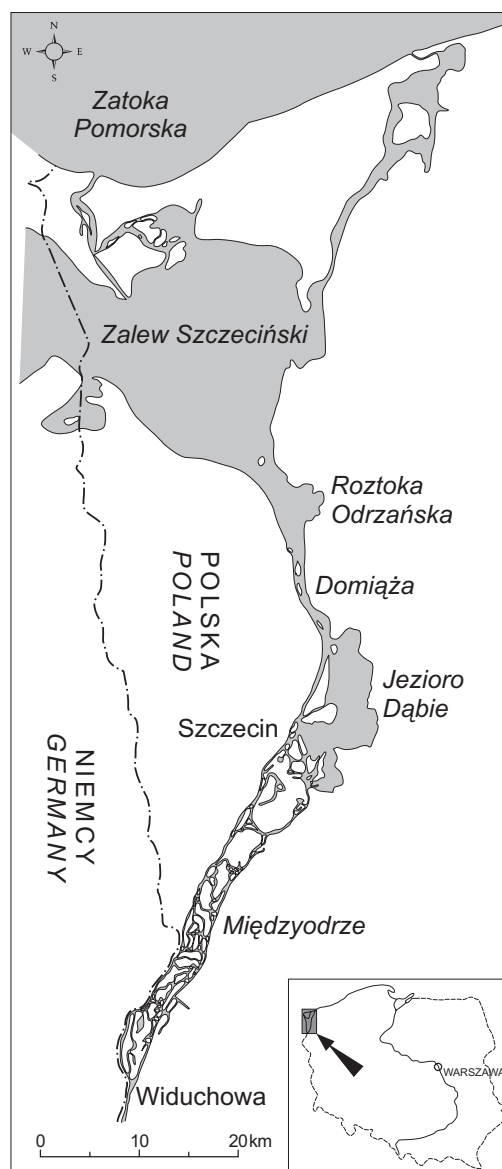
Rostka Odrzańska stanowi ujściowy odcinek Odry do Zalewu Szczecińskiego. Jest to obszar mieszania się wód słodkich i słonawych. Południową granicę tego obszaru wyznacza ujście do Odry Gunicy i Krępej. Granicę północną obszaru badań stanowi wyspa Chełminek, po minięciu której Odra wpływa do Zalewu Szczecińskiego. Powierzchnia Rostki Odrzańskiej wynosi 26,3 km².

Długość obszaru badań wynosi 9 km, natomiast jego szerokość w części południowej wynosi 1,1 km, w części środkowej 5,7 km, a w części północnej 2,8 km (Piotrowski, 2004).

Materiał i metody badań

Próbki wody pobierano próbnikiem typu *Nurek* z głębokości około 1 m pod lustrem wody. Bezpośrednio po pobraniu próbki wody mrożono i w takim stanie przechowywano i przechowywano do czasu wykonywania analiz chemicznych.

Badania wykonywano w latach 1996, 1999 i 2000. Na obszarze jeziora Dąbie wyznaczono 23 stanowiska poboru próbek wody, na obszarze Domiąży — 10, a Rostki Odrzańskiej — 11. W pracy wykorzystano także dane archiwalne Wojewódzkiej Inspekcji Ochrony Środowiska w Szczecinie dotyczące zawartości metali ciężkich w wodzie.



Ryc. 1. Lokalizacja analizowanych rejonów środkowej części ujścia Odry

Fig. 1. Location of study regions in central part of the Odra River Estuary

Osady denne pobierano czerpaczem typu *Van Veen*, który umożliwia pobieranie próbek o wymiarach 25,5 x 25,5 cm i miąższości do 15 cm. Z każdego stanowiska pobierano trzy próbki osadów, które homogenizowano i z całej tej masy pobierano próbkę do dalszych analiz.

Do czasu badań laboratoryjnych próbki osadów przechowywano w lodówce. W laboratorium metodą szlamowania wydzielono z osadów dennych frakcje o średnicy ziaren powyżej 1 mm i poniżej 0,2 mm. We frakcji powyżej 1 mm określono masę muszli mięczaków, a próbki frakcji < 0,2 mm zostały przeznaczone do analiz koncentracji metali ciężkich. W latach 1996, 1999 i 2000 z jeziora Dąbie pobrano 23 próbki osadów, z Domiąży — 36, a z Rostki Odrzańskiej 41.

Wszystkie analizy chemiczne zostały wykonane w Centrum Badań Jakości Sp. z o.o. KGHM Polska Miedź S.A. Oznaczeń Cu, Zn, Pb, Co i Cd dokonano techniką ICP-AES na spektrometrze plazmowym typu *Liberty*. Rteć

oznaczono za pomocą generatora wodorków (metoda zimnych par) techniką CV-AES.

Wyniki badań

Obliczono zawartość metali ciężkich w trzech elementach ekosystemów — w całej objętości wody, w suchej masie muszli mięczaków oraz w przeliczeniu na suchą masę w 15-centymetrowej warstwie osadów dennych jeziora Dąbie, Domiąży i Roztoki Odrzańskiej. W tych trzech obszarach muszle stanowią najmniejszą masę, a dominuje masa wody, która jest od 3100 (jeziro Dąbie) do 20 000 (Domiąża) razy większa od masy muszli. W Roztoce Odrzańskiej stosunek ten wynosi 5900. Masa osadów jest większa od masy muszli od 60 (jeziro Dąbie) do 190 razy (Domiąża). W przypadku Roztoki Odrzańskiej stosunek ten wynosi 90. Z kolei masa wody jest od 50 (jeziro Dąbie) do 100 razy większa (Domiąża) od masy osadów. Dla Roztoki Odrzańskiej notujemy wartość 70. Obserwujemy więc różnice w stosunkach mas w trzech wyróżnionych obszarach badań, mające uzasadnienie w ich odmienności i odrębności hydrologicznej (Piotrowski, 1997; 2004; Piotrowski & Łaba-Mydłowska, 2003).

W osadach dennych Domiąży i Roztoki Odrzańskiej występuje ponad 99% ogółu oszacowanej dla tych obszarów zawartości metali ciężkich (tab. 1). Tylko w osadach jeziora Dąbie zawartość Hg wynosiła zaledwie 73,49% całkowitej ich ilości w tym obszarze. Jest to efektem stosunkowo dużych koncentracji Hg w wodzie (26,11% całkowitej oszacowanej zawartości), spowodowanej tym, iż rtęć przechodzi z wody do osadów dopiero w północnej części obszaru estuarium Odry, tj. poniżej Ińskiego Nurta.

W poszczególnych obszarach estuarium Odry mamy do czynienia ze zróżnicowanymi szeregami metali ciężkich, uporządkowanymi w kolejności od największej do najmniejszej zawartości metalu w danym akwenu. Szeregi te przedstawiają się następująco:

□ jezioro Dąbie: Zn > Cu > Pb > Hg > Co > Cd;

□ Domiąża: Zn > Cu > Pb > Co > Cd > Hg;

□ Roztoka Odrzańska: Zn > Cu > Pb > Co > Hg > Cd.

Suma masy sześciu analizowanych metali ciężkich obecnych w wodzie wynosi od 880 kg w Domiąży do 3900 kg w jeziorze Dąbie (tab. 1).

Wśród metali ciężkich w wodach jeziora Dąbie, Domiąży i Roztoki Odrzańskiej dominuje Zn. Zawartość tego metalu jest większa od zawartości Cu i Pb. Różnią się natomiast koncentracje trzech pozostałych metali: Hg, Co i

Tab. 1. Bilans zawartości metali ciężkich w wybranych elementach ekosystemów środkowej części estuarium Odry
Table 1. Balance of heavy metals contents in selected components of the ecosystems in central part the Odra River Estuary

Pierwiastek Element	Jezioro Dąbie <i>Lake Dąbie</i>			Domiąża			Roztoka Odrzańska		
	Zawartość metali ciężkich [kg] <i>Heavy metals content [kg]</i>			Zawartość metali ciężkich [kg] <i>Heavy metals content [kg]</i>			Zawartość metali ciężkich [kg] <i>Heavy metals content [kg]</i>		
	w wodzie <i>in water</i>	w muszlach mięczaków <i>in mollusc shells</i>	w 15-centymetrowej warstwie osadów dennych <i>in 15-cm layer of bottom sediment</i>	w wodzie <i>in water</i>	w muszlach mięczaków <i>in mollusc shells</i>	w 15-centymetrowej warstwie osadów dennych <i>in 15-cm layer of bottom sediment</i>	w wodzie <i>in water</i>	w muszlach mięczaków <i>in mollusc shells</i>	w 15-centymetrowej warstwie osadów dennych <i>in 15-cm layer of bottom sediment</i>
Cu	1 700	190	290 000	250	8	57 000	530	45	120 000
Zn	1 800	870	3 700 000	540	55	430 000	1 300	400	1 100 000
Pb	270	40	330 000	70	4	46 000	130	31	110 000
Co	27	17	3 000	10	1	5 000	26	10	12 000
Cd	8	2	21 000	2	0,8	2 000	5	4	5 000
Hg	33	0,5	93	0,5	0,5	810	17	0,5	1 900
Σ	3900	1100,5	4344100	872,5	69,3	540810	1952	490,5	1348 900
Pierwiastek Element	Udział procentowy w zawartości zgromadzonej w obszarze jeziora Dąbie <i>Percentage of total content in Lake Dąbie</i>			Udział procentowy w zawartości zgromadzonej w obszarze Domiąży <i>Percentage of total content in Domiąża</i>			Udział procentowy w zawartości zgromadzonej w obszarze Roztoki Odrzańskiej <i>Percentage of total content in Roztoka Odrzańska</i>		
	w wodzie <i>in water</i>	w muszlach mięczaków <i>in mollusc shells</i>	15-centymetrowej warstwie osadów dennych <i>in 15-cm layer of bottom sediment</i>	w wodzie <i>in water</i>	w muszlach mięczaków <i>in mollusc shells</i>	15-centymetrowej warstwie osadów dennych <i>in 15-cm layer of bottom sediment</i>	w wodzie <i>in water</i>	w muszlach mięczaków <i>in mollusc shells</i>	15-centymetrowej warstwie osadów dennych <i>in 15-cm layer of bottom sediment</i>
	Cu	0,61	0,07	99,32	0,44	0,01	99,55	0,43	0,04
Zn	0,05	0,02	99,93	0,12	0,01	99,87	0,11	0,04	99,85
Pb	0,08	0,01	99,91	0,15	0,01	99,84	0,11	0,03	99,86
Co	0,89	0,55	98,56	0,25	0,02	99,73	0,21	0,08	99,71
Cd	0,04	0,01	99,95	0,09	0,03	99,88	0,09	0,07	99,84
Hg	26,11	0,40	73,49	0,06	0,06	99,88	0,89	0,03	99,08
Σ	0,03	0,03	99,94	0,16	0,01	99,83	0,14	0,04	99,82

Cd. W estuarium Odry największe ilości Zn, Cu, Co i Pb obserwuje się w wodach powierzchniowych Międzyodrza. W kierunku północnym estuarium wyraźnie zaznacza się spadek stężenia Cu i Pb. Również zawartość Zn maleje w miarę przesuwania się w kierunku północnym, z tą tylko różnicą, iż w obszarze Rostoki Odrzańskiej odnotowano większe stężenie Zn niż w regionach sąsiednich. Najmniejsze stężenie Co obserwuje się w jeziorze Dąbie i Zalewie Szczecińskim. W wodach Domiąży i Rostoki Odrzańskiej koncentracje Co mieszczą się w górnym przedziale stężeń obserwowanych w Zalewie Szczecińskim i jeziorze Dąbie. Zdecydowanie najniższe stężenia Hg notuje się w wodach Domiąży. Większe koncentracje tego metalu występują w Zalewie Szczecińskim, a jeszcze większe w pozostałych obszarach estuarium, przy czym koncentracje tych metali są zbliżone. We wszystkich stanowiskach badawczych stężenia Hg, Cd i Co były podobne. Zbliżone do stężeń tej grupy metali były też koncentracje Pb. Drugą grupą metali o podobnych stężeniach były Cu i Zn (Piotrowski, 2003b).

Masę sześciu analizowanych metali ciężkich zgromadzonych w 15-centymetrowej warstwie osadów dennych Domiąży oszacowano na 0,900 t, w warstwie osadów dennych jeziora Dąbie — na 4300 t, a Rostoki Odrzańskiej — na 1300 t (tab. 1).

Szeregi metali ciężkich występujących w osadach estuarium Odry (uprządkowane w kolejności od największej do najmniejszej zawartości danego metalu) przedstawiają się następująco:

- jezioro Dąbie: Zn > Pb > Cu > Cd > Co > Hg;
- Domiąża: Zn > Cu > Pb > Co > Cd > Hg;
- Rostoka Odrzańska: Zn > Cu > Pb > Co > Cd > Hg.

W osadach dennych trzech obszarów badań dominujący udział ma cynk, a najmniejszy rtęć. Koncentracje pozostałych metali są zróżnicowane w poszczególnych rejonach. W osadach dennych estuarium Odry zaznaczają się dwa odmienne obszary akumulacji metali ciężkich. Najmniej metali ciężkich zawierają osady północnej części Zalewu Szczecińskiego oraz Międzyodrza, a poniżej Szczecina wzrasta udział w osadach Co i Hg — najwięcej tych metali zawierają osady denne Domiąży i Rostoki Odrzańskiej. Natomiast w osadach części północnej Międzyodrza, a zwłaszcza w osadach jeziora Dąbie istotną rolę odgrywają koncentracje Cu, Zn, Pb i Cd, przy znacznie mniejszej depozycji Co i Hg (Piotrowski, 2003b).

W 1997 roku powódź spowodowała istotne zmiany w koncentracjach metali ciężkich w osadach estuarium Odry. W rejonie południowym tego obszaru (Międzyodrza i jezioro Dąbie) odnotowano wzrost średnich koncentracji Cu, Zn i Cd, przy jednoczesnym obniżeniu stężeń Co i Hg. W osadach jeziora Dąbie wzrosła średnia zawartość Pb, a w osadach Międzyodrza zmalała.

Poniżej Szczecina, w osadach Domiąży, Rostoki Odrzańskiej i Zalewu Szczecińskiego, zaznaczył się wyraźny wzrost średnich koncentracji Hg i Co. Największym zanieczyszczeniom uległy osady denne Domiąży. Dalej w kierunku północnym estuarium koncentracje metali ciężkich w osadach maleją. Podobnym zmianom uległy koncentracje Co, które zdecydowanie zmalały w osadach Międzyodrza i jeziora Dąbie, a wzrosły w osadach Domiąży, Rostoki Odrzańskiej i Zalewu Szczecińskiego. W osadach jeziora Dąbie odnotowano wzrost zawartości Cd, nato-

miast w osadach poniżej Szczecina, średnie koncentracje Cd uległy wyraźnemu obniżeniu (Piotrowski, 2003a).

Sumę sześciu analizowanych metali ciężkich zgromadzonych w muszlach mięczaków zalegających z 15-centymetrowej warstwie osadów dennych Domiąży oszacowano na 70 kg, w muszlach z osadów Rostoki Odrzańskiej na około 490 kg, a jeziora Dąbie na 1100 kg (tab. 1). W trzech badanych obszarach szereg zawartości metali zgromadzonych w muszlach jest identyczny i przedstawia się następująco: Zn > Cu > Pb > Co > Cd > Hg. Wynika z tego wniosek, że pomimo różnic w koncentracjach metali w wodzie i w osadach dennych, jak również różnic w składzie gatunkowym i ilościowym mięczaków w poszczególnych obszarach badań, skład chemiczny muszli mięczaków żyjących w jeziorze Dąbie, Domiąży i Roztoce Odrzańskiej jest zbliżony.

Podsumowanie

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 1 można wyciągnąć błędny wniosek o znikomym udziale muszli mięczaków w geochemicznym obiegu metali ciężkich w ekosystemie estuarium Odry. Jeżeli jednak weźmiemy pod uwagę jedynie zawartość metali ciężkich w wodzie i muszlach (pomijając ilość metali w osadach), to okazuje się, że w zawartości tej udział metali akumulowanych w muszlach mięczaków waha się od 7,33% w Domiąży do 22,39% w obszarze jeziora Dąbie.

W tak wytypowanych do badań elementach ekosystemu estuarium Odry, jak: woda, osady denne i muszle mięczaków, zdecydowana większość metali ciężkich jest zgromadzona w 15-centymetrowej warstwie osadów dennych. Jeżeli jednak zestawimy tylko zawartość metali w wodzie i muszlach oraz weźmiemy pod uwagę relacje mas, to przekonamy się, że w geochemicznym obiegu metali również udział muszli mięczaków ma swoje znaczenie. Ponadto, co warto podkreślić, w zestawieniu zawartości metali w muszlach nie wzięto pod uwagę masy muszli akumulowanych w strefie brzegowej badanych akwenów. Tym samym należy przypuszczać, że zawartość metali skumulowanych w muszlach mięczaków jest większa.

Wiedza o akumulacji szkodliwych substancji w organizmach może być przydatna do dalszych badań biomonitoringowych. Monitoring zanieczyszczeń ekosystemów wodnych polegający na oznaczaniu koncentracji zanieczyszczeń w osadach i wybranych elementach biocenozy jest bardziej wiarygodny od monitoringu zanieczyszczeń samej wody, bowiem koncentracje zanieczyszczeń w tych elementach są nieporównywalnie większe niż w wodzie. Tym samym w toku analiz obliczenia są obciążone mniejszymi błędami analitycznymi.

Literatura

- BOJAKOWSKA I. 2001 — Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. Prz. Geol., 3: 213–218.
 BORÓWKA R.K. & PIOTROWSKI S. 2003 — Wykorzystanie muszli *Dreissena polymorpha* do określania warunków geochemicznych środowisk kopalnych. [In:] IV Seminarium Geneza, Litologia i Stratygrafia Utworów Czwartorzędowych, Poznań 13–14 października 2003: 63–66.
 EPA, 1994 — Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants with estuarine and marine amphipods. Office of Research and Development. EPA 600/R-94/025.
 EPA, 2000 — Contaminated Sediments New. EPA-823-N-00-002.

- FOX W.M., CONNOR L., COPPLESTONE D., JOHNSON M.S. & LEAH R.T. 2001 — The organochlorine contamination history of the Mersey estuary, UK, revealed by analysis of sediment cores from salt marshes. *Marine Environmental Research*, 51: 213–227.
- GUNKEL G. 1994 — Bioindikation in aquatischen Ökosystemen. Fischer Verlag, Jena.
- JURKIEWICZ-KARNKOWSKA E. 1989 — Accumulation of zinc and copper in molluscs from the Zegrzyński Reservoir and the Narew River. *Ekol. Pol.*, 37 (3–4): 347–357.
- JURKIEWICZ-KARNKOWSKA E. 1994 — Mięczaki a metale ciężkie w środowiskach słodkowodnych i lądowych. Molluscs and heavy metals in freshwater and terrestrial environments. *Wiad. Ekol.*, XL (3): 127–140.
- JURKIEWICZ-KARNKOWSKA E. & KRÓLAK E. 1996 — Heavy metal concentrations in molluscs from the Zegrzyński Reservoir and the rivers supplying it. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 43 (3): 335–346.
- KOVÁCS M. 1992 — Biological indicators in environmental protection. Akad. Kiadó, Budapest: 207.
- KRÓLAK E. & ZDANOWSKI B. 2001 — The Bioaccumulation of heavy metals by the mussels *Anodonta woodiana* (Lea, 1834) and *Dreissena polymorpha* (Pall.) in the heated Konin Lakes. *Arch. Pol. Fish.*, 9: 229–237.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Polski. Państw. Inst. Geol.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1998 — Atlas geochemiczny aglomeracji szczecińskiej. Część I; gleby, osady wodne, wody powierzchniowe. Państw. Inst. Geol.
- LOIZEAU V., ABARNOU A., CUGIER P., JAOUEN-MADOULET A., LE GUELLEC A.M. & MENESGUEN A. 2001 — A Model of PCB Bioaccumulation in the Sea Bass Food Web from the Seine Estuary (Eastern English Channel). *Marine Pollution Bulletin*, 43: 242–255.
- MARKERT B.(eds.) 1993 — Plants as Biomonitors — Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment. VCH-Verlagsgesellschaft mbh. Weinheim-New York.
- PIOTROWSKI S. 1997 — Zawartości metali ciężkich w wybranych elementach ekosystemu jeziora Dąbie (NW Polska). *Prz. Geol.*, 45: 619–621.
- PIOTROWSKI S. 2000a — Relationship between heavy metal/organic carbon ratio and shell based on example of selected freshwater mollusc species in Poland. [In:] III Conference on Trace Metals. Effects on Organisms and Environment, Sopot: 37–38.
- PIOTROWSKI S. 2000b — Accumulation of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg) in fresh water molluscs shells compared to their concentrations in water and bottom sediments using the example of Roztoka Odrzańska (The Odra River Estuary). [In:] III Conference on Trace Metals. Effects on Organisms and Environment, Sopot: 39–41.
- PIOTROWSKI S. 2003a — Osady Odry pod lupą. *Eko i My*, 10: 18.
- PIOTROWSKI S. 2003b — Heavy Metals in Water and Bottom Sediments of the Odra River Estuary and Selected Lakes of West Pomerania (north-west Poland). *Limnological Rev.*, 3: 181–188.
- PIOTROWSKI S. 2004 — Geochemical Characteristic of Bottom Sediments in the Odra River estuary — Roztoka Odrzańska (north-west Poland). *Geol. Quat.*, 48: 61–76.
- PIOTROWSKI S. & ŁABA-MYDŁOWSKA E. 2003 — The Geochemical Profile of Bottom Sediments in the Domiżała (Odra River Estuary, Northwest Poland). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, XXXII (4): 79–115.
- PIOTROWSKI S. & STOLARCZUK A. 1999 — Hydrografia i hydrologia jeziora Dąbie. Hydrography and Hydrology of the Dąbie Lake. *Zesz. Nauk. Uniw. Szczecińskiego*, 272, Marine Sciences, 6: 39–55.
- SCHUBERT M. 1991 — Schafbeweidung und Landschaftspflege. Fachtagung TU Berlin, Tagungsbericht: 51–59.
- SPELLEBERG F.J. 1991 — Monitoring ecological change. Cambridge Univ. Press. Cambridge-New York-Port Chester-Melbourne-Sydney: 334.
- STAŃCZYKOWSKA 1986 — Możliwości filtracyjne populacji *Dreissena polymorpha* (Pall.) w różnych jeziorach, jako czynnik wpływający na obieg materii w jeziorze. *Ekologia Polska*, Ser. B, 14: 265–270.
- SURES B. & TARASCHEWSKI H. 1999 — Endoparasiten einheimischer Fische als Bioindikatoren für Schwermetalle. [In:] Oehlmann J. & Markert B. (Hrsg.), Ökotoxikologie — ökosystemare Ansätze und Methoden. Ecomed Verlag, Jena: 326–334.

Praca wpłynęła do redakcji 05.09.2006 r.
Akceptowano do druku 10.05.2007 r.