

Marcin SKWARKA¹, Natalia PERLICEUSZ¹, Monika KOWALSKA-GÓRALSKA¹
Magdalena SENZE¹ i Tomasz SKWARKA²

WPŁYW LOKALIZACJI MAŁYCH ZBIORNIKÓW WODNYCH NA STOPIEŃ KUMULACJI METALI CIĘŻKICH W OSADACH DENNYCH

LOCALISATION EFFECT OF SMALL WATER RESERVOIRS ON HEAVY METAL CUMULATION DEGREE IN BOTTOM SEDIMENTS

Abstrakt: Zanieczyszczenia docierające zarówno do cieków płynących, jak i zbiorników wodnych, w postaci metali ciężkich i toksycznych związków organicznych o małej rozpuszczalności i niskim stopniu degradacji, w końcowym etapie migracji w środowisku zatrzymywane są w osadach dennych. Zawartość w nich pierwiastków toksycznych stanowi istotny wskaźnik sytuacji ekologicznej środowiska wodnego oraz jest przejawem stopnia antropopresji na otoczenie przyrodnicze miasta. Zanotowano wysoką koncentrację cynku, miedzi i ołowiu zarówno w wodach, jak i depozycie dennym badanych zbiorników. Największe zagrożenie pierwiastkami toksycznymi wykazywały zbiorniki zlokalizowane w przemysłowej części miasta (rejon Wrocław Fabryczna). Zawartość metali w wodzie uszeregowano następująco: Zn>Cu>Pb>Ni>Cd, podczas gdy w osadach dennych - Zn>Pb>Cu>Ni>Cd.

Słowa kluczowe: woda, osady denne, parki miejskie, metale ciężkie, Wrocław

Wody powierzchniowe, niezależnie od sposobu użytkowania, poddawane są działaniu zanieczyszczeń. Wpływa to niekorzystnie na ich jakość [1, 2]. Zdolność wody do rozpuszczania wielu substancji wpływa na kumulowanie w niej licznych związków. Cecha ta jest w pewnym stopniu eliminowana poprzez zdolność do naturalnego samooczyszczenia wody ze zgromadzonych zanieczyszczeń. Dotyczy to jednak wód płynących, a tempo tego procesu jest powolne. Zbiorniki bezodpływowe pozbawione są tej formy naturalnej detoksykacji [3].

Przyrodniczym filtrem dla wód jest głównie gleba, która umożliwia sorpcję i selekcję sorbowanego materiału. W przypadku powierzchniowych zbiorników wodnych funkcję retencyjną w stosunku do substancji zawartych w wodzie pełnią osady denne. Stanowią one magazyn deponowanych związków chemicznych. Szczególnie narażone na zanieczyszczenie m.in. pierwiastkami śladowymi są małe zbiorniki wodne, tj. sadzawki, oczka czy stawy, często pozbawione stałego zasilania i o stagnującym charakterze toni wodnej. Tego typu rezerwuary spotykamy w ogrodach i zieleńcach miejskich jako elementy małej architektury parkowej.

Zbiorniki wodne w parkach są składnicą różnorodnych zanieczyszczeń, gdyż ich przebudowa, oczyszczanie i rewitalizacja odbywają się rzadko. Raz utworzone potrafią być niezmienione przez wiele lat. Stają się tym samym ważnym źródłem akumulacji np. metali ciężkich. Wrocławskie parki miejskie i ich zbiorniki wodne mają co najmniej

¹ Zakład Hydrobiologii i Akwakultury, Instytut Biologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. J. Chełmońskiego 38C, 51-630 Wrocław, tel. 71 320 58 73, fax 71 320 58 76, email: monika.kowalska-goralska@up.wroc.pl

² Katedra Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. J. Chełmońskiego 38C, 51-630 Wrocław, tel./fax 71 320 58 66, email: tomasz.skwarka@gmail.com

kilkudziesięcioletnią historię. Paradoksalnie więc miejsce wypoczynku, symbol zdrowego trybu życia w mieście może być obszarem szczególnie zanieczyszczonym.

Celem pracy była ocena stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi zbiorników wodnych zlokalizowanych w wybranych parkach Wrocławia z uwzględnieniem wpływu lokalizacji zieleńców miejskich.

Materiały i metody

Pobrano i przebadano wodę oraz osady denne ze zbiorników wodnych zlokalizowanych w wybranych parkach miejskich na terenie Wrocławia: Park Szczytnicki, Park Tołpy (rejon Wrocław Śródmieście; centrum miasta o dużym natężeniu transportu); Park Kopernika (rejon Wrocław Stare Miasto; jak poprzednio), Park Brochowski, Park Południowy, Park Wschodni (rejon Wrocław Krzyki; dzielnica usługowo-mieszkalna), Park Grabiszyński, Park Leśnicki, Park Strachowicki, Park Złotnicki (rejon Wrocław Fabryczna; dzielnica przemysłowa).

Próbki były pobierane sezonowo: wiosną (kwiecień 2009 r.), latem (lipiec 2009 r.), jesienią (listopad 2009 r.) oraz zimą (luty 2010 r.).

Każdorazowo pobrano wodę 3-krotnie, a próbki uśredniono. *In situ* określono przewodność elektrolityczną (konduktywność) i odczyn. W laboratorium zakładowym przeprowadzono analizę chemiczną (twardość ogólna, oznaczenie koncentracji chlorków, Ca, Mg). Dodatkowo 250 cm³ każdej próbki wody przesączano filtrem membranowym grubym, poddawano zagęszczeniu i zmineralizowano z dodatkiem 10 cm³ HNO₃ cz.d.a. (SIGMA). W mineralizatach oznaczono metodą spektrofotometrii absorpcji atomowej (AAS) koncentracje pierwiastków śladowych - Cu, Cd, Ni, Pb oraz Zn na aparacie SpectrAA 220FS (VARIAN).

Osady pobierane były w tych samych miejscach co próbki wody z użyciem czerpacza Ekmana. Materiał wysuszono w temperaturze pokojowej. Próbki oczyszczono z materii organicznej, przesiano przez sito, a następnie roztarto w moździerzu porcelanowym w celu homogenizacji. Odważki osadów w ilości 2 g każda poddano mineralizacji w piecu mikrofalowym MARS-5 w obecności 5 cm³ HNO₃ cz.d.a. (SIGMA). Koncentracje pierwiastków śladowych - Cu, Cd, Ni, Pb oraz Zn określono metodą AAS w aparacie SpectrAA220FS (VARIAN).

Wyniki opracowano statystycznie z użyciem programu STATISTICA 9.0 oraz Statgraphic 5.0.

Wyniki i dyskusja

Koncentracje metali ciężkich (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn) w wodach i osadach dennych zbiorników wodnych w parkach miejskich Wrocławia przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Zestawiono je z wartościami normatywnymi wg obowiązującego Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych [4] oraz uchylonego (dla celów porównawczych) Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych [5], a także wobec klasyfikacji osadów dennych wg Bojakowskiej i Sokołowskiej [6].

Tabela 1
Zawartość metali ciężkich (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn) w wodach zbiorników z parków wrocławskich [mg·dm⁻³]Table 1
Content of heavy metals (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn) in water from water reservoirs of the urban parks in Wrocław [mg·dm⁻³]

Metal	Sezon	P. S. Tolpy	P. Szczytnicki	P. M. Kopernika	P. Wschodni	P. Brochowski	P. Południowy
Cu	Wiosna	0,0087	0,0134	0,0116	0,0049	0,0089 ^a	0,0082
	Lato	0,0039	0,0044	0,0042	0,0043	0,0040	0,0035
	Jesień	0,0069	0,0092	0,0079	0,0081	0,0048	0,0093
	Zima	0,0052	b.d	0,0087	0,0081	0,0041	0,0048
Ni	Wiosna	0,0039	0,0068	0,0115	0,0035	0,0053	0,0051
	Lato	0,0000	0,0000	0,0015	0,0034	0,0000	0,0003
	Jesień	0,0072	0,0094	0,0118	0,0110	0,0038	0,0106 ^a
	Zima	0,0050	b.d	0,0125	0,0086	0,0060	0,0052
Cd	Wiosna	0,0004	0,0011	0,0012	0,0007	0,0030 ^a	0,0006
	Lato	0,0008	0,0011	0,0009	0,0000	0,0009	0,0011
	Jesień	0,0014	0,0011	0,0014	0,0024	0,0013	0,0016
	Zima	0,0020	b.d	0,0024	0,0019	0,0020	0,0018
Pb	Wiosna	0,0013	0,0034	0,0049	0,0000	0,0259 ^{ab}	0,0028
	Lato	0,0011	0,0041	0,0000	0,0000	0,0022	0,0031
	Jesień	0,0000	0,0067	0,0000	0,0181 ^a	0,0000	0,0155 ^a
	Zima	0,0035 ^a	b.d	0,0067	0,0036	0,0066	0,0031
Zn	Wiosna	0,0269	0,0201	0,0241	0,0155	0,0311	0,0142
	Lato	0,0147	0,0139	0,0104	0,0170	0,0124	0,0140
	Jesień	0,0114	0,0301	0,0142	0,0079	0,0092	0,0432
	Zima	0,0260	b.d	0,0338	0,0218	0,0197	0,0549

Metal	Sezon	P. Grabiszyński	P. Strachowicki	P. Leśnicki	P. Złotnicki
Cu	Wiosna	0,0113	0,0080	0,0053	0,0080
	Lato	0,0046	0,0041	0,0055	0,0064
	Jesień	0,0314 ^{ab}	0,0061	0,0077	0,0085
	Zima	0,0104	0,0047	0,0085	0,0064
Ni	Wiosna	0,0082	0,0030	0,0073	0,0065
	Lato	0,0000	0,0000	0,0001	0,0022
	Jesień	0,0198 ^{ab}	0,0067	0,0116	0,0082
	Zima	0,0155	0,0110 ^a	0,0163 ^a	0,0081
Cd	Wiosna	0,0013	0,0007	0,0007	0,0013
	Lato	0,0009	0,0011	0,0011	0,0010
	Jesień	0,0022	0,0018	0,0007	0,0010
	Zima	0,0023	0,0020	0,0026	0,0029
Pb	Wiosna	0,0045	0,0042	0,0000	0,0046
	Lato	0,0000	0,0012	0,0027	0,0024
	Jesień	0,0156 ^a	0,0000	0,0102 ^a	0,0108 ^a
	Zima	0,0099	0,0041	0,0058	0,0043
Zn	Wiosna	0,0196	0,0292	0,0147	0,0234
	Lato	0,0099	0,0160	0,0249	0,0188
	Jesień	0,1476 ^{ab}	0,0190	0,0360	0,0112
	Zima	0,0730	0,0257	0,0489	0,0316

a - różnice statystycznie istotne dla parku ($p \leq 0,01$); b - różnice statystycznie istotne między parkami w danym sezonie ($p \leq 0,01$); c - różnice statystycznie istotne dla stref badań ($p \leq 0,01$); b.d. - brak danych

Tabela 2
Zawartość metali ciężkich (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn) w osadach dennych zbiorników wodnych z parków wrocławskich [mg·kg⁻¹ s.m.]

Table 2
Content of heavy metals (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn) in bottom sediments from a water reservoir in urban parks in Wrocław [mg·kg⁻¹ d.m.]

Metal	Sezon	P. S. Tołpy	P. Szczytnicki	P. Wschodni	P. Brochowski
Cu	Wiosna	2,8463	139,4830	1,0988	32,8068
	Lato	6,6018	14,8149	1,0264	15,7072
	Jesień	4,0858	10,3572	1,1292	16,4710
Ni	Wiosna	2,8233	44,0054	1,6991	13,5986
	Lato	4,8855	16,9201	3,2923	15,0194
	Jesień	3,7421	15,1719	2,6667	15,1419
Cd	Wiosna	0,0872	2,0492	0,0645	0,1988
	Lato	0,2618	0,2935	0,1907	0,3280
	Jesień	0,1879	0,2594	0,2041	0,5084
Pb	Wiosna	5,7548	101,0730	4,4775	25,5164
	Lato	33,8847	15,4238	4,8211	37,8403
	Jesień	146,5730	11,5083	1,6909	25,1237
Zn	Wiosna	28,4680	765,0300	17,9280	45,4310
	Lato	27,3531	53,2750	10,9045	25,6316
	Jesień	18,6711	51,1470	10,6097	97,9520 ^a

Metal	Sezon	P. Grabiszyński	P. Strachowicki	P. Leśnicki	P. Złotnicki
Cu	Wiosna	189,7160	11,4362	8,2543	5,1279
	Lato	55,3565	16,5785	12,6533	8,9076
	Jesień	192,5890	2,3122	3,8192	13,7059
Ni	Wiosna	48,8322	18,7479	9,0271	4,4548
	Lato	25,3223	23,9991	16,9211	11,8143
	Jesień	60,7720	4,5980	4,9010	9,5820
Cd	Wiosna	3,4507	0,0535	0,1749	0,1376
	Lato	1,2700	0,2760	0,3263	0,2800
	Jesień	3,6384	0,2782	0,2155	0,3044
Pb	Wiosna	306,3260	7,5445	16,0961	11,2649
	Lato	55,8223	9,0629	21,6508	12,7036
	Jesień	148,0280	1,8977	4,9340	36,4925
Zn	Wiosna	1313,7600	30,9470	46,2780	31,6970
	Lato	453,2100	26,9617	62,6730	43,6350
	Jesień	1131,9900	7,5767	12,5780	63,7920

a,b - różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,01$)

Miedź

Stężenie Cu w wodzie badanych zbiorników nie przekraczało obowiązujących norm jakościowych. Maksymalna koncentracja metalu na poziomie 0,0314 mg Cu·dm⁻³ (Park Grabiszyński, jesień) była o 37% poniżej ustanowionej granicy dopuszczalnego stężenia pierwiastka w wodzie [5]. Tendencję wzrostową zawartości Cu zaobserwowano w parkach Grabiszyńskim i Brochowskim, przy czym zakres wartości mediany oscylował w granicach 0,004÷0,011 mg·dm⁻³. Średnia koncentracja Cu w analizowanych wodach wynosiła 0,0075 mg Cu·dm⁻³ i była znacząco ($p \leq 0,01$) niższa od wartości otrzymanych przez Licznara i Licznar [7]. Wody w południowo-zachodniej części Polski charakteryzują się

zawartością Cu na poziomie $0,009\div 0,011 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ [8, 9]. Koncentracje Cu uzyskane w badaniach własnych były zbliżone do tych wartości.

Naturalna zawartość Cu w osadach dennych jest niższa niż $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. [10] i w takim zakresie znajdowało się 6 na 8 osadów z przebadanych parków wrocławskich. Wyjątek stanowiły osady z Parków Szczytnickiego, Grabiszyńskiego i w mniejszym stopniu Parku Brochowskiego, posiadające szerszy zakres kumulacji metalu. Wysokie wartości nasycenia Cu uzyskane w Parku Szczytnickim ($55\div 190 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) były niższe niż w badaniach prowadzonych przez Karczewską i współprac. [11], gdzie stężenie oscylowało na poziomie $40\div 570 \text{ mg Cu}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Może to świadczyć o stopniowej eliminacji dodatkowych źródeł tego pierwiastka w tym obszarze. Osady pobrane z Parku Grabiszyńskiego zaliczały się do III klasy czystości osadów [6]. Najwyższe wartości podyktowane są genezą parku, a także usytuowaniem w pobliżu źródeł emisji gazowych i pyłowych. Mimo zastosowania środków przeciwdziałających degradacji środowiska zakłady te uwalniają do otoczenia pierwiastki szkodliwe, m.in. Cu, która stanowi znaczny procent całkowitego emitowanego zanieczyszczenia środowiska naturalnego tym pierwiastkiem na obszarze Wrocławia i Dolnego Śląska, szacowanego na $1000\div 5000 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$ [12, 13].

Nikiel

Dopuszczalne stężenie Ni w wodach powierzchniowych wynosi $1000 \mu\text{g Ni}\cdot\text{dm}^{-3}$ [14], podczas gdy w uzyskanych wynikach wartości mediany kształtowały się w przedziale $4\div 12 \mu\text{g Ni}\cdot\text{dm}^{-3}$. Zaobserwowano także tendencję spadkową zawartości Ni w wodzie.

Pierwiastek ten w środowisku wodnym pochodzi głównie z wymywania podłoża skalnego oraz ze spływów [15]. Wody pochodzące z parków zlokalizowanych w obrębie Śródmieścia, a także z parków Brochowskiego i Złotnickiego kwalifikowały się do I klasy czystości wód [4]. Pozostałe parki jedynie w sezonie jesienno-zimowym miały zwiększoną koncentrację Ni, co było związane ze spadkiem odczynu wody w tych okresach.

Koncentracje Ni w osadach dennych większości zbiorników wodnych nie odbiegały od wartości granicznych tła geochemicznego dla klasy I [6]. Sezonowe zmiany koncentracji pierwiastka zauważalne były tylko w Parku Szczytnickim (ok. $44 \text{ mg Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w okresie wiosennym oraz w Parku Grabiszyńskim na wiosnę i jesień (odpowiednio $44,8$ oraz $60,7 \text{ mg Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Najwyższe zakresy stężenia Ni odnotowano w Parku Grabiszyńskim, co było związane z działalnością w tym rejonie zakładu przemysłowego HUTMEN.

Kadm

Stężenie graniczne dla Cd jest uzależnione od twardości wody i dla poszczególnych klas ma inną wartość. Przebadane zbiorniki posiadały wodę I lub II klasy czystości względem zawartości Cd [4, 5]. W okresie zimowym wody wykazywały większy poziom koncentracji metalu niż w pozostałych sezonach, jednak znacząco ($p \leq 0,01$) poniżej dopuszczalnych wartości maksymalnych. Największe zagrożenie nadmierną koncentracją Cd wykazywały parkowe zbiorniki wodne zlokalizowane w rejonach przemysłowych Wrocław Krzyki i Wrocław Fabryczna. W zachodniej części miasta średnia zawartość metalu była bardzo niska, jednakże w zbiornikach z tej strefy zaobserwowano znaczne wahania w koncentracji tego pierwiastka. Powodem tak dużych rozbieżności uzyskanych

wyników mógł być fakt, że na ogół Cd nie utrzymuje się długo w roztworze i jest szybko wytrącany w postaci węglanów lub sorbowany przez minerały ilaste, wodorotlenki i tlenki metali [9, 16]. Najwyższa uzyskana wartość nasycenia Cd wyniosła $0,003 \text{ mg Cd}\cdot\text{dm}^{-3}$, podczas gdy maksymalna naturalna zawartość pierwiastka w wodach osiąga poziom $0,1 \text{ mg Cd}\cdot\text{dm}^{-3}$.

W osadach dennych naturalna koncentracja Cd występuje na poziomie $1 \text{ mg Cd}\cdot\text{kg}^{-1}$, podczas gdy w osadach z parków Grabiszyńskiego i Szczytnickiego zanotowano wartości od $1,27$ do $3,63 \text{ mg Cd}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Kryteria geochemiczne pozwoliły zaklasyfikować te parki do II klasy czystości osadów [6]. Duże stężenie tego pierwiastka było powiązane z działalnością przemysłu hutniczego w strefie przemysłowej miasta. Znacząco wysoką ($p \leq 0,01$) koncentrację Cd zaobserwowano w okresie wiosennym w Parku Szczytnickim z powodu stopniowego uwalniania skumulowanych pierwiastków śladowych z pokrywy śnieżnej i lodowej na obszarze parku. W badaniach Karczewskiej [11] z 2000 roku na obszarze P. Szczytnickiego wykazano stężenie Cd w glebach tego zieleńca na poziomie $0,05\div 4,5 \text{ mg Cd}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Licznar i Licznar [7] w 2005 roku wykazali, że koncentracja metalu na tym samym obszarze utrzymywała się już tylko w granicy $0,2\div 1,0 \text{ mg Cd}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Uzyskane w badaniach własnych koncentracje Cd w osadach dennych na poziomie $0,2\div 2,0 \text{ mg Cd}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. były porównywalne do wyników prezentowanych przez ww. autorów [7, 11]. Wysoki poziom Cd utrzymujący się w osadach dennych był wynikiem słabego wypłukiwania metalu przez wodę. Wprowadzenie nowych nasadzeń roślin niskich wokół zbiornika lub wprowadzenie bentosu o większej zdolności wiązania tego metalu poprawiłoby sytuację. Bez względu na odczyn gleby jest on bardzo łatwo pobierany przez rośliny, jednak w niektórych warunkach zaznacza się jego antagonistyczne działanie wobec wapnia [16].

Ołów

Ustanowiona graniczna wartość dla Pb została stwierdzona tylko w strefie przemysłowej i centrum miasta. Wody z pozostałych dzielnic spełniały normę klasy I [5].

Hamowanie procesu samooczyszczania się wód następuje przy stężeniu $0,1 \text{ mg Pb}\cdot\text{dm}^{-3}$, a uzyskane w badaniach własnych wartości rzędu $0,025 \text{ mg Pb}\cdot\text{dm}^{-3}$ nie stanowią zagrożenia dla tego procesu. W badaniach na jeziorze Dołgie Wielkie w latach 2000-2004 wykazano, że średnia zawartość Pb w wodzie przy powierzchni wynosiła $0,0032 \text{ mg Pb}\cdot\text{dm}^{-3}$ [17], a więc była zbliżona do otrzymanych wyników pochodzących ze zbiorników wodnych zaliczonych do klasy I. Zaobserwowano tendencję do kumulacji pierwiastka jedynie w zbiornikach zlokalizowanych na obszarach z przekroczoną normą Pb w glebie [10].

Zawartość Pb w niezanieczyszczonych osadach nie przekracza na ogół $50 \text{ mg Pb}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. [6]. Powyżej tej wartości znalazły się osady denne ze zbiorników wodnych parków położonych w centrum Wrocławia ze średnią koncentracją pierwiastka w zakresie $101\div 146,5 \text{ mg Pb}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. oraz z Parku Grabiszyńskiego - od $55,8$ do $306,3 \text{ mg Pb}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Pozostałe parkowe zbiorniki wodne posiadają osady kwalifikowane do I klasy czystości. Porównując do badań Licznara i Licznar [7], wykonanych w Parku Szczytnickim, wyniki koncentracji Pb w osadach dennych, uzyskane w badaniach własnych, były znacząco niższe ($p \leq 0,01$), co wskazywało na stopniowe samooczyszczanie się depozytu dennego z Pb. Proces ten może zachodzić poprzez wbudowywanie pierwiastka

w struktury roślinne i zwierzęce (sorpcja biologiczna). Nie obserwowano tego zjawiska w osadach pochodzących z Parku Grabiszyńskiego, którego zbiornik wodny jest przepływowo. Z tego powodu należy sądzić, że wymywanie wraz z przepływającą wodą nie zachodzi. Spowodowane to mogło być występowaniem wyższych stężeń Pb w samej dopływającej wodzie, co nie zostało przebadane i wymaga wyjaśnień.

Cynk

Pierwiastek w wodzie nie stanowił zagrożenia ekotoksykologicznego, a jego najwyższa zanotowana koncentracja - $0,1476 \text{ mg Zn} \cdot \text{dm}^{-3}$ w okresie jesiennym była prawie 7-krotnie mniejsza niż wartość maksymalna graniczna, tj. $1 \text{ mg Zn} \cdot \text{dm}^{-3}$ [5], oraz ponad 10 razy mniejsza niż zakres ustanowiony przez Szulkowską-Wojacek i współprac. [8].

Wody z przebadanych zbiorników zaliczono do I klasy stanu czystości wód [4, 5]. Jedynie w Parku Grabiszyńskim maksymalną wartość Zn określono na poziomie $0,147 \text{ mg Zn} \cdot \text{dm}^{-3}$, co przekraczało próg sprawnej regulacji oczyszczania wód [14]. Tendencję wzrostową koncentracji metalu zaobserwowano głównie w Parku Grabiszyńskim.

Naturalna zawartość Zn w osadach plasuje się na poziomie $73 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. [10]. W przebadanych parkach miejskich największe stężenia mikroelementu miały osady pochodzące ze zbiornika wodnego Parku Szczytnickiego (max - $765 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w okresie wiosennym oraz z Parku Grabiszyńskiego we wszystkich sezonach (od $453,2$ do $1313,7 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.). Stwierdzone w badanych osadach dennych koncentracje Zn były znacząco wyższe ($p \leq 0,01$) od uzyskanych przez innych autorów [7, 10]. Duża koncentracja Zn w Parku Grabiszyńskim była związana z działalnością galwanizacyjną zakładów przemysłowych zlokalizowanych w strefie występowania parku.

Podsumowanie

W przebadanych zbiornikach wodnych parków wrocławskich największym zagrożeniem były cynk, miedź i ołów. Dotyczyło to zarówno wód, jak i depozytu dennego.

Zawartość badanych metali (poza Pb) w wodzie i osadach można uszeregować podobnie: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cd}$, natomiast proporcjonalnie więcej ołowiu skumulowały osady.

Największe koncentracje badanych metali zanotowano w przemysłowym rejonie miasta - Wrocław Fabryczna oraz w Śródmieściu. Szczególnie wysokie zawartości pierwiastków wykazują wody i osady denne zbiornika położonego w parkach Grabiszyńskim i Szczytnickim.

Koncentracje toksycznych metali można obniżyć poprzez renaturyzację zbiorników i wydobycie z nich szkodliwych osadów dennych (metoda pracochłonna i kosztochłonna). Uzasadnione wydaje się także wprowadzanie do zieleńców miejskich nasadzeń w obrębie zbiorników wodnych i eliminowanie tym sposobem metali ze zbiorników szczególnie narażonych na ich podwyższone stężenia.

Literatura

- [1] Mikulski J.: Biologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa 1982.
- [2] Gomółka E. i Szaynok A.: Chemia wody i powietrza. Wyd. Polit. Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [3] Chelmiński W.: Woda, zasoby, degradacja, ochrona. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2002.

- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. DzU 2004.32.284.
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych. DzU 2008.162.1008.
- [6] Bojakowska I. i Sokołowska G.: *Przeł. Geol.*, 1998, **46**(1), 45-51.
- [7] Licznar S.E. i Licznar M.: *Roczn. Glebozn.*, 2005, **56**, 234-239.
- [8] Szulkowska-Wojaczek E., Marek J., Dobicki W. i Polechoński R.: *Zesz. Nauk. AR Wrocław. Zootechn.*, 1992, **LVII**, 231-238.
- [9] Kowalska-Górska M., Dobicki W., Senze M. i Jastrzemska M.: *Materiał niepublikowany. Uniwer. Przyrodn. we Wrocławiu, Wrocław 2009.*
- [10] Lis J. i Pasieczna A.: *Atlas Geochemiczny Górnego Śląska w skali 1:200000. Państw. Inst. Geol., Warszawa 1995.*
- [11] Karczewska A., Kabała C. i Avenarius K.: *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 2000, 471, **2**, 981-988.
- [12] Baraniecki L., Bieroński J., Kuźniewski E. i Pawlak W.: *Mapa Sozologiczna Polski w skali 1:50000 arkusz M-33-34-D Wrocław-Zachód. Wyd. WODGiK, Wrocław 2006.*
- [13] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu. *Stan środowiska w województwie dolnośląskim w 2008 roku. Wyd. WIOŚ, Wrocław 2008.*
- [14] Dojlido J.: *Chemia wód powierzchniowych. Wyd. Ekonomia i Środowisko. Białystok 1995.*
- [15] Kozubek M. i Marek J.: *Zesz. Nauk. AR Wrocław. Zootechn.*, 2002, **XXXIV**, 108-114.
- [16] Kabata-Pendias A. i Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1999.*
- [17] Antonowicz J., Mudryk Z., Trojanowski J. i Dwulit M.: *Ecol. Chem. Eng.*, 2008, **15**(9), 873-879.

LOCALISATION EFFECT OF SMALL WATER RESERVOIRS ON HEAVY METAL CUMULATION DEGREE IN BOTTOM SEDIMENTS

¹ Department of Hydrobiology and Aquaculture, Institute of Biology
Wrocław University of Environmental and Life Sciences
² Department of Environmental Hygiene and Animal Welfare
Wrocław University of Environmental and Life Sciences

Abstract: Pollutions (heavy metals and toxic organic compounds with low solubility and low degradation degree) are retained in the bottom sediments in the final stage of migration in the water environment. The content of toxic elements in sediments is an important indicator of the ecological status of aquatic environment. It also shows the degree of antropopression on the urban nature elements. A high concentration of zinc, copper and lead noticed in water and bottom sediments of small water reservoirs in urban parks in Wrocław. The highest values of toxic elements showed the water reservoirs located in industrial district of city. The concentration of heavy metals in water are ordered as follows: Zn>Cu>Pb>Ni>Cd, while in sediments - Zn>Pb>Cu>Ni>Cd.

Keywords: water, bottom sediments, urban parks, heavy metals, Wrocław