

CHARAKTERYSTYKA OSADÓW DENNYCH OCZEK WODNYCH

Kamil Szydłowski¹, Joanna Podlasińska¹

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Ekologii, Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, e-mail: Kamil.Szydowski@zut.edu.pl

STRESZCZENIE

Głównym celem badań była ocena zanieczyszczenia osadów dennych małych zbiorników wodnych o różnym typie użytkowania zlewni wybranymi metalami ciężkimi. Do badań wybrano dwa oczka znajdujące się w miejscowości Mostkowo. Pierwszy mały zbiornik wodny otoczony jest polami, na których uprawiane są zboża bez użycia nawozów organicznych i mineralnych (NPK). Drugi zbiornik znajduje się w parku w pobliżu zabudowań wiejskich. Próby pobierano próbnikiem rdzeniowym osadów dennych KC Denmark. Próbkę pobierano z 4 warstw osadów, z głębokość: 0–5, 5–10, 10–20 i 20–30 cm. Pobór próbek wykonano jednorazowo w okresie zimowym (2014 roku), spod lodu, z trzech punktów. Materiał osadów przygotowano do dalszej analizy, zgodnie z procedurami stosowanymi w gleboznawstwie. Zawartość metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn) wyznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej aparatem ASA ICE 3000 Thermo Scientific po uprzednim wytrawieniu w mieszaninie (5: 1) stężonych kwasów (HNO₃ i HClO₄). Wyższe wartości pH miały osady oczka położonego w parku wiejskim, niż oczka położonego w obrębie pól uprawnych (odczyn obojętny i zasadowy). W obu badanych oczkach wodnych największe stężenia badanych metali ciężkich wystąpiły w najgłębszych punktach badawczych (głęбочki). W oczku położonym w obrębie upraw rolnych najwyższe stężenia kadmu, miedzi, ołowiu i cynku wystąpiły w warstwie 0–5 cm, zaś niklu i chromu w warstwie 20–30 cm. W oczku położonym w parku najwyższe wartości wystąpiły w punkcie badawczym położonym w środku oczka części w warstwie 10–20 cm. Oczko nr 2 charakteryzowało się największymi średnimi stężeniami metali ciężkich, z wyjątkiem ołowiu w warstwie 10–20 cm. Według geochemicznej oceny jakości osadów zaproponowanej przez Bojakowską i Sokołowską [1998] większość próbek należy do I klasy czystości, a reszta okazynie do II-giej.

Słowa kluczowe: oczka wodne, osady denne, metale ciężkie.

CHARACTERISTICS OF SLUDGE BOTTOM MESH

ABSTRACT

The main aim of the study was to assess the selected heavy metals pollution of bottom sediments of small water bodies of different catchment management. Two ponds located in Mostkowo village were chosen for investigation. The first small water reservoir is surrounded by the cereal fields, cultivated without the use of organic and mineral fertilizers (NPK). The second reservoir is located in a park near rural buildings. Sediment samples were collected by the usage of KC Denmark sediments core probe. Samples were taken from 4 layers of sediment, from depth: 0–5, 5–10, 10–20 and 20–30 cm. Sampling was made once during the winter period (2014 year) when ice occurred on the surface of small water bodies, from three points. The material was prepared for further analysis according to procedures used in soil science. The content of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) were determined by atomic absorption spectrometry by usage of ASA ICE 3000 Thermo Scientific after prior digestion in the mixture (5: 1) of concentrated acids (HNO₃ and HClO₄). Higher pH values were characteristic for sediments of pond located in a park than in pond located within the agricultural fields. In both small water bodies the highest heavy metal concentrations occurred in the deepest points of the research. In the sediments of the pond located within crop fields the highest concentration of cadmium, copper, lead and zinc were observed in a layer of 0–5 cm, wherein the nickel and chromium in a layer of 20–30 cm. In the sediments of the pond, located in the park the highest values occurred at the deepest sampling point in the layer taken from 10–20 cm. Sediments from second reservoir were characterized by the largest average concentrations of heavy metals, except the lead content in sediment from the layer of 10–20 cm. According to the geochemical evaluation of sediments proposed by Bojakowska and Sokołowska [1998], the majority of samples belongs to Ist purity class and occasionally to the IInd.

Keywords: ponds, sediments, heavy metals.

WSTĘP

Osady dennie są ważnym elementem ekosystemów wodnych. Biorą udział w obiegu biogeochemicznym oraz stanowią miejsce akumulacji różnych pierwiastków. Skład chemiczny osadów dennych oczek wodnych zależy od sposobu i rodzaju zagospodarowania zlewni, a także od rodzaju utworów budujących zlewnie zbiornika wodnego. Metale ciężkie akumulowane w osadzie dennym doprowadzane są wraz ze spływem powierzchniowym z pól i łąk w formie nawozów, środków ochrony roślin oraz ze ściekami bytowymi, czy też w formie pyłów z atmosfery, które najpierw docierają do wód, a następnie przedostają się do osadów dennych. W zbiornikach bezodpływowych na formowanie się osadów duży wpływ ma falowanie wody oraz pionowa sezonowa cyrkulacja. W zbiornikach polodowcowych osady spływają grawitacyjnie, dlatego najwyższe tempo depozycji zachodzi w głębozczkach zbiorników i tam też mają zazwyczaj największą miąższość. Akumulacja osadów alochtonicznych i autochtonicznych w oczkach polodowcowych trwa przez cały holocen. [Sidoruk i Potasznik 2013; Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014; Kasperek i in. 2007; Bojakowska i in. 2010; Falandysz i in. 1996; Micun 2014; Krasowska i Banaszuk 2015]. W oczkach wodnych na jakość osadów dennych wpływa poziom trofii wód, termika, miksjacja wód, intensywność procesów fotosyntezy, natlenienie wód, bilans wodny oraz procesy denudacji na obszarze zlewni, które wpływają bezpośrednio na tempo sedymentacji osadów. W małych zbiornikach wodnych, zmienność osadów może wykazywać układ lateralny. Chemiczna analiza osadów dennych jest wskazówką dotyczącą wpływu antropopresji w danym rejonie. Metale ciężkie są jednym z głównych czynników wpływających na ocenę stanu zanieczyszczenia osadów dennych [Samal i in. 2012; Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014; Osuch i in., 2016; Rzętała 2012; Bojakowska 2001; Madeyski i Tarnawski 2007].

Celem pracy była ocena stanu zanieczyszczenia wybranymi metalami ciężkimi osadów dennych oczek wodnych.

METODY I METODYKA BADAŃ

Do badań wytypowano dwa oczka wodne położone w województwie Zachodniopomorskim w gminie Barlinek w obrębie miejscowości Most-

kowo. Do oczka śródpolnego (nr 1) przylegają tereny, których we wcześniejszych latach użytkownikiem było Państwowe Gospodarstwo Rolne (stosowano nawożenie mineralne i organiczne), obecnie na gruntach przylegający do oczka nr 1 (53° 0'19.97"N, 15° 3'37.21"E) prowadzone są uprawy zbóż bez stosowania nawozów mineralnych (NPK) oraz organicznych. Natomiast oczko nr 2 położone jest w parku wiejskim w pobliżu zabudowy gospodarczej oraz nadal funkcjonującego gospodarstwa rolnego (52°59'38.49"N, 15° 3'24.91"E). Do oczka nr 2 doprowadzona jest rura wlotowa (nieznanego pochodzenia), która prawdopodobnie odprowadza ścieki gospodarcze i bytowe z pobliskiej zabudowy. Obiekty badań charakteryzują się typową roślinnością szuwarową dla zbiorników wodnych, tj. rosną tam głównie: trzcina pospolita (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) i pałka szerokolistna (*Typha latifolia* L.). Łącznie pobrano 24 próbki osadów dennych. Probki pobierano z warstw osadów: 0–5 (W1), 5–10 (W2), 10–20 (W3) i 20–30 (W4) cm, z trzech punktów jednorazowo w okresie zimowym (2014 r.), wykorzystując moment występowania pokrywy lodowej na powierzchni małych zbiorników wodnych. W oczkach wykonano po 3 wiercenia (2 przy brzegach i 1 na środku) na transektach od brzegu o największym nachyleniu do przeciwległego. W oczku nr 1 wiercenia wykonano w centralnej części oczka (ś) oraz w dwóch punktach w odległości 3–4 m od brzegu - o mniejszej głębokości (bb) oraz o największej głębokości w oczku (głębozczek) (b). Natomiast w oczku nr 2 wiercenia wykonano były z brzegów (bb i b) o mniejszej głębokości oraz w miejscu o większej głębokości (środek oczka – ś). Próby pobierano próbnikiem rdzeniowym osadów dennych KC Denmark typu kajak. Pobrane osady przygotowano zgodnie z procedurami stosowanymi w gleboznawstwie, a analizy wykonano we frakcji o średnicy cząstek poniżej 1 mm. Zawartość pierwiastków tj.: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn oznaczono spektrometrem absorpcji atomowej ASA ICE 3000 Thermo Scientific po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie (5:1) stężonych kwasów HNO₃ (65%) i HClO₄ (60%). Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 12.0. Dla uzyskanych wyników zastosowano test normalności Shapiro-Wilka ($p \leq 0,05$), który potwierdził normalność rozkładów wyników. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono współczynniki wzbogacenia, które wyznaczono na podstawie wzoru:

$$F = C_g / C_d$$

gdzie: F – współczynnik wzbogacenia,
 C_g – zawartość składnika w górnej warstwie osadów,
 C_d – zawartość składnika w dolnej warstwie osadów.

WYNIKI I DYSKUSJA

Osady denne oczek wodnych charakteryzowały się niskimi wartościami pH, które w H_2O (kwasowość czynna) zawierały się w przedziale 6,22–7,21, natomiast w 1 M KCL (kwasowość wymienna) wynosiły od 5,83 do 6,99 (tab. 1). Wyższe wartości pH charakteryzowały osady oczka nr 2 niż oczka nr 1 (tab. 1). Ich odczyn był obojętny i zasadowy. Wartości te były zbliżone do wartości pH podawanych dla osadów zalewu Zemborzyckiego i zbiornika Brody Iłżeckie. Oznaczonych przez Samal i in. [2012]. Szersze

stosunki C:N charakteryzują materię organiczną pochodzenia lądowego, natomiast niższe wartości C:N materię organiczną pochodzenia wodnego [Borówka 2007; Daniszewski 2012]. W pracy szersze stosunki C:N wystąpiły w oczku nr 2 niż w oczku nr 1. Badane osady charakteryzowały się dwukrotnie wyższym średnim stężeniem kadmu ($0,89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w osadach oczka nr 1 niż w osadach oczka nr 2 ($0,44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Najwyższe stężenia kadmu w osadach obu badanych zbiorników (oczko nr 1 – $1,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a nr 2 – $1,70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) odnotowano w najgłębszych punktach poboru osadów, w oczku nr 1 w najmłodszej, powierzchniowej warstwie (0–5 cm), natomiast w drugim badanym oczku najwyższe stężenie tego pierwiastka wystąpiło w głębszej warstwie osadu (10–20 cm). Może to świadczyć o tym, że przez rurę wlotową dostarczane są substancje zanieczyszczające zbiornik wodny, kumulujące się w jego osadach. Bojakowska i Sokołowska [1998] podają graniczną wartość stężenia kadmu odpo-

Tabela 1. Podstawowe właściwości chemiczne próbek osadów badanych małych zbiorników wodnych

Table 1. Basic chemical properties of examined small water reservoirs sediment samples

Obiekt	Punkt poboru	Warstwa	pH		Stosunek C:N
			H_2O	1 M KCl	
Nr 1	bb*	0–5	6,22	6,18	12,01
		5–10	6,26	6,00	11,85
		10–20	6,24	5,95	12,29
		20–30	6,31	6,01	13,45
	ś**	0–5	6,30	5,93	11,21
		5–10	6,29	5,88	11,22
		10–20	6,32	5,84	11,23
		20–30	6,43	5,83	12,76
	b***	0–5	6,35	5,90	12,71
		5–10	6,27	5,97	12,93
		10–20	6,22	5,97	12,47
		20–30	6,28	5,92	13,42
Nr 2	bb*	0–5	7,17	6,99	30,16
		5–10	7,05	6,92	28,19
		10–20	7,15	6,98	19,14
		20–30	7,16	6,77	18,17
	ś**	0–5	6,79	6,68	16,31
		5–10	6,94	6,85	22,72
		10–20	6,92	6,83	15,24
		20–30	6,83	6,80	14,08
	b***	0–5	7,21	6,84	11,67
		5–10	7,06	6,67	7,82
		10–20	7,30	6,97	6,53
		20–30	7,46	6,95	7,39

Objaśnienie: * – punkt na transekcji od strony brzegu o największym nachyleniu; ** – punkt w centralnej części oczka; *** – punkt na przeciwległym brzegu do punktu bb.

wiadającą tłu geochemicznemu dla osadów wodnych ($<0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wartości te zostały przekroczone w 11 z 12 wszystkich badanych próbek osadów oczka śródpolnego (nr 1) i w 4 z 12 próbek osadów oczka parkowego (nr 2) (tab. 2). Stężenia chromu w analizowanych osadach dennych wahały się w przedziale od 4,44 do $50,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 2). Najwyższe stężenie chromu w oczku nr 2 było blisko czterokrotnie wyższe niż w oczku nr 1 (odpowiednio: $50,44$ i $16,25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Podane przez Bojakowską i Sokołowską [1998] tło geochemiczne zawartości chromu w osadach wodnych wynosi $5 \text{ mg}\cdot\text{Cr}\cdot\text{kg}^{-1}$. We wszystkich badanych próbkach osadów, z wyjątkiem jednej z oczka nr 2, stwierdzono przekroczenie naturalnej zawartości chromu w osadach wodnych od 1,3 do 10,1 razy (tab. 2). Również średnie stężenie chromu (oczko nr 1– $10,16 \text{ mg}$; nr 2– $13,87$

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) przekraczały podaną wartość naturalnej koncentracji w osadzie wodnym. Średnie stężenia chromu w badanych osadach były zbliżone do średniego stężenia tego pierwiastka podawanego przez Sidoruk i Potasznik [2013], a które wyniosło $12,9 \text{ mg}\cdot\text{Cr}\cdot\text{kg}^{-1}$. Najwyższe stężenie miedzi w osadach oczka nr 1 wynoszące $152,48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, było blisko dwukrotnie wyższe niż najwyższe stężenie tego metalu ciężkiego w oczku nr 2 ($79,08 \text{ mg}\cdot\text{Cu}\cdot\text{kg}^{-1}$) (tab. 2). Stwierdzono, że najwyższe zawartości miedzi występowały w próbkach osadów pobranych z najgłębszych punktów oczek oraz z punktów przyległych do stoków o największym nachyleniu. Tło geochemiczne zawartości miedzi w osadzie wodnym nie przekracza $6 \text{ mg}\cdot\text{Cu}\cdot\text{kg}^{-1}$ [Bojakowska i Sokołowska 1998], natomiast w większości badanych próbek osadów (za wyjątkiem próbek z jednego punktu poboru w

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w osadach dennych badanych małych zbiorników wodnych i geochemiczne klasy czystości osadów wg Bojakowskiej i Sokołowskiej [1998]

Table 2. The content of heavy metals in sediments studied small water reservoirs and classes of geochemical evaluation of sediments according to Bojakowska and Sokołowska [1998]

Nr	Punkt poboru	Warstwa	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$					
Nr 1	bb*	0-5	0,75/I	8,90/I	25,41/II	5,71/I	33,58/I	89,50/I
	bb*	5-10	1,00/I	9,22/I	40,96/II	6,05/I	47,05/I	100,52/I
	bb*	10-20	0,94 /I	9,71/I	22,78/II	6,79/I	38,29/I	60,80/I
	bb*	20-30	0,93/I	10,48/I	30,70/II	8,11/I	24,39/I	38,62/I
	ś**	0-5	0,77/I	8,85/I	16,03/I	6,10/I	25,18/I	51,79/I
	ś**	5-10	0,73/II	8,92/I	18,06/I	5,82/I	24,64/I	51,26/I
	ś**	10-20	0,87/I	8,57/I	18,95/I	6,27/I	27,44/I	51,28/I
	ś**	20-30	0,93/II	11,47/I	27,42/II	8,12/I	22,03/I	51,43/I
	b***	0-5	1,50/II	14,21/II	152,48/III	9,85/I	87,01/II	930,02/II
	b***	5-10	0,89/I	8,05/I	72,22/II	5,18/I	35,33/I	386,13/II
	b***	10-20	0,86/I	7,31/I	54,08/II	3,02/I	26,27/I	440,42/II
	b***	20-30	0,50/I	16,25/I	39,71/II	10,28/I	14,76/I	189,57/I
Średnia art.			0,89/I	10,16/I	43,23/II	6,78/I	33,83/I	203,45/II
Nr 2	bb*	0-5	0,16/I	11,50/I	35,63/II	12,85/I	89,88/II	77,74/I
	bb*	5-10	0,01/I	8,45/I	17,23/I	9,33/I	15,05/I	44,56/I
	bb*	10-20	0,37/I	5,49/I	11,94/I	4,01/I	7,15/I	126,12/I
	bb*	20-30	0,27/I	7,92/I	11,78/II	6,23/I	13,35/I	54,86/I
	ś**	0-5	0,85/I	19,86/I	39,68/II	17,19/I	53,42/II	187,06/I
	ś**	5-10	0,71/I	16,97/I	31,50/II	14,57/I	48,98/I	142,38/I
	ś**	10-20	1,70/II	50,44/II	79,08/II	38,56/II	123,87/II	393,83/II
	ś**	20-30	0,73/I	20,98/II	35,64/II	15,05/I	42,64/I	161,87/I
	b***	0-5	0,11/I	4,44/I	2,75/I	2,21/I	1,11/I	8,46/I
	b***	5-10	0,02/I	6,06/I	3,49/I	3,82/I	$< 0,005/I$	9,56/I
	b***	10-20	0,16/I	6,53/I	3,35/I	4,02/I	$< 0,005/I$	10,16/I
	b***	20-30	0,15/I	7,79/I	4,00/I	4,89/I	$< 0,005/I$	12,89/I
Średnia art.			0,44/I	13,87/I	23,01/II	11,06/I	32,96/I	102,46/I

Objaśnienie: punkty poboru jak pod tabelą 1; * klasy czystości osadów: I – I klasa, II – II klasa, III – III klasa.

oczku 2) stwierdzono przekroczenia wartości tła dla miedzi (od 1,99 do 25 razy).

Średnie stężenie niklu w osadach oczka nr 2 ($11,06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) było blisko dwukrotnie wyższe niż w osadach oczka nr 1 ($6,78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Również, jak w przypadku miedzi, zawartość niklu w większości badanych próbek osadów przekraczała podaną wartość tła geochemicznego ($5 \text{ mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$). Najwyższe stężenie niklu w osadach oczka położonego w parku było prawie czterokrotnie wyższe niż najwyższa zawartość tego pierwiastka w osadzie z oczka nr 1 oraz ośmiokrotnie wyższe od wartości tła.

Stężenie ołowiu w osadach badanych małych zbiorników wodnych wahało się w zakresie od $14,76 \text{ mg}$ do $87,01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dla oczka nr 1 oraz od $<0,005 \text{ mg}$ do $123,87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Najwyższe stwierdzone stężenia ołowiu były odpowiednio blisko dziesięć- i ponad dwunastokrotnie wyższe od wartości tła geochemicznego, która wynosi $10 \text{ mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Bojakowska i Sokołowska 1998] i wystąpiły w osadach zdeponowanych w najgłębszych zagłębieniach oczek. Najwyższe zawartości ołowiu, stwierdzone w badanych oczkach, wystąpiły podobnie jak w przypadku miedzi i niklu w próbkach pobranych z głębozka z warstwy 0–5 cm w oczku nr 1 i 10–20 cm w oczku nr 2. Średnie stężenia ołowiu w osadach obu badanych oczek były zbliżone do wartości podanych przez Sidoruk i Potasznik [2013], dla osadów jeziora Sunia ($36,7 \text{ mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$). Na podwyższone stężenia ołowiu w osadach oczka nr 1 może mieć wpływ wykorzystywanie w produkcji rolniczej paliw służących do napędzania maszyn rolniczych, co w szczególności miało miejsce we wcześniejszych latach oraz depozycję atmosferyczną. Natomiast w osadach oczka położonego w parku wyższe zawartości ołowiu prawdopodobnie mogą być wynikiem ciągłego dopływu ścieków bytowych i gospodarczych poprzez rurę wylotową.

Stężenia cynku w badanych osadach wahały się w zakresie od $38,63 \text{ mg}$ do $930,02 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$. Wyższe stężenia tego pierwiastka występowały w osadach pobranych z głębozka oczka śródpolnego (nr 1). Wynikiem tak wysokich wartości stężeń jest dwukrotnie większe średnie stężenie cynku w osadach oczka nr 1 niż nr 2 (odpowiednio $203,45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $102,46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Za wyjątkiem jednej próbki osadów z oczka śródpolnego i 5 próbek z oczka w otoczeniu parku wiejskiego, wszystkie pobrane próbki osadów charakteryzowały się zawartością cynku wyższą od tła geochemicznego ($48 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$) [Bojakowska i Sokołowska 1998].

Średnie koncentracje cynku w badanych osadach były wyższe od średniej zawartości cynku ($72,3 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$) podanej przez Sidoruk i Potasznik [2013]. Najwyższa stwierdzona w badaniach własnych zawartość cynku ($930,02 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$) była dziesiętnastokrotnie wyższa niż wartość graniczna tła geochemicznego ($48 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$). W oczku położonym w obrębie upraw rolnych najwyższe zawartości kadmu, miedzi, ołowiu i cynku stwierdzono w osadach z głębozka (b) w warstwie 0–5 cm, zaś niklu i chromu w warstwie 20–30 cm. Natomiast w oczku położonym w parku wiejskim najwyższe zawartości wszystkich badanych metali ciężkich wystąpiły również w głębozku, który dla tego oczka znajduje się w środkowej części, w warstwie 10–20 cm. Najniższe stężenia badanych metali w osadach badanych oczek charakteryzowały próbki z oczka nr 2, pobrane w punkcie najbardziej oddalonym od rury wlotowej, dostarczającej ładunki zanieczyszczeń.

Wykorzystując wartości stężeń metali ciężkich w analizowanych warstwach przeprowadzono ocenę zanieczyszczenia osadów małych zbiorników wodnych (tab. 3). W ocenie posłużono się następującymi metodami:

- klasyfikacja jakości osadów wodnych stosowaną przez Państwowy Instytut Geologiczny [Bojakowska 2001],
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 16.04.2002 roku w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [Rozporządzenie 2002].

Wyżej wymienione metody oceny stopnia zanieczyszczenia osadów dennych różnią się liczbą stopni, klas, a także czynnikiem wpływającym na wartości progowe wymienionych klas. Według klasyfikacji PIG [Bojakowska 2001] pobrane próbki osadów klasyfikowane są od pierwszej do trzeciej klasy, czyli jako osady nie zanieczyszczone, miernie zanieczyszczone oraz jako osady średnio zanieczyszczone. Analizowane próby osadów klasyfikowane są głównie, jako osady nie zanieczyszczone (I klasa). Są to osady przy której nie obserwuje się szkodliwych wpływów pierwiastków śladowych i toksycznych związków organicznych na organizmy wodne. Najwyższe wartości zanieczyszczeń odnotowano w warstwie najbardziej powierzchniowej 0–5 cm (oczko nr 1), dla którego osad klasyfikowano jako osad średnio zanieczyszczony, czyli taki w którym obserwowane jest częste szkodliwe oddziaływanie na organizmy wodne, ale stężenia te są

Tabela 3. Współczynniki wzbogacenia w metale ciężkie warstw osadów dennych badanych oczek
Table 3. The coefficients of enrichment in heavy metals layers of sediments in studied ponds

Punkt poboru	Warstwa	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Oczko nr 1							
bb*	W1/W2	0,75	0,96	0,62	0,94	0,71	0,89
	W1/W3	0,94	9,71	22,78	6,79	38,29	60,8
	w1/w4	0,80	0,09	0,02	0,12	0,03	0,02
ś**	W1/W2	1,05	0,99	0,89	1,05	1,02	1,01
	W1/W3	0,89	1,03	0,85	0,97	0,92	1,01
	W1/W4	0,83	0,77	0,58	0,75	1,14	1,01
b	W1/W2	1,68	1,77	2,11	1,90	2,46	2,41
	W1/W3	1,74	1,94	2,82	3,26	3,31	2,11
	W1/W4	3,02	0,87	3,84	0,96	5,89	4,91
Oczko nr 2							
bb*	W1/W2	18,81	1,36	2,07	1,38	5,97	1,74
	W1/W3	0,44	2,10	2,98	3,21	12,57	0,62
	W1/W4	0,59	1,45	3,03	2,06	6,73	1,42
ś**	W1/W2	1,20	1,17	1,26	1,18	1,09	1,31
	W1/W3	0,50	0,39	0,50	0,45	0,43	0,47
	W1/W4	1,17	0,95	1,11	1,14	1,25	1,16
b***	W1/W2	6,14	0,73	0,79	0,58	221,35	0,89
	W1/W3	0,67	0,68	0,82	0,55	221,35	0,83
	W1/W4	0,70	0,57	0,69	0,45	221,35	0,66

Objaśnienie: punkty poboru jak pod tabelą 1.

mniejsze od dopuszczalnych wartości dla oczyszczonych osadów według kryteriów WAC173-204 (Washington 1995). Pod względem koncentracji wszystkich metali ciężkich w badanych osadach warstwa osadów z oczka nr 2, z głębokości 10-20 cm, klasyfikowana była do osadów miernie zanieczyszczonych. Pod względem średnich stężeń metali ciężkich osady obu oczek klasyfikowane były jako osady nie zanieczyszczone, dla których nie obserwuje się szkodliwego oddziaływania pierwiastków śladowych na organizmy wodne oraz miernie zanieczyszczone, przy których szkodliwe oddziaływanie na organizmy wodne występuje sporadycznie.

Rozporządzenie Ministra Środowiska [Rozporządzenie 2002] jest mniej restrykcyjne w stosunku do oceny jakości osadów. Stężenia wszystkich analizowanych metali ciężkich były poniżej wartości granicznych dla osadów zanieczyszczonych, z wyjątkiem stężenia miedzi ($152,48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), które przekroczyło wartość stanowiącą o zanieczyszczeniu pobranego osadu, pozostałych metali.

Wyliczone współczynniki wzbogacenia badanych osadów w metale wskazują na różnicowanie współczynnika wzbogacenia tych pierwiastków

w analizowanych warstwach osadów. W oczku położonym w obrębie pól uprawnych większe nagromadzenie metali ciężkich w punkcie badawczym – b (głębocek) było w głębszych warstwach osadów. Najlepiej różnice te ilustrują współczynniki wzbogacenia, które w przypadku kadmu, chromu miedzi, niklu, ołowiu i cynku, przy porównaniu warstw W1/W2, W1/W3 oraz W1/W4 dla kadmu, miedzi, ołowiu i niklu wynoszą, odpowiednio: Cd 1,69 1,74; 3,00; Cr 1,77; 1,94; 0,87; Cu 2,11; 2,82; 3,84; Ni 1,90; 3,26; 0,96; Pb 2,46; 3,31; 5,89 i Zn 2,41; 2,11; 4,91.

Wzrastające wraz z głębokością wartości współczynników wzbogacenia wskazują na wcześniejsze, wyższe dostawy substancji zanieczyszczających. Stosunkowo wysokie wartości współczynników wzbogacenia uzyskano również dla osadów pobranych z punktu bb (W1/W3) dla chromu, miedzi, niklu, ołowiu i cynku, które wyniosły odpowiednio 9,71; 22,78; 6,79; 38,29 i 60,80. W oczku nr 2 w punkcie badawczym b wystąpiło znaczne nagromadzenie ołowiu w warstwie W1 w stosunku do pozostałych analizowanych warstw (221,35). Wysokie wartości współczynników wzbogacenia stwierdzono również w osadach pobranych z punktu bb (W1/W2)

dla wszystkich badanych metali, współczynniki te wyniosły dla Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn, odpowiednio: 16,0; 1,24; 2,07; 1,38; 5,88 i 1,74 razy (tab. 3). Również w tym samym punkcie poboru osadów zanotowano większe nagromadzenie metali ciężkich w warstwie wierzchniej (W1) niż w warstwach położonych głębiej (W3 i W4).

WNIOSKI

1. Wyższe wartości pH miały osady oczka położonego w parku wiejskim, niż oczka położonego w obrębie pól uprawnych (odczyn obojętny i zasadowy).
2. W obu badanych oczkach wodnych największe stężenia badanych metali ciężkich wystąpiły w najgłębszych punktach badawczych (głęбочki).
3. W oczku położonym w obrębie upraw rolnych najwyższe stężenia kadmu, miedzi, ołowiu i cynku wystąpiły w warstwie 0–5 cm, zaś niklu i chromu w warstwie 20–30 cm.
4. W oczku położonym w parku najwyższe wartości wystąpiły w punkcie badawczym położonym w środku oczka części w warstwie 10–20 cm.
6. Oczko nr 2 charakteryzowało się największymi średnimi stężeniami metali ciężkich, z wyjątkiem ołowiu w warstwie 10–20 cm.
6. Badane warstwy osadów w większości klasyfikowane są jako osady nie zanieczyszczane (I klasa). Jednak dla poszczególnych warstw zanotowano podwyższone stężenia metali ciężkich, pod względem których osad klasyfikowany jest jako miernie zanieczyszczony oraz średnio zanieczyszczony.

LITERATURA

1. Bojakowska I. 2001. Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny*, 49(3), 213–218.
2. Bojakowska I., Dobek P., Wokiewicy S. 2010. Pierwiastki śladowe w osadach kanału Bydgoskiego. *Górnictwo i Geologia*, 5(4), 41–49.

3. Bojakowska I., Sokołowska G. 1998. Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny*, 46(1), 49–54.
4. Borówka R.K. 2007. Geochemiczne bania osadów jeziornych strefy umiarkowanej. *Studia Limnologica et Telmatologica*, 1, 33–42.
5. Daniszewski P. 2012. Wartości stosunku C:N dla osadów dennych jeziora Barlineckiego (wiosna, lato i jesień 2008 r.). *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 2, 46–52.
6. Falandysz J., Masahide K., Danisiewicz D., Stepnowski P., Boszke L., Gołębiowski M. 1996. Rtęć ogółem w śródlądowych i przybrzeżnych osadach dennych z różnych miejsc na terenie polski. *Bromat. Chem. Toksykol. Vol. XXIX*, no. 2, 183–186.
7. Kasperk R., Rrosik-Dulewska C., Wiatkowski M. 2007. Badania osadów dennych w rejonie granicznych meandrów górnej Odry. *Roczniki Ochrony Środowiska*, 9, 293–302.
8. Kazimierowicz Z., Kazimierowicz J. 2014. Badania zawartości metali ciężkich w zlewni rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów. *Inżynieria Ekologiczna*, 40, 25–32.
9. Krasowska M., Banaszuk P. 2015. Drogi migracji biogenów w zlewni rolniczej. *Inżynieria Ekologiczna*, 43, 35–41.
10. Madeyski M., Tarnawski M. 2007. Wstępna ocena ilości i jakości osadów dennych wydzielonej części zbiornika wodnego Besko na rzece Wisłok. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4(1), 101–110.
11. Micun K. 2014. Rola zagłębień bezodpływowych jako lokalnych zbiorników sedymentacyjnych w krajobrazie młodoglacjalnym suwalskiego parku krajobrazowego. *Inżynieria Ekologiczna*, 40, 296–207.
12. Osuch A., Rybacki P., Osuch E., Adamski M., Buchwald T., Staszek Ż. 2016. Ocena stanu jakości wód jeziora Łomno. *Inżynieria Ekologiczna*, 46, 24–30.
13. Sidoruk M., Potasznik A. 2013. Ocena stanu zanieczyszczenia ołowiem, cynkiem i chromem osadów dennych jeziora Sunia. *Proceedings of Ewopole*, 7(2), 713–720.
14. Smal H., Ligęza S., Baran S. 2012. Odczyn i właściwości sorpcyjne osadów dennych zalewu Zembrzyckiego i zbiornika Brody Hłżeckie, 29, 174–181.
15. Washington State Department of Ecology 1995. *Sediment Management Standards*. Rozdz. 173–204 WAC.