

BADANIA ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH W ZLEWNI RZEKI BIEBRZY I JEJ TRZECH DOPIŁYWÓW

Zuzanna Kazimierowicz, Joanna Kazimierowicz¹

¹ Katedra Systemów Inżynierii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: j.kazimierowicz@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

Pobrano próbki osadu dennego w 11 punktach pomiarowych rzeki Biebrzy oraz określono zawartości sześciu metali (Cu, Cr, Co, Ni, Cd i Zn). Obliczono średnią arytmetyczną, medianę oraz odchylenie standardowe. Stwierdzono, że źródłami badanych metali ciężkich w osadach dennych są między innymi: zanieczyszczenia z pól i łąk (domieszki środków ochrony roślin oraz nawozów sztucznych), zrzuty ścieków bytowych i komunalnych z lokalnych oczyszczalni ścieków, zrzuty ścieków z zabudowań wiejskich oraz zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego. Rozpatrywanie zanieczyszczenia osadów dennych metalami ciężkimi są potrzebnym narzędziem do monitoringu środowiska wodnego. Ciągły monitoring zawartości metali w osadach pozwoli na przeciwdziałanie skutkom zagrożenia życia biologicznego w zbiorniku wodnym, które może wystąpić w przypadku notorycznych przekroczeń dopuszczalnych zawartości szkodliwych substancji.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, osady denne, zanieczyszczenia, rzeka.

THE STUDY OF HEAVY METALS CONTENT IN THE CATCHMENT AREA OF THE BIEBRZA RIVER AND THREE TRIBUTARIES

ABSTRACT

Sediment samples were taken in 11 measuring points of the Biebrza River and determined the contents of six metals (Cu, Cr, Co, Ni, Cd and Zn). Arithmetic mean, median and standard deviation were calculated. The sources of heavy metals in bottom sediments are: pollutants of fields and meadows (admixtures of plant protection products and fertilizers), discharges of domestic sewage and municipal from local wastewater treatment plants, wastewater discharges from rural buildings and pollutions of anthropogenic origin. Research of pollution of bottom sediments with heavy metals are needed tool for monitoring the aquatic environment. Continuous monitoring metal content of the sediments will counteract the effects of the threat of biological life in the water reservoir, which may occur in the case of notorious exceeded permissible content of harmful substances.

Keywords: heavy metals, bottom sediments, pollution, river.

WSTĘP

Znaczącym elementem każdego ekosystemu wodnego są osady dennie, gdyż biorą udział w przebiegu krążenia pierwiastków w środowisku wód powierzchniowych [Bielak 2006]. Dlatego też należy analizować osady dennie, gdyż w ocenie stanu zanieczyszczenia środowiska pełnią znaczącą rolę [Mucha i in. 2003]. Chemiczna analiza osadów dennych jest wskazówką dotyczącą działalności człowieka w danym rejonie [Grosheva i in. 2000, Shriadah 1999, Singh i in. 2002]. Skład chemiczny osadów uwarunkowana jest szeregiem czynników antropogenicznych oraz naturalnych. Przede wszystkim wiąże się to z budową geologiczną zlewni, warunkami klimatycznymi decydującymi o przebiegu procesów wietrzenia, uruchamiania pierwiastków, ich migracji i akumulacji w środowisku oraz geomorfologii terenu [Bojakowska i in. 1998, Skorbiłowicz 2012].

Metale ciężkie w osadach dennych to jeden z głównych czynników, który wpływa na ocenę stanu zanieczyszczenia osadów. Jest to związane z takimi metalami jak: ołów, rtęć, chrom, cynk i kadm. Są to metale uważane za najbardziej toksyczne dla organizmów wodnych [Sojka i in. 2013, Ibragimow i in. 2010]. Zawartość metali ciężkich, które są gromadzone w osadach dennych zbiornika wodnego stanowi cenny materiał do opisu prędkości, źródeł, a także dróg rozprzodzenia metali w zbiorniku [Gałka i in. 2010, Kostecki i in., 1998]. Metale ciężkie w wodach powierzchniowych znajdują się przeważnie w wyniku odprowadzania ich ze ściekami komunalnymi i przemysłowymi, a także ze spływu powierzchniowego, który wprowadza zanieczyszczenia z obszarów rolniczych, zastosowań produktów biobójczych do zwalczania szkodników, z emisji do atmosfery istotnych ilości pyłów, jak również z transportu [Gałka i in. 2010, Mioduszewski i in. 2004].

Celem pracy jest przedstawienie badań zawartości metali ciężkich: miedzi, chromu, kobaltu, niklu, kadmu i cynku w osadach dennych rzeki Biebrzy i jej dopływach (Kamienna, Jastrzębianka i Lebedzianka).

OBIEKT I METODY BADAŃ

Obiektem badań była rzeka Biebrza oraz jej dopływy: Kamienna, Jastrzębianka i Lebedzianka. Rzeka Biebrza jest prawobrzeżnym dopływem Narwi o długości 155,3 km. Źródła rzeki Biebrzy znajdują się w rejonie Wzgórz Sokólskich i tam rzeka zaczyna swój bieg, a w okolicach Burzyna uchodzi do rzeki Narwi. Biebrza stanowi główną oś hydrologiczną Biebrzańskiego Parku Narodowego, aż 152,5 km długości rzeki mieści się w granicach parku narodowego. Koryto rzeki silnie meandruje tworząc liczne zakola i starorzecza. Szerokość koryta wynosi od kilku metrów w początkowym biegu rzeki do kilkunastu w pobliżu ujścia. Powierzchnia zlewni Biebrzy wynosi 7051,2 km². Biebrza zasilana jest wodami powierzchniowymi jak i podziemnymi (naporowymi z dna doliny oraz wypływającymi z rozciętych warstw wodonośnych, wysoczyzn morenowych

otaczających dolinę). Dorzecze Biebrzy cechuje się dużą nierównomiernością rozkładu dopływów. Prawobrzeżne dorzecze stanowi 75,5% całości dopływów, lewobrzeżne zaś jedynie 24,5%. Prawobrzeżne dopływy: Niedźwiedzica, Lebedzianka, Netta i Kanał Augustowski, Kopytkówka, Ełk i Jegrznia, Dybła, Klimaszewnica, Jastrzębianka oraz Wissa. Lewobrzeżnymi dopływami Biebrzy są: Nurka, Sidra, Kamienna, Brzozówka, Krzczówka, Biebla, Kosódka. Dolinę Biebrzy zajmują największe w Polsce kompleksy torfowiskowe (ok. 70 000 ha). Największy z nich znajduje się w basenie środkowym Biebrzy.

Do punktowych źródeł zanieczyszczeń znajdujących się w zlewni rzeki Biebrzy można zaliczyć: oczyszczalnię komunalną w Dąbrowie Białostockiej (poprzez rzekę Kropiwnę) – 1450 m³ ścieków na dobę, oczyszczalnię miejska w Augustowie (przez rzekę Nette) – 479 m³ oraz oczyszczalnię miejską w Lipsku nad Biebrzą – 335 m³.

Próbki osadów z rzeki zostały pobrane we wrześniu 2012 roku. Dokonano analizy rzeki na długości 155,3 km od punktu znajdującego się w miejscowości Nowy Dwór do punktu w miejscowości Burzyn oraz jej trzech dopływów: Kamienna, Jastrzębianka i Lebedzianka.

Osady denne były pobierane w strefie brzegowej z głębokości około 5 cm. Następnie pobrany materiał badawczy suszono na powietrzu do stanu „powietrznie suchego”. Przed rozpoczęciem badania materiału badawczego próbę przesiewano przez nylonowe sito o średnicy oczek 0,2. Osady denne zostały zmineralizowane kwasem azotowym i nadtleniem wodoru w zamkniętym mikrofalowym systemie CEM Mars – 5. Zawartość pierwiastków miedzi, chromu, kobaltu, niklu, kadmu i cynku w osadach dennych oznaczano metodą ASA Varian Spectra AA100.

Wyniki badań porównano z danymi literaturowymi, a także skorzystano z klasyfikacji osadów wodnych na podstawie kryteriów geochemicznych w celu określenia stopnia zanieczyszczenia osadów metalami ciężkimi [Bojakowska i in. 1998, Bojakowska 2001]. Analizy statystyczne wykonano w programie Statistica 2010. Obliczono wartości średniej arytmetycznej, medianę, odchylenie standardowe oraz określono współczynnik korelacji.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Uzyskane wyniki badań odczynu oraz zawartości metali ciężkich (Cu, Cr, Co, Ni, Cd i Zn) w osadach dennych w 11 punktach na rzece Biebrzy i jej trzech dopływach oraz klasyfikację osadów wodnych na podstawie kryteriów geochemicznych [Bojakowska i in. 1998, Bojakowska 2001] przedstawiono w tabeli 1. W tabeli 2 zaprezentowano korelacje między zawartością metali.

Zawartość cynku przekroczyła tło geochemiczne w trzech punktach (Biebrza-Lipsk, Biebrza-Sztabin i Biebrza-Doliskowo). Najwięcej cynku wystąpiło się w miejscowościach Sztabin (246,3 mg/kg s.m.), osady w tej miejscowości można

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich w osadach dennych rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów oraz klasa geochemiczna

Table 1. The heavy metals content in bottom sediments of the Biebrza River and its three tributaries, and class geochemical

Punkt pomiarowy (rzeka i najbliższa miejscowość)	pH H ₂ O	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Zn
		mg/kg s.m.					
Biebrza Nowy Dwór	7,31	1,9 klasa I	8,8 klasa I	2,3 klasa I	6,0 klasa I	0,5 klasa I	17,7 klasa I
Biebrza Lipsk	7,01	8,8 klasa I	14,5 klasa I	5,2 klasa I	22,9 klasa I	0,2 klasa I	52,6 klasa I
Biebrza Ostrowa	6,99	3,3 klasa I	11,0 klasa I	3,8 klasa I	8,6 klasa I	1,1 klasa II	12,9 klasa I
Biebrza Sztabin	7,67	7,9 klasa I	15,6 klasa I	6,4 klasa I	12,2 klasa I	0,8 klasa I	246,3 klasa II
Biebrza Doliskowo	7,53	6,9 klasa I	12,8 klasa I	7,9 klasa I	10,4 klasa I	0,3 klasa I	90,1 klasa I
Biebrza Jagłowo	6,80	2,9 klasa I	9,5 klasa I	3,5 klasa I	2,4 klasa I	0,8 klasa I	20,2 klasa I
Biebrza Osowiec Twierdza	7,28	3,3 klasa I	6,5 klasa I	3,1 klasa I	1,4 klasa I	0,5 klasa I	21,9 klasa I
Biebrza Burzyn	7,35	5,6 klasa I	4,0 klasa I	1,8 klasa I	0,6 klasa I	0,2 klasa I	9,4 klasa I
Dopływ Kamienna Kamienna Stara	6,98	7,3 klasa I	11,2 klasa I	5,2 klasa I	6,8 klasa I	1,3 klasa II	36,3 klasa I
Dopływ Jastrzębianka Jastrzębna	7,37	2,8 klasa I	7,9 klasa I	4,7 klasa I	4,3 klasa I	0,7 klasa I	9,3 klasa I
Dopływ Lebiezianka Krasnybór	7,48	0,5 klasa I	4,6 klasa I	1,8 klasa I	1,8 klasa I	0,3 klasa I	6,4 klasa I
Minimum	6,8	0,5	4,0	1,8	0,6	0,2	6,4
Maksimum	7,67	8,8	15,6	7,9	22,9	1,3	246,3
Średnia arytmetyczna	–	4,65	9,67	4,15	7,04	0,61	47,55
Mediana	–	3,3	9,5	3,8	6,0	0,5	20,2
Odchylenie standardowe	–	2,75	3,80	1,94	6,50	0,37	70,41

Tabela 2. Zależności między metalami

Table 2. Relationships between metals

	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Zn
Cu	1,000000	0,713222	0,701716	0,708253	0,023211	0,593417
Cr	0,713222	1,000000	0,821410	0,837991	0,289110	0,702142
Co	0,701716	0,821410	1,000000	0,608462	0,185611	0,641560
Ni	0,708253	0,837991	0,608462	1,000000	-0,087662	0,451266
Cd	0,023211	0,289110	0,185611	-0,087662	1,000000	0,091352
Zn	0,593417	0,702142	0,641560	0,451266	0,091352	1,000000

Oznaczone wsp. korelacji są istotne z $p < 0,05$, $N = 11$.

uznać za miernie zanieczyszczone tym metalem, czyli zakwalifikowane do II klasy. Przyczyną występowania zwiększonej zawartości cynku są usytuowane w tych miejscowościach oczyszczalnie ścieków. Za punktem pomiarowym w Sztabinie również możliwa jest zmiana jakości środowiska rzeki Biebrzy ze względu na większy dopływ ścieków z oczyszczalni w Sztabinie oraz dopływ Lebedzianki oraz Jastrzębianki w których płyną wody z równiny Augustowskiej. Hazik i współautorzy [2013] twierdzą, że zwiększone zawartości cynku odpowiedzialne mogą być ścieki z niedostatecznie oczyszczonych, z nieskanalizowanych terenów, powstające w wyniku działalności bytowo gospodarczej człowieka oraz nawozy środki ochrony roślin jak również osady ściekowe, którymi nawożone są pola uprawne. Porównując średnią zawartość cynku w osadach dennych w Polsce wynosi 73 mg/kg s.m. [Lis i in. 1995] można stwierdzić, że jest znacznie mniejsza wartość niż w badanych punktach Biebrzy przy średniej 47,55 mg/kg s.m.

Biorąc pod uwagę zawartość niklu osady denne należą do I klasy czystości, czyli niezanieczyszczonych. W sześciu punktach zostało przekroczone tło geochemiczne (Biebrza-Nowy Dwór, Biebrza-Lipsk, Biebrza-Ostrowa, Biebrza-Sztabin, Biebrza-Doliskowo, dopływ Kamienna-Kamienna Stara), które wynosi 5 mg/kg s.m. [Bojakowska i in. 1998, Bojakowska 2001]. Natomiast zawartości niklu dla osadów wód powierzchniowych Polski wynoszą 11 mg/kg s.m. W badaniach rzeki Biebrzy zawartości te wahały się w granicach 0,6–22,9 mg/kg s.m. Największe zawartości zaobserwowano dla punktu Biebrza-Lipsk 22,9 mg/kg s.m. Porównywalne zawartości niklu były badane dla zbiornika retencyjnego Stare na rzece Powie w obrębie zlewni rzeki Warty przez Sojkę i in. [2013].

Osady z badanej rzeki można uznać za miernie zanieczyszczone kadm, czyli należące do II klasy czystości, ale tylko w dwóch punktach (Biebrza-Ostrowa, dopływ Kamienna-Kamienna Stara), gdyż było ponad 1 mg/k s.m., a tło geochemiczne w Polsce wynosi poniżej 0,5 mg/kg s.m. [Bojakowska i in. 1998, Bojakowska 2001]. Zawartości kadmu wahały się w podobnych granicach jak dla rzek Puszczy Knyszyńskiej [Skorbiłowicz 2003] oraz rzeki Bug [Skorbiłowicz 2014]. Największe zawartości kadmu znajdowały się w małych miejscowościach (Ostrowa i Kamienna Stara), dlatego można stwierdzić, że głównym źródłem kadmu są spływy powierzchniowe, stosowanie środków ochrony roślin, które zawierają kadm, a także wykorzystanie odpadów organicznych do nawożenia gleby.

W przypadku zawartości miedzi osady denne rzeki można zaliczyć do osadów niezanieczyszczonych do klasy I według klasyfikacji osadów wodnych na podstawie kryteriów geochemicznych [Bojakowska i in. 1998, Bojakowska i in. 2000]. Tło geochemiczne zostało przekroczone w czterech punktach pomiarowych (Biebrza-Lipsk, Biebrza-Burzyn, Biebrza-Doliskowo i dopływ Kamienna-Kamienna Stara). Można stwierdzić, że zwiększone zawartości w Lipsku, Sztabinie i Doliskowie spowodowane są wpływem oczyszczalni ścieków w tych miejscowościach, zaś w miejscowości Kamienna Stara wpływem spływów powierzchniowych. Zawartość miedzi są znacznie niższe niż w rzece Bytomka, gdyż jej wartości wahały się w granicach 40–130 mg/kg s.m. [Nocoń 2009].

Zawartość kobaltu w analizowanych osadach dennych wahał się w granicach 1,8–7,9 mg/kg s.m. Były to większe zawartości niż średnie w Polsce 4,0 mg/kg s.m. Porównywalną zawartość metali ciężkich jak w Biebrzy otrzymali Jaguś i in. [2013] w zbiornikach wodnych regionu górnośląskiego. Ich wyniki dla osadów dennych wahały się w granicach 7–22,3 mg/kg s.m. [Kabata-Pendias i in. 1999]. Podobne wyniki także otrzymała Skorbiłowicz [2014] dla rzeki Bug. Zawartość kobaltu w jej badaniach mieściły się w granicach 3,1–6,2 mg/kg s.m. Średnia zawartość kobaltu w osadach dennych dla Europy wynosi 11,2 mg/kg s.m. W tym przedziale mieściły się wszystkie osady w punktach pomiarowych.

Zawartość chromu w badanych osadach również przekroczyła tło geochemiczne, które jest równe 5 mg/kg s.m. Badane zawartości były w granicach 4,0–15,6 mg/kg s.m. i z tego względu osady denne zaliczają się do klasy I. Według Lisa i in. [1995] naturalne zawartości chromu w osadach dennych rzek niezanieczyszczonych dochodzi do 10 mg/kg s.m. W Biebrzy w pięciu badanych punktach (Biebrza-Lipsk, Biebrza-Ostrowa, Biebrza-Sztabin, Biebrza-Doliskowo oraz dopływ Kamienna-Kamienna Stara) zawartość ta została przekroczona. Według Kabata-Pendias i współautorów [1999] chrom jest jednym z najmniej ruchliwych metali śladowych w środowisku przyrodniczym. Średnia zawartość chromu w Europie dla osadów wynosi 64,00 mg/kg s.m., czyli zdecydowanie jest to większa zawartość tego metalu niż w badanej Biebrzy. Porównywalne zawartości chromu do badanych punktów Biebrzy występowały w cieku Mielnica od 7,5 do 24,5 mg/kg s.m. badanym przez Licznar i in. [2005].

W przypadku zawartości metalu miedzi tło geochemiczne zostało przekroczone w punktach: Biebrza-Lipsk, Biebrza-Sztabin, Biebrza-Doliskowo i dopływ Kamienna-Kamienna Stara. Dla zawartości kobaltu i chromu tło geochemiczne nie zostało przekroczone jedynie w punktach Biebrza-Burzyn i dopływ Lebedzianka-Krasnybór. Natomiast dla niklu tło geochemiczne nie zostało przekroczone w punktach Biebrza-Jagłowo, Biebrza-Osowiec Twierdza, Biebrza-Burzyn, dopływ Jastrzębianka-Jastrzęba oraz dopływ Lebedzianka-Krasnybór. Tło geochemiczne dla zawartości kadmu zostało przekroczone w punktach Biebrza-Ostrowa, Biebrza-Sztabin, Biebrza-Jagłowo, dopływ Kamienna-Kamienna Stara i dopływ Jastrzębianka-Jastrzęba, zaś cynk tło geochemiczne przekroczyło dla punktów Biebrza-Lipsk, Biebrza-Sztabin oraz Biebrza-Doliskowo.

Ze względu na zawartości metali ciężkich takich jak Cu, Cr, Co, Ni zostały zakwalifikowane do I klasy. Natomiast w punkcie pomiarowym Biebrza-Ostrowa i dopływie Kamienna-Kamienna Stara zaliczono do klasy II, czyli osadów miernie zanieczyszczonych Cd, a w punkcie pomiarowym Biebrza-Sztabin – Zn.

Średnie korelacje występują pomiędzy następującymi metalami: Cu-Cr (0,713222), Cu-Co (0,701716), Cu-Ni (0,708253), Cr-Zn (0,702142), Co-Ni (0,608462), Co-Zn (0,641560). Natomiast silnie zachodzą między: Cr-Co (0,821410), Ni-Cr (0,837991). Pozostałe zależności nie są istotne.

WNIOSKI

1. W rzece Biebrza osady denne charakteryzują się dużą zmiennością badanych zawartości metali. Największe zawartości miedzi i niklu odnotowano w punkcie poboru Biebrza-Lipsk. Jest to spowodowane zanieczyszczeniami powierzchniowymi, które spływają z gruntów i gospodarstw rolnych oraz funkcjonowaniem oczyszczalni ścieków komunalnych w Lipsku.
2. Największe zawartości chromu i cynku zanotowano w punkcie poboru Biebrza-Sztabin oraz zawartość kobaltu w punkcie poboru Biebrza-Dolistowo, co spowodowane jest występowaniem mechaniczno- biologicznej oczyszczalni ścieków w tych miejscowościach.
3. Większe niż w pozostałych punktach pomiarowych zawartości kadmu w punktach Biebrza-Ostrowa i Kamienna-Kamienna Stara są w głównej mierze związane z zanieczyszczeniami antropogenicznymi, takimi jak nawozy sztuczne, środki ochrony roślin.
4. Najmniejsze zawartości miedzi, kobaltu i cynku zauważono w punkcie poboru Biebrza-Osowiec Twierdza, chromu, kadmu i niklu w punkcie poboru Biebrza-Burzyn oraz kadmu w punkcie Biebrza-Lipsk.
5. W badaniu wykazano, że zawartości badanych metali ciężkich nie są tak wysokie, aby naruszyć środowisko rzeki.
6. Z badań wynika, że głównymi źródłami zanieczyszczeń metalami w osadach Biebrzy są brak lub słabe oczyszczanie ścieków bytowych, spływ powierzchniowy wód z terenów rolniczych, postępująca mineralizacja sztucznie osuszonych torfowisk oraz słaba jakość wód powierzchniowych dopływających do Biebrzy.
7. Analiza statystyczna umożliwiła wykazanie, iż w osadach rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów, silne zależności występują między następującymi metalami: Cr-Co (0,821410), Ni-Cr (0,837991).

LITERATURA

1. Bielak S. 2006. Zanieczyszczenia antropogeniczne w osadach dennych rzek Biebrzańskiego Parku Narodowego. „Ekoprofit” nr 1, Katowice, 73–81.
2. Bojakowska I., Gliwicz T., Szatkowska-Konon H., 2000. Osady denne w wodach powierzchniowych. 133–140.
3. Bojakowska I., Sokołowska G., 1998. Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. Przegl. Geolog. Warszawa, 46(1), 49–54.
4. Bojakowska I., 2001. Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. Przegl. Geolog. 49(3), 213–218.
5. Grosheva E.L., Voronskaya G.N., Pastukhove M.V. 2000. Trace element bioavailability in lake Baikal. Aquat. Ecosys. Health Manage. 3, 229–234.

6. Hazik T., Czaplicka-Kotas A., Ślusarczyk Z., Szalińska E., 2013. Przestrzenne zmiany stężeń cynku w osadach dennych Zbiornika Czorsztyńskiego. *Inżynieria i ochrona środowiska*, 16(1), 57–68.
7. Ibragimow A., Głosińska G., Siepak M., Walna B., 2010. Heavy metals In sediments of the Odra River Floyd-plains – introductory research *Quaestions Geographicae* 29(1), 37–47.
8. Jaguś A., Rzętała M. A., Rzętała M., 2013. Ocena zanieczyszczenia osadów w zbiornikach wodnych w aspekcie użytkowania gruntów. *Proceedings of EC Opole*, 7(13), 49–355.
9. Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Nauk PWN, Warszawa.
10. Kostecki M., Kozłowski J., Kowalski E., Domurad A., 1998. Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Cz. I. Charakterystyka hydrochemiczna rzeki Dramy, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 1, 27–44.
11. Licznar M., Licznar S. E., Licznar P., Żmuda R., 2005. Właściwości osadów dennych cieką Mielnica. 345–355.
12. Lis J., Pasieczna A., 1995. *Atlas geochemiczny Polski w skali 1 : 2 500 000*, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
13. Mioduszewski W., Ślesicka A., Okruszko T., 2004. Wybrane problemy gospodarowania wodą w Dolinie Biebrzy. W: *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. Białystok: Wydaw. WEŚ s. 214–264.
14. Mucha A.P., Vasconcelos M.T.S.D., Bordalo A.A., 2003. Macro benthic community In the Douro Estuary: relations with heavy metals and natural sediment characteristic. *Environmental Pollution* 121, 169–180.
15. Nocoń W., 2009. Metale ciężkie w osadach dennych wybranych dopływów rzeki Kłodnicy. *Inżynieria i ochrona środowiska*, 12(1), 65–76.
16. Shriadah M.M.A., 1999. Heavy metals in mangrove sediments of the United Arab Emirates shoreline (Arabian Gulf). *Water, Air and Soil Pollu.*, 116, 523–534.
17. Singh M., Müller G., Singh I.B., 2002. Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanization of the Ganga plain, India. *Water, Air and Soil Pollu.*, 141, 35–54.
18. Skorbiłowicz E., 2014. Assessment of heavy metals contents In bottom sediments of Bug River, 82–89.
19. Skorbiłowicz E., 2003. Ocena stanu zanieczyszczenia małych cieków Puszczy Knyszyńskiej. 311–320.
20. Skorbiłowicz E., 2012. Studia nad rozmieszczeniem niektórych metali w środowisku wodnym zlewni górnej Narwi.
21. Sojka M., Siepak M., Gnojska E., 2013. Ocena zawartości metali ciężkich w osadach dennych wstępnej części zbiornika retencyjnego Stare Miasto na rzece Powie. *Ochrona środowiska*, t. 15, 1916–1928.