

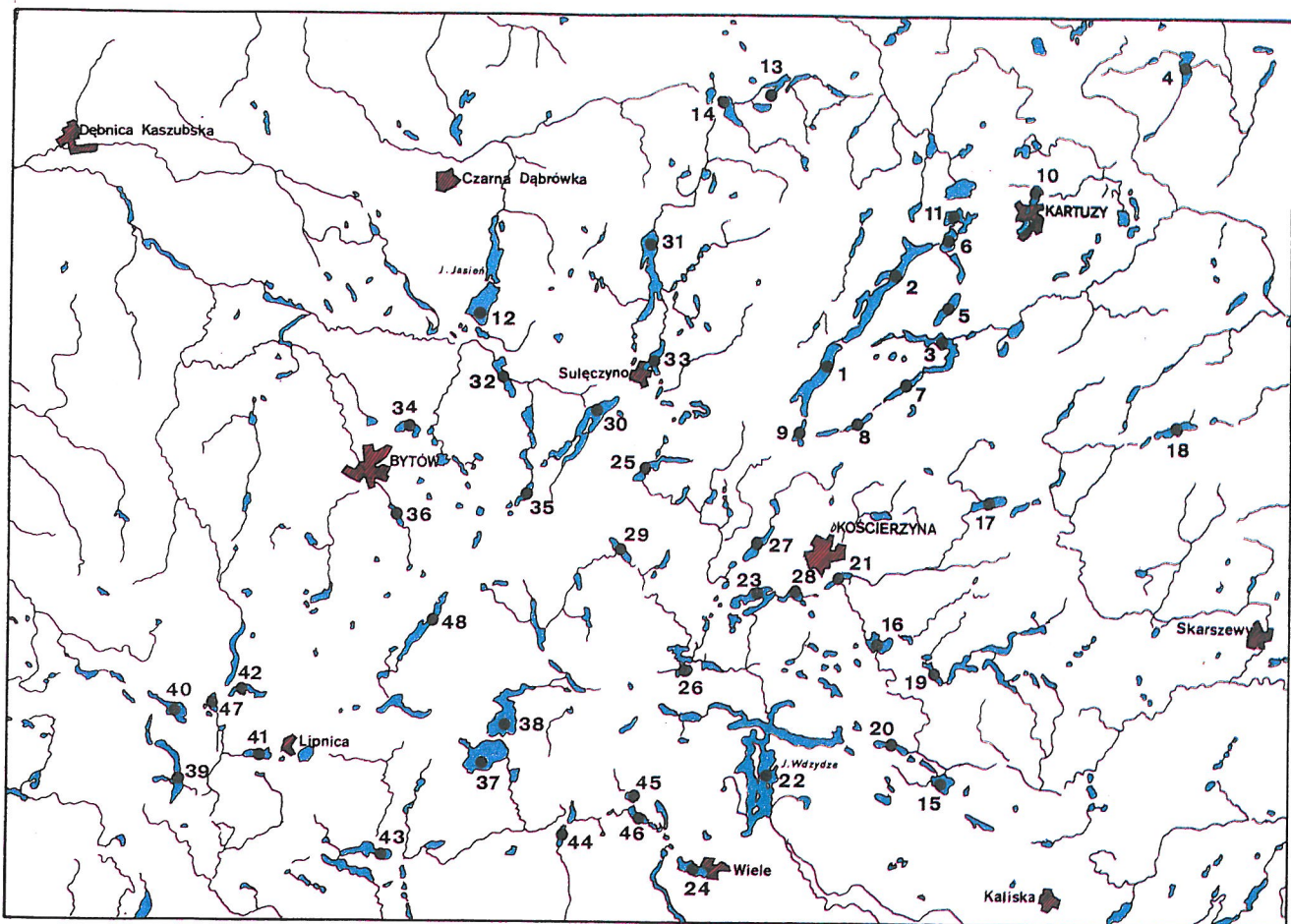
# Metale ciężkie w osadach jezior Pojezierza Kaszubskiego

Izabela Bojakowska\*, Gertruda Sokołowska\*

Pojezierze Kaszubskie znajduje się we wschodniej części depresji perybałtyckiej. Cały obszar jest przykryty utworami czwartorzędowymi, głównie pochodzenia lodowcowego i wodnolodowcowego (gliny, piaski, żwiry, mułki, ropy i gazy narzutowe) przy znikomym udziale utworów holoceniowych (osady jeziorne, aluwia rzeczne, deluwia stokowe, torfy). Miąższość tych utworów wynosi 200 m (Piotrowska & Kadulski, 1985). Teren ten charakteryzuje urozmaicone ukształtowanie powierzchni i bogactwo form geomorfologicznych, związane z bardzo zróżnicowanymi stosunkami hipsometrycznymi, będącymi wynikiem działalności zlodowaceń. W środkowej części Pojezierza Kaszubskiego znajdują się Wzgórze Szymbarskie będące obszarem źródłiskowym rzek Przymorza: Redy, Łeby, Łupawy i Słupi oraz Wdy, Wierzycy, Brdy i Motławy z Radunią, uchodzących do Wisły. Obszar Pojezierza Kaszubskiego porożniany jest licznymi rynnami, wyżłobionymi przez wody spływające z topniejącego lądododu. Sieć rynien jest najbogatsza w środkowej części regionu, gdzie łączna ich długość wynosi 306 km (Augustowski, 1979). Obecnie w rynnach tych znajdują się wąskie rzeki i przepływy jeziora. Większość rzek pojezierza to ciekły niewielkie, płynące najczęściej korytami wciętymi na kilka metrów w osady morenowe, tworzące często malownicze wąwozy o wysokich, urwistych brzegach. Ukształtowanie terenu pojezierza wzbogaca liczne zagłębienia terenu — wytopiska, powstałe podczas wytapiania brył martwego lodu. Powierzchnia i głębokość wytopisk jest na ogół niewielka, a otaczające je zbocza niezbyt

strome. W zagłębieniach tych znajdują się oczka wodne, zarastające jeziora i torfowiska. W części południowo-zachodniej pojezierza, do obszaru moreny czołowej przylegają obszary równin fluwioglacjalnych z rozległymi piaszczystymi sandrami. Obszary te cechuje dosyć spokojne ukształtowanie powierzchni i niewielkie różnice w wysokościach względnych. Jeziora Pojezierza Kaszubskiego są znacznie zróżnicowane pod względem wielkości. Dużych jezior jest zdecydowanie bardzo mało, przeważają małe jeziora i oczka, z których wiele jest bezodpływowych. Pojezierze Kaszubskie to jeden z nielicznych w kraju rezerwatów jeszcze czystej wody.

Region Pojezierza Kaszubskiego jest obszarem stosunkowo mało uprzemysłowionym. Większe miasta znajdujące się na tym terenie to Kartuzy, Kościerzyna, Skarszewy, Bytów. Jest to region ubogi w surowce, występują tu jedynie surowce mineralne — gliny, piaski, żwiry oraz utwory organogeniczne — kreda łąkowa i torf. Słabe gleby i surowy klimat nie stwarzają również dogodnych warunków do rozwoju rolnictwa. Na obszarze tym jest rozwinięty głównie przemysł spożywczy, drzewny i materiałów budowlanych; większe zakłady przemysłowe to: fabryka pomocy naukowych w Kartuzach, fabryki mebli w Gościnnie, Kościerzynie i Bytowie, zakłady meblarskie w Skarszewach, zakłady produkcji podkładów kolejowych w Pszczółkach, wytwórnia papieru w Łąpinie, zakłady porcelany stołowej w Lubianie k. Kościerzyny oraz zakłady metalowe w Kartuzach. Ze względu na charakter zago-



Ryc. 1. Lokalizacja opróbowanych jezior Pojezierza Kaszubskiego

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

Tab. 1. Spis opróbowanych jezior

	Jezioro	Powierzchnia, ha	Głębokość, m	Dorzecza
1	Raduńskie Dolne	737	35,4	Raduni–Motławy
2	Raduńskie Górne	388	32,0	
3	Ostrzckie	309	43,0	
4	Tuchomskie	145	8,0	
5	Brodno Wielkie	135	15,7	
6	Kłodno	128	38,5	
7	Patulskie	94	7,8	
8	Dąbrowskie	64	15,2	
9	Stężyckie	62	11,7	
10	Klasztorne	58	8,5	
11	Białe (Chmielno)	89,0	21,6	
12	Jasień	587	32,2	Łupawy
13	Białe (Kam.Królewska)	35,0		
14	Kamienieckie	138	4,8	
15	Krąg	148	2,0	
16	Zagnanie	143	19,5	Wierzycy
17	Grabowskie	141	28,1	
18	Przywidzkie	136	12,2	
19	Gatno	73	25,2	
20	Przywłoczno	70	10,9	
21	Wierzysko	58	7,6	
22	Wdzydze	1506	68,0	Wdy
23	Sudomie	174	13,0	
24	Wielewskie	156	19,5	
25	Sumino	152	15,9	
26	Bielawy	140	5,6	
27	Garczyn	114	13,4	
28	Osuszyno	80	16,6	
29	Lubiszewskie	79	7,0	
30	Mausz	460	45,5	
31	Gowidlińskie	401	8,2	
32	Żukowskie	128	5,7	
33	Węgorzyno	124	14,0	
34	Jeleń	89	33,2	
35	Glinowskie	60	21,0	
36	Mądrzechowskie	52	4,8	
37	Kruszyńskie	463	7,0	Brdy
38	Somińskie	436	14,0	
39	Gwiazdy	211	43,7	
40	Wiejskie	166	9,2	
41	Kiedrowickie	104	7,1	
42	Borzyszkowskie	104	31,0	
43	Laska	70	3,6	
44	Leśno Dolne	39,5	8,3	
45	Raduń	28,5	11,4	
46	Młosino	69	22,4	
47	Piaszno	67	24,3	
48	Stuzienniczno	64,2	19,9	

spodarowania tego obszaru ilość powstających ścieków, odpadów oraz wielkość emisji zanieczyszczeń do atmosfery jest niewielka, łączy się z tym także stosunkowo mała ilość uruchamianych do środowiska metali ciężkich.

Wprowadzane do środowiska metale ciężkie, w wyniku działalności gospodarczej człowieka, podlegają migracji, aż do miejsc, gdzie w sprzyjających warunkach następuje ich akumulacja (gleby, osady wodne). W rezultacie postępującego zanieczyszczenia środowiska wodnego, przede wszystkim wskutek odprowadzania ścieków, w mniejszym stopniu wpływu powierzchniowego zanieczyszczonej gleb oraz infiltracji ze składowisk odpadów, w wielu

jeziorach i rzekach współcześnie powstające osady dennie charakteryzują się podwyższonymi zawartościami metali ciężkich. Szczególnie wysokie stężenia niektórych metali ciężkich: As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, w aluwiach rzek i osadach jeziornych stwierdzone są często poniżej miejsc odprowadzania ścieków z eksploatacji i przeróbki rud metali kolorowych (Axtmann & Luoma, 1991; Borovec i in., 1993; Azcue & Nriagu, 1993; Palchen i in., 1991; Bojakowska, 1995).

Od 1990 r. w Państwowym Instytucie Geologicznym są prowadzone badania nad występowaniem metali ciężkich w osadach jezior Polski. Badania te są wykonywane na zlecenie Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. W 1993 r. do badań pobrano osady z jezior Pojezierza Kaszubskiego (ryc. 1).

### Zakres i metodyka badań

**Opróbowanie.** Próbkę osadów pobrano na głęboczkach z 48 jezior (tab. 1). W zlewni Raduni–Motławy opróbowano 11 jezior, w zlewni Łupawy — 3, w zlewni Wierzycy — 7, w zlewni Wdy — 8, w zlewni Słupi — 7, w zlewni Zbrzycy–Brdy — 11 i w zlewni Wieprzy — 1. Każda próbka osadów była uśrednioną próbką z trzech niezależnych pobrań z pojedynczego lub różnych głęboczków danego jeziora.

**Badania laboratoryjne.** Oznaczenia zawartości wybranych pierwiastków w osadach jeziornych wykonano w Centralnym Laboratorium Państwowego Instytutu Geologicznego. Próbkę osadów jeziornych, ze względu na wysokie zawartości substancji organicznej, ługowano kwasem azotowym w urządzeniu mikrofalowym. W uzyskanych roztworach oznaczono zawartości: arsenu, kadmu, kobaltu, chromu, miedzi, rtęci, niklu, ołowiu i cynku. W próbkach tych oznaczono ponadto zawartości wapnia, magnezu, żelaza, manganu, fosforu, siarki oraz węgla organicznego (metale ciężkie w osadach związane są najczęściej z uwodnionymi tlenkami Fe–Mn, węglanami Ca i Mg, fosforanami, siarczkami, substancją organiczną i minerałami ilastymi). Oznaczenia As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn oraz Ca, Mg, Fe, Mn, P i S wykonano metodą spektrometrii emisyjnej (ICP), oznaczenia zawartości Hg metodą spektrometrii absorpcyjnej techniką zimnych par (CV–AAS), oznaczenia C<sub>org</sub> zaś metodą kulometryczną.

### Wyniki i dyskusja

Parametry statystyczne (zawartość minimalna, maksymalna, średnia arytmetyczna, średnia geometryczna i mediana) badanych metali ciężkich w osadach jezior Pojezierza Kaszubskiego są zawarte w tab. 2. W badanych osadach arsen obecny był od ilości śladowych do 21,3 ppm, średnia geometryczna zawartość As r— 6,2 ppm była taka sama jak jego średnia geometryczna zawartość w osadach pobranych ze 101 jezior z obszaru całej Polski (Bojakowska i in., 1995). Są to stężenia wyższe w porównaniu do średniej zawartości arsenu w osadach wodnych Polski, wynoszącej ppm (Lis & Pasieczna, 1995). Najwyższe zawartości As stwierdzono w osadach jeziora Jasień (21,3 ppm) i Lubiszewskiego (20,1 ppm). Zawartości arsenu w osadach wykazują korelację z zawartością siarki (r = 0,720), żelaza (r = 0,419) i węgla organicznego (r = 0,417), przy poziomie istotności P = 95% i granicznej wartości r = 0,336. Związki arsenu (arseniany) tworzą z żelazem i fosforem trudno rozpuszczalne sole, które przechodzą do osadów dennych (Azcue & Nriagu, 1993). Arsen jest zatrzymywany w osadach także w wyniku sorpcji przez substancję organiczną, uwodnione tenki żelaza oraz minerały ilaste. Na terenach występowania rud darniowych i torfów stwierdzone są naturalnie podwyższone zawartości tego pierwiastka w osadach (Lis, Pasieczna, 1995; Bojakowska i in., 1995).

**Bar** w badanych osadach był wykrywany w ilościach od 40 do 380 ppm, zaś średnia geometryczna zawartość baru (97 ppm), podobnie jak arsenu, była wyższa od średniej geometrycznej zawartości tego pierwiastka w osadach jeziornych Polski — 63 ppm oraz osadach wodnych Polski — 52 ppm. Najwyższe zawartości Ba stwierdzono w jeziorach: Klasztorne (380 ppm), Mądrzechowskim (180 ppm), Gatnie i Glinowskim (170 ppm). Zawartości baru w badanych osadach jeziornych wykazują korelację z zawartościami fosforu (r = 0,796), magnezu (r = 0,640), żelaza (r = 0,518)

Tab. 2. Pomiary statystyczne badanych pierwiastków w osadach jezior Pojezierza Kaszubskiego

Pierwiastek	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Średnia arytmetyczna	Średnia geometryczna	Mediana
	ppm				
Arsen	1	21,3	7,3	6,2	6,6
Bar	40	380	108	97	100
Kadm	<0,5	2,4	0,7	0,6	<0,5
Chrom	2	45	18	15	17
Miedź	1	69	11	8	10
Kobalt	1	8	3	2	2
Rtęć	<0,05	0,52	0,06	<0,05	<0,05
Nikiel	1	24	7	6	6
Ołów	1	118	36	26	31
Wanad	5	49	22	19	21
Stront	10	254	103	81	103
Cynk	20	1070	126	94	102

i manganu (0,439). Łatwo uruchamiany w procesach wietrzenia, bar podlega szybkiemu wytrącaniu w postaci siarczanów i węglanów; jest on także silnie wiązany przez minerały ilaste, конкреcje żelazowo-manganowe i fosforanowe oraz związki siarki (Kabata-Pendias & Pendias, 1993).

**Kadm** w osadach jezior Pojezierza Kaszubskiego występował w niewielkich ilościach od 0,5 ppm do 2,4 ppm, przy średniej geometrycznej — 0,6 ppm. Podobne zawartości kadmu obserwowane są w osadach aluwialnych Polski oraz jezior z obszaru całej Polski. Naturalna zawartość kadmu w osadach na ogół nie przekracza 1 ppm. Zawartości wyższe od 1 ppm stwierdzono w jeziorze Borzyszkowskim (2,4 ppm), Glinowskim (1,2 ppm), Klasztornym (2,0 ppm), Młosino (1,4 ppm) oraz Wiejskim (1,6). Zawartości kadmu wykazują korelację z zawartościami fosforu ( $r = 0,580$ ). Na ogół podwyższone zawartości kadmu w osadach obserwowane są poniżej miejsc zrzutu ścieków przemysłu metalurgicznego i elektronicznego (pokrywanie wyrobów metalowych antykorozyjną ochronną powłoką kadmową), farbiarskiego oraz tworzyw sztucznych. Przyczyną zanieczyszczenia środowiska wodnego kadmem jest również spływ powierzchniowy z pól uprawnych (stosowanie nawozów fosforowych oraz nawozów wapniowo-magnezowych, produkowanych z odpadów z górnictwa i hutnictwa cynkowo-ołowiowego).

**Miedź** w osadach jezior Pojezierza Kaszubskiego występowała od ilości śladowych do 69 ppm; średnia geometryczna zawartość wynosiła 8 ppm i była zbliżona do średniej zawartości Cu w osadach jezior oraz aluwialnych z obszaru całej Polski, wynoszącej 7 ppm. Najwyższe zawartości miedzi stwierdzono w osadach jeziora Klasztornego (69 ppm) oraz Wierzyńsko (31 ppm). Zawartości Cu w osadach wykazują korelację z zawartościami fosforu ( $r = 0,901$ ), magnezu ( $r = 0,466$ ), żelaza ( $r = 0,396$ ) i siarki ( $r = 0,426$ ). W środowisku wodnym miedź najczęściej tworzy łatwo migrujące kompleksy z kwasami huminowymi i fulwowymi; jest ona jednocześnie silnie sorbowana przez składniki osadów. Na ogół wzrost zawartości miedzi w osadach wodnych jest obserwowany w sąsiedztwie miejsc zrzutu ścieków z przemysłu chemicznego, z galwanizacji, w których powłokami metalowymi pokrywane są wyroby mosiężne (armatura, nakrycia stołowe) oraz tuczarni trzody chlewnej.

**Chrom** w osadach badanych jezior kaszubskich był obecny w ilościach od 2 do 45 ppm, a jego średnia geometryczna zawartość wynosiła 15 ppm, podczas gdy dla 101 jezior z obszaru Polski — 9 ppm, dla aluwialnych Polski zaś — 6 ppm. Najwyższe zawartości Cr w osadach były obecne w jeziorze Klasztornym (45 ppm) i Przywidzkim (42 ppm). Stwierdzono korelację zawartości chromu ze stężeniem żelaza ( $r = 0,700$ ), magnezu ( $r = 0,835$ ) i fosforu ( $r = 0,532$ ). Chrom jest sorbowany przez składniki osadów takie jak minerały ilaste i uwodnione tlenki Fe–Mn. Najczęstszym źródłem zanieczyszczenia wód powierzchniowych i osadów chromem jest odprowadzanie ścieków z garbarni, w których są stosowane procesy garbowania chromowego lub chromowo-roślinnego oraz z galwanizacji.

**Kobalt** w osadach występował w niewielkim zakresie stężeń

(1–8 ppm, średnia geometryczna 2 ppm). Zawartości te są zbliżone do wartości tła geochemicznego kobaltu w osadach wodnych Polski, która wynosi 3 ppm.

**Rtęć** w osadach stwierdzono od zawartości niższych niż 0,05 ppm (granica oznaczalności) do 0,52 ppm, średnia geometryczna wynosiła 0,05 ppm. Rtęć w osadach obecna jest najczęściej w ilościach mniejszych niż 0,1 ppm. Najwyższe zawartości tego pierwiastka stwierdzono w osadach jeziora Klasztornego (0,52 ppm) i Wierzyńsko (0,30 ppm). Zawartość rtęci w osadach wykazuje bardzo wysoką korelację z zawartością fosforu ( $r = 0,857$ ) i niższą z siarką ( $r = 0,418$ ). Powszechnym antropogenicznym źródłem rtęci w środowisku jest jej emisja do atmosfery w wyniku spalania węgla. Wraz z opadami atmosferycznymi i spływem powierzchniowym przemieszcza się ona do wód powierzchniowych i podlega akumulacji w osadach dennych. Rtęć pochodząca może także ze ścieków z gospodarstw domowych (farby, lekarstwa, zbite termometry); podwyższoną zawartość Hg obserwuje się w osadach rzecznych poniżej miejsc odprowadzania ścieków komunalnych (Bojakowska, 1995). Wysoka zawartość rtęci wykrywana jest także w osadach cieków i zbiorników wodnych, do których odprowadzane są ścieki przemysłowe z produkcji tworzyw sztucznych, chloru i papieru (Cocking i in., 1991; Fujiki & Tajima, 1992; Wilken & Hintelmann, 1991; Gonzalez, 1991). Na przykład stosowanie związków metylortęci (składnik fungicydów) w przemyśle celulozowym przyczyniło się do zanieczyszczenia tym pierwiastkiem wielu jezior w Finlandii.

**Nikiel** notowano w osadach jeziornych w ilościach od 1 do 24 ppm, a jego średnia zawartość wynosiła 6 ppm, podobnie jak dla osadów jeziornych i aluwialnych z obszaru całej Polski. Naturalnie podwyższone zawartości niklu stwierdzane są w osadach wodnych w rejonach występowania skał metamorficznych i ultrazasadowych. Najwyższe zawartości niklu stwierdzono w osadach Jeziora Glinowskiego (24 ppm) i Klasztornego (20 ppm). Zawartości niklu w osadach wykazują korelację z zawartościami magnezu ( $r = 0,795$ ), żelaza ( $r = 0,590$ ), fosforu ( $r = 0,515$ ). W środowisku wodnym nikiel jest unieruchamiany przede wszystkim w wyniku sorpcji przez składniki osadów, szczególnie silną absorpcją tego pierwiastka charakteryzują się wodorotlenki żelaza i manganu. Przyczyną zanieczyszczenia środowiska wód powierzchniowych nikiem są nie tylko ścieki zrzucane z przemysłu metalurgicznego i elektronicznego oraz z produkcji akumulatorów i baterii niklowo-kadmowych, ale także ścieki z przemysłu mleczarskiego (nikiel jest stosowany jako katalizator kontaktowy w procesie utwardzania tłuszczów wodorem).

**Ołów** w badanych jeziorach stwierdzono w zakresie 2–118 ppm. Średnia jego zawartość wynosiła 26 ppm i była wyższa w porównaniu do zawartości Pb w osadach jezior z obszaru całej Polski — 21 ppm i aluwialnych — 15 ppm (Bojakowska i in., 1995; Lis & Pasieczna, 1995). Największe ilości ołowiu występowały w jeziorze Klasztornym (118 ppm) i Borzyszkowskim (102 ppm). Zawartości Pb w badanych osadach wykazują korelację z zawartościami fosforu ( $r = 0,684$ ) oraz węgla organicznego ( $r = 0,478$  ppm). Większość ołowiu wprowadzonego do wód powierzchniowych gromadzi się w osadach. W zatrzymywaniu ołowiu w osadach ważniejszą rolę odgrywają procesy sorpcji, w porównaniu do procesów wytrącania/współwytrącania (Davis & Galloway,

1993). Ważnym antropogenicznym źródłem ołowiu w wodach powierzchniowych i osadach — oprócz ścieków górniczych (eksploatacja rud Zn–Pb oraz polimetalicznych) i przemysłowych (produkcja akumulatorów, szkła ołowiowego, pigmentów, np. bieli ołowiowej, żółcieni chromowej) — jest spływ burzowy z terenów miast oraz spływ powierzchniowy z gruntów znajdujących się w pobliżu tras ruchu kołowego (emisja Pb do atmosfery w wyniku spalania benzyn).

**Wanad** w osadach występuje w stężeniach od 5 do 49 ppm, średnia geometryczna — 19 ppm; jest ona wysoka w stosunku do średniej zawartości tego pierwiastka w osadach wodnych Polski — 7 ppm (Lis & Psiecna, 1995). Najwyższe zawartości wanadu stwierdzono w osadach jezior: Przywidzkiego (49 ppm), Mądrzechowskiego (48 ppm) i Klasztornego (41 ppm). Stwierdzono wysokie korelacje wanadu z chromem ( $r = 0,947$ ), niklem ( $r = 0,881$ ), kobaltem ( $r = 0,823$ ), magnezem ( $r = 0,842$ ) i żelazem ( $r = 0,745$ ). Znaczące współczynniki korelacji wanadu z Fe i Mg w osadach jeziornych wskazują na jego naturalne pochodzenie z wietrzenia materiału skalnego przywleczonego przez lodowce.

**Stront** w badanych osadach był obecny w ilościach od 48–254 ppm, a jego średnia geometryczna zawartość wynosiła — 81 ppm i była znacznie wyższa od zawartości Sr w osadach wodnych Polski — 21 ppm (Lis & Psiecna, 1995). Największe ilości strontu występowały w osadach jeziora Krąg (254 ppm) i jeziora Laska (245 ppm). Stosunkowo wysoka zawartość strontu w osadach jeziornych jest związana z wysoką w nich zawartością wapnia, którego średnia geometryczna zawartość wynosiła — 8,38%; współczynnik korelacji Sr z Ca wynosi  $r = 0,882$ , stosunek Ca: Sr (0,003–0,005) zaś był taki sam jak w osadach rzecznych (Bojakowska i in. 1995).

**Cynk w osadach jeziornych występował w zakresie stężeń od 20 ppm do 1070 ppm**, a średnia zawartość wynosiła 94 ppm i była wyższa w porównaniu do zawartości Zn w osadach wodnych z obszaru całej Polski — 73 ppm (Lis & Psiecna, 1995). Najwyższe zawartości cynku stwierdzono w osadach Jeziora Klasztornego (1070 ppm) i Wierzyska (440 ppm). Zawartości Zn w osadach wykazują korelację z zawartościami fosforu ( $r = 0,923$ ). Zawarty w wodach cynk przechodzi do osadów dennych w wyniku sedymentacji zawieszin oraz sorpcji przez składniki osadów. Źródłem zanieczyszczenia środowiska wód powierzchniowych cynkiem, oprócz ścieków powstających podczas eksploatacji i wzbogacania rud cynku oraz ścieków odprowadzanych z przemysłu metalurgicznego i chemicznego, zwłaszcza z produkcji farb, są ścieki komunalne (korozja powszechnie używanych ocynkowanych rur wodociągowych).

W celu określenia czynników wywierających wpływ na zawartości metali ciężkich w badanych osadach jezior Pojezierza Kaszubskiego zastosowano analizę składowych głównych. Pierwszy czynnik, obejmujący Cr, Ni i V, a także Fe i Mg, jest związany z sedymentacją w jeziorach Pojezierza Kaszubskiego składników pochodzących z wietrzenia materiału skalnego przywleczonego przez lodowce. Tak więc obserwowane podwyższone zawartości wanadu, chromu i niklu w badanych osadach jeziornych mają charakter naturalny, litogeniczny. Czynniki — trzeci i czwarty, są związane z warunkami fizykochemicznymi panującymi na dnie jezior; czynnik trzeci łączy współwystępowanie wapnia i strontu z wytrącaniem i sedymentacją węglanu wapnia, zaś czynnik czwarty obejmujący występowanie w osadach arsenu, siarki i substancji organicznej, jest związany redukcyjnymi warunkami panującymi w głębozłakach jezior. Obserwowane w osadach

jeziornych podwyższone zawartości strontu i arsenu, w porównaniu do osadów aluwialnych, mają charakter naturalny i związane są z powstawaniem kredy jeziornej (stront) oraz gytii (arsen) na dnie jezior. Czynniki drugi, łączący występowanie w osadach jeziornych kadmu, miedzi, rtęci, fosforu i cynku, można tłumaczyć działalnością człowieka, powodującą uruchamianie tych pierwiastków do środowiska w wyniku odprowadzania ścieków, wysiewania nawozów, a także depozycji zanieczyszczeń atmosferycznych.

## Podsumowanie

Osady jezior Pojezierza Kaszubskiego charakteryzują się na ogół niskimi zawartościami badanych metali ciężkich: Cd, Cu, Cr, Co, Hg, Pb i Zn i są one w wielu jeziorach zbliżone do wartości tła geochemicznego. Osady jeziorne charakteryzują się naturalnie podwyższonymi zawartościami As w stosunku do osadów aluwialnych, związanymi z gromadzeniem się na dnie jezior osadów bogatych w substancję organiczną i siarczki (warunki redukcyjne).

Osady jezior Pojezierza Kaszubskiego zawierają także naturalnie podwyższone zawartości wanadu, chromu i niklu w porównaniu do osadów jezior z obszaru całego kraju. Analiza składowych głównych wykazała obecność czynnika łączącego współwystępowanie V, Cr, Ni, Fe i Mg, co wskazuje na pochodzenie tych pierwiastków z wietrzenia materiału skalnego znajdującego się na obszarze alimentacyjnym. Stwierdzono występowanie podwyższonych zawartości niektórych pierwiastków w osadach jeziora Klasztornego (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb i Zn) oraz osadach jeziora Wierzyska (Hg, Pb, Zn). Oba te jeziora znajdują się koło większych ośrodków miejskich, nad Jeziorem Klasztornym leżą Kartuzy, a jezioro Wierzysko znajduje się w pobliżu Kościerzyny. Obecność podwyższonych ilości kadmu i rtęci w osadach jezior Klasztornego i Wierzyska może przyczyniać się do wzrostu zawartości tych składników w tkankach ryb.

## Literatura

- AUGUSTOWSKI B. 1979 — Pojezierze Kaszubskie. Wyd. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
- AXTMANNE V. & LUOMA S. N. 1991 — Appl. Geochem., 6: 75–88.
- AZCUEJ. M. & NRIAGUJ. O. 1993 — Environ Intern., 19: 405–415.
- BOJAKOWSKA I. SOKOŁOWSKA G. & P. LEWANDOWSKI 1995 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. Maszyn. PIG.
- BOROVEC Z., TOLAR V. & MRAZ L. 1993 — Ambio, 22: 200–205.
- COCKING D., HAYES R., LOUKING M., ROHRER M., THOMAS R. & WARD D. 1991 — Water, Air, Soil Pollut., 57–58: 159–170.
- DAVIS A. & GALLOWAY J. 1993 — Appl. Geochem., 8: 51–65.
- FUJIKI M. & TAJIMA S. 1992 — Water Sci. Technol., 25: 133–140.
- GONZALEZ H. 1991 — Water, Air, Soil Pollut., 56: 83–93.
- KABATA-PENDIAS A. & PENDIAS H., 1993 — Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Polski 1 : 2 500 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PALCHEN W., RANK G., OSSENKOPF P., WUNSCH M. & HARPKE B. 1991 — Heavy metal contamination of stream sediments and soils in the mining district of Freiberg, Saxony (Germany). II Sym. Environmental Geochemistry, 16–19 September, Uppsala.
- PIOTROWSKA H. & KADULSKI S. 1985 — Pojezierze Kaszubskie. Wyd. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- WILKEN R. & HINTELMANN H. 1991 — Water, Air, Soil Pollut., 56: 427–437.