ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2008
Seria: GÓRNICTWO z. 285 Nr kol. 1780

Izabela BOJAKOWSKA, Olimpia KOZŁOWSKA, Tomasz GLIWICZ
Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa

CHARAKTERYSTYKA GEOCHEMICZNA OSADÓW WODNYCH SANU I JEGO DOPŁYWÓW – BADANIA MONITORINGOWE

Streszczenie. Badania osadów dennych Sanu i jego dopływów wykonywane są w ramach programu Państwowego Monitoringu Środowiska. W zlewni Sanu monitorowanych jest 14 punktów obserwacyjnych: 6 punktów znajduje się na Sanie – w Sanoku, Przemyślu, Nielepkowicach, Krzeszowie, Brandwicach i Wrzawach, a osiem punktów na dopływach – po jednym na Lubaczówce, Wiszni, Tanwi, Trzebośnicy, Wiarze oraz trzy punkty na Wisłoku. Prowadzone badania wykazały, że osady gromadzące się w Sanie i w większości jego dopływów są osadami niezanieczyszczonymi, które nie stanowią zagrożenia dla organizmów w nich bytujących. W osadach tych średnie zawartości As, Ba, Cd i Zn są niższe lub równe wartości ich tła geochemicznego, zaś Cr, Co, Cu, Mn, Mg, Ni i V są nieznacznie naturalnie podwyższone i są uwarunkowane litologią tego obszaru. Spośród sześciu dopływów Sanu jedynie osady gromadzące się w Wisłoku poniżej Rzeszowa są osadami zanieczyszczonymi przez Cd, Cu, Ni, Hg, Pb i Zn.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SEDIMENTS IN THE SAN RIVER AND ITS TRIBUTARIES

Summary. Studies of the bottom sediments of the San river and its tributaries (Poprad and Biała) are conducted within the project of the State Monitoring of the Environment. In the area of the San river and its tributaries, 14 observation points are localized. Six of them are on San in Sanok, Przemyśl, Nielepkowice, Krzeszów, Brandwice and Wrzawy. Eight points are situated on triburaries: three points are placed on the Wisłok river, five are localized near mouths of the Lubaczówka, Wisznia, Tanew, Trzebośnica and Wiar rivers. The observations have shown, that sediments of the San river and majority of the tributaries are unpolluted sediments and they do not create dangers for organisms living in them. Average As, Ba, Cd and Zn contents in the studied sediments are low and correspond to the values of their geochemical background. The average Cr, Co, Cu, Mn, Mg, Ni and V contents are naturally increased and dependent on the lithology of this area. From six tributaries of the San river

only sediments of the Wisłok river, below Rzeszów, are Cd, Cu, Ni, Hg, Pb and Zn polluted sediments.

1. Wstęp

Zanieczyszczenie współczesnych osadów wodnych stanowi jeden z ważniejszych problemów środowiskowych ze względu na ich potencjalnie szkodliwe oddziaływanie na zasoby biologiczne wód i często pośrednio na zdrowie człowieka. Ponadto część szkodliwych składników zawartych w osadach może ulegać ponownemu uruchomieniu do wód w efekcie procesów chemicznych i biochemicznych przebiegających w osadach, jak również na skutek naturalnego albo podczas transportu bądź bagrowania mechanicznego poruszenia wcześniej odłożonych zanieczyszczonych osadów [1, 2, 3]. A podczas powodzi zanieczyszczone osady mogą być przemieszczane na gleby tarasów zalewowych albo transportowane w dół rzek i odkładane w innych miejscach, gdzie uprzednio nie stwierdzano zanieczyszczeń [4, 5, 6, 7, 8]. Niebagatelny problemem stanowi także zagospodarowanie zanieczyszczonych osadów dennych w środowisku po wydobyciu ich ze zbiorników zaporowych, rzek, kanałów i portów. Na ogół wysokie stężenia pierwiastków śladowych obserwowane we współcześnie powstających osadach wodnych są przede wszystkim konsekwencją odprowadzania ścieków z wydobycia rud metali kolorowych, ich przeróbki i przetwarzania, ścieków z zakładów chemicznych (produkcja barwników, chloru, tworzyw sztucznych), metalowych i elektronicznych (galwanizernie), a także z garbarni, zakładów włókienniczych i ferm hodowlanych [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Zanieczyszczenia przedostają się do wód powierzchniowych również na skutek infiltracji odcieków ze składowisk i wylewisk oraz w efekcie spływu powierzchniowego z terenów zurbanizowanych, rolniczych oraz szlaków komunikacyjnych; źródłem ich jest także transport wodny i prace przeładunkowe w portach [15, 16, 17, 18, 19]. W zanieczyszczonych osadach dennych odnotowywane są najczęściej podwyższone stężenia metali mających obecnie lub w niedalekiej przeszłości szerokie zastosowanie w gospodarce. Do metali i metaloidów najczęściej przyczyniających się do zanieczyszczenia osadów i stanowiących największe zagrożenie dla biosfery należą: srebro, arsen, beryl, chrom, miedź, rtęć, nikiel, ołów, antymon, selen, tal i cynk [20].

San, prawobrzeżny dopływ Wisły, ma długość 443,4 km, powierzchnia jego zlewni wynosi 16 861 km² (14 390 km² w Polsce, 2 471 km² na Ukrainie). Źródła Sanu znajdują się

na terenie Ukrainy, na południowo-wschodnich zboczach Piniaszkowego w Bieszczadach Zachodnich, w pobliżu miejscowości Sianki. Na odcinku ok. 55 km San płynie wzdłuż granicy między Polską i Ukrainą. San przepływa przez Bieszczady (Beskidy Lesiste), gdzie tworzy malowniczy przełom pomiędzy Otrytem a Tołstą, następnie przepływa przez Pogórze Środkowobeskidzkie, oddzielając Pogórze Przemyskie i Pogórze Dynowskie, dalej płynie Kotliną Sandomierską i uchodzi do Wisły we Wrzawach na południe od Sandomierza. Średni roczny przepływ przy ujściu wynosi 124 m^3/s. Ważniejsze dopływy Sanu to: Wiar, Wisznia, Szkło, Lubaczówka, Wisłok, Trzebośnica i Tanew; najdłuższym dopływem Sanu jest Wisłok o długości 220 km i całkowitej powierzchni dorzecza 3540 km^2. Obszar zlewni Sanu jest zróżnicowany pod względem budowy geologicznej. Część północna stanowi obszar przynależny do Zapadliska Podkarpackiego. Obszar ten budują utwory trzeciorzędowe miocenu morskiego, na których zalegają utwory czwartorzędowe o zmiennej miąższości od 1m do kilkudziesięciu metrów. Południowa część zbudowana jest z utworów formacji fliszowej wieku kredowo-trzeciorzędowego. Zlewnia Sanu jest regionem rolniczo-przemysłowym. W zlewni rzeki znajdują się rozległe kompleksy leśne i duże powierzchnie obszarów przyrodniczych chronionych prawnie. Obszary chronione to w szczególności: Bieszczadzki Park Narodowy o powierzchni ponad 29,2 tys. ha oraz liczne parki krajobrazowe. Dominujące gałęzie przemysłu to przemysł elektromaszynowy, chemiczny i rolno-spożywczy. Do najważniejszych ośrodków przemysłowych, odgrywających dominującą rolę, zaliczyć należy: Rzeszów, Stalową Wolę, Krosno, Przemyśl, Sanok. Głównymi źródłami zanieczyszczenia Sanu są ścieki bytowo-przemysłowe z Leska (318hm^3), Sanoka (2 151hm^3), Przemyśla (4 344hm^3), Jarosławia (3 151hm^3), Leżajska (1 719hm^3), Nowej Sarzyny (425hm^3), Niska (1 768hm^3) i Stalowej Woli (4 441hm^3) oraz ścieki odprowadzane do Wisłoka z Rzeszowa (11 152hm^3 i Krosna (2 848hm^3). Rzeka w górnym odcinku prowadzi wody I klasy czystości, z biegiem rzeki następuje pogorszenie jakości wody, głównie z powodu wzrostu stężenia azotu azotanowego i fosforu ogólnego.

2. Zakres i metodyka badań

Badania osadów dennych rzek w Polsce wykonywane w ramach programu Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) mają na celu obserwację zawartości potencjalnie szkodliwych pierwiastków (arsen, bar, cynk, chrom, kadm, kobalt, miedź, nikiel, ołów, rtęć, srebro, stront i wanad) oraz trwałych zanieczyszczeń organicznych (wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, polichlorowanych bifenyli i pestycydów chloroorganicznych) w powstających współcześnie osadach w rzekach i jeziorach, a także obserwację ich zmian w czasie. Sieć monitoringu osadów rzecznych obejmuje 301 punktów obserwacyjnych, z których osiemdziesiąt jest badanych co roku, zaś pozostałe 221 – w cyklu trzyletnim. W zlewni Sanu zlokalizowanych jest 14 punktów obserwacyjnych: sześć punktów znajduje się na Sanie: w Sanoku (282 km biegu rzeki), Przemyślu (166 km), (Nielepkowicach (62 km), Krzeszowie (62 km), Brandwicach (23,5 km) i Wrzawach (4 km), a osiem punktów - na dopływach: Lubaczówce w Monasterzcu, Tanwi w Wólce Tanewskiej, Trzebośnicy w Sarzynie, Wiarze w Przemyślu oraz Wisłoku w Tryńczy (ujście), Odrzykoniu (poniżej Krosna) i Trzebownisku (poniżej Rzeszowa) (rys. 1). Próbki osadów rzecznych pobierane są do badań w okresie letnim w strefie brzegowej koryt rzecznych, spod wody, z przeciwnej strony do nurtu, w miejscach, gdzie następuje osadzanie się materiału zawiesinowego. Każda próbka jest uśrednioną próbką z czterech - pięciu pobrań na odcinku około 50 m.

W badaniach monitoringowych PMŚ wykorzystana jest frakcja ziarnowa <0,2 mm, bowiem skład chemiczny frakcji ziarnowej <0,2 mm bardzo dobrze odzwierciedla koncentrację pierwiastków śladowych występujących w skałach na obszarze zlewni danej rzeki lub jeziora i z tego względu została ona zastosowana przy opracowywaniu atlasów geochemicznych wielu krajów europejskich, w tym także Polski [21]. Ponadto w rezultacie odsiania grubszych frakcji odrzucane są pojedyncze okruchy ziaren minerałów (np. siarczków metali), szczątki roślin i zwierząt oraz zostają wyeliminowane materiały będące wytworami działalności człowieka (kawałki złomu metali, fragmenty żużlu, okruchy farb i lakierów, zestalone kawałki smoły lub asfaltu).

Rys. 1. Lokalizacja punktów obserwacyjnych
Fig. 1. The location of observation points

We wszystkich próbkach osadów wodnych badanych w ramach PMŚ określona jest zawartość dwudziestu pierwiastków. Oznaczenia zawartości Ag, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, P, Pb, S, Sr, V i Zn, po roztworzeniu próbek w wodzie królewskiej, wykonywane są za pomocą spektrometru emisyjnego ze wzbudzeniem plazmowym ICP JY70 Plus Geoplasma firmy Jobin-Yvon. Próbki osadów roztwarzane są wodą królewską, ponieważ dla oceny stanu zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi, interesująca jest tylko ta część ładunku pierwiastka, która łatwo podlega uruchomieniu do wód powierzchniowych. Mniej ważna jest zawartość pierwiastka związanego w minerałach odpornych na wietrzenie. Zawartość rtęci w badanych osadach określono metodą spektrometrii absorpcyjnej z próbki stałej na analizatorze AMA 254 firmy Altec, a zawartość węgla organicznego (TOC) - metodą kulometrycznego miareczkowania również z próbki stałej. Granice oznaczalności dla poszczególnych pierwiastków wynosiły: Ba, Cu, Cr, Co, Mn, Ni, Sr, V i Zn - 1 ppm, dla As i Pb - 5 ppm, Ag i Cd - 0,5 ppm i Hg, S i P - 0,005 ppm, Ca, Fe, Mg i TOC – 0,01%.

3. Wyniki i dyskusja

Spośród oznaczanych pierwiastków śladowych **arsen** występował w zakresie <5 - 10 mg/kg i najczęściej jego zawartość w badanych osadach była poniżej 5 mg/kg (93% zbadanych próbek) (tabl. 1).

Nieznacznie podwyższone zawartości arsenu w stosunku do wartości tła geochemicznego, odnotowywano w osadach gromadzących się przy ujściu Tanwi, Lubaczówki i Sanu.

Tablica 1

Parametry statystyczne wybranych pierwiastków

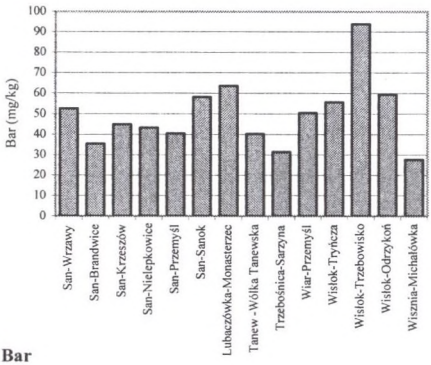
Pierwiastek	San					Dopływy				
	a*	b	c	d	e	a	b	c	d	e
	mg/kg									
Srebro	<0,5	<0,5				<0,5	<0,5			
Arsen	<5	10	<5	<5	<5	<5	8	<5	<5	<5
Bar	12	115	48	43	47	11	220	54	47	47
Chrom	3	31	9	8	8	1	57	12	8	10
Cynk	21	199	52	46	44	10	594	68	46	43
Kadm	<0,5	1,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,1	0,5	<0,5	<0,5
Kobalt	1	8	4	4	4	1	11	4	4	4
Miedź	2	48	11	9	10	1	154	15	8	9
Nikiel	5	28	13	12	12	2	54	14	11	11
Ołów	<5	27	9	7	8	<5	244	17	8	8
Rtęć	0,010	0,670	0,065	0,047	0,035	0,008	1,200	0,093	0,053	0,048
Stront	25	206	63	57	59	4	114	40	29	38
Wanad	3	31	10	9	9	1	44	10	8	9
Mangan	115	2020	650	552	526	119	2940	670	532	584
	%									
Fosfor	0,023	0,127	0,049	0,046	0,045	0,008	0,182	0,055	0,046	0,045
Magnez	0,31	0,90	0,48	0,46	0,44	0,03	1,07	0,38	0,27	0,38
Siarka	0,010	0,220	0,052	0,035	0,035	<0,005	0,260	0,042	0,028	0,024
Wapń	1,11	13,38	3,03	2,72	2,72	0,10	4,51	1,63	1,05	1,57
$Węgiel_{org.}$	0,13	2,68	0,77	0,61	0,61	0,08	3,26	0,81	0,60	0,60
Żelazo	0,43	2,66	1,01	0,94	0,89	0,18	2,79	1,05	0,91	1,01

a – zawartość minimalna, b – zawartość maksymalna, c – średnia, d – średnia geometryczna, e – mediana

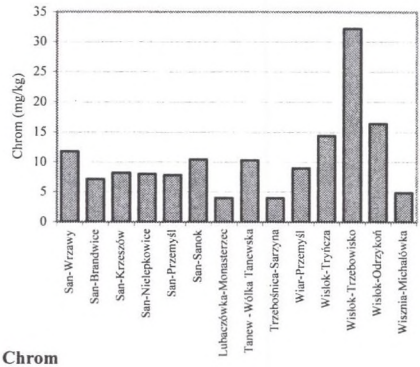
Bar obecny był w przedziale stężeń od 11 do 220 mg/kg, średnia zawartość baru w osadach była zbliżona do wartości tła geochemicznego tego pierwiastka (50 mg/kg). W osadach Sanu najwyższe jego zawartości stwierdzono w osadach pobieranych w Sanoku, a spośród dopływów w osadach Wisłoka w Trzebownisku (rys. 2). Najniższymi zawartościami tego pierwiastka charakteryzują się osady Wiszni. **Chrom** odnotowano w zakresie zawartości

od 1 do 57 mg/kg. Obliczone średnia, średnia geometryczna i mediana zawartości chromu w osadach Sanu były niższe od 10 mg/kg; nieznacznie wyższą średnią zawartość Cr charakteryzują się osady Sanu pobierane w Sanoku i przy jego ujściu do Wisły (rys. 2).

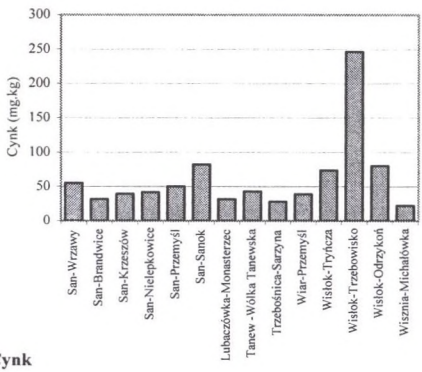
Wśród dopływów bardzo niskimi zawartościami Cr wyróżniają się osady Wiszni, Lubaczówki i Trzebośnicy; są one niższe od wartości tła geochemicznego tego pierwiastka (6 mg/kg). Osady Wisłoka charakteryzują się wyraźnie podwyższonymi zawartościami tego pierwiastka, zwłaszcza osady pobierane w Trzebownisku, poniżej Rzeszowa, gdzie średnia zawartość chromu w osadach wynosi 32 mg/kg. **Cynk** odnotowano w zakresie od 10 do 594 mg/kg. W większości monitorowanych lokalizacji zawartość cynku była niższa od 70 mg/kg (wartość tła geochemicznego dla osadów wodnych Polski) [21] lub nieznacznie tę wartość przekraczała (punkt obserwacyjny w Sanoku). Jedynie osady pobierane z Wisłoka w Trzebownisku charakteryzują się średnią zawartością cynku ponad trzykrotnie wyższą – 247 mg/kg. **Kadm** w osadach stwierdzono w przedziale stężeń od <0,5 do 4,1 mg/kg. W ponad 90% zbadanych próbek kadm obecny był w stężeniu poniżej limitu detekcji. Podwyższone zawartości kadmu odnotowywano w osadach Wisłoka pobieranych w Tryńczy, Odrzykoniu i Trzebownisku oraz w osadach gromadzących się przy ujściu Sanu. Podwyższona zawartość kadmu w osadach Wisłoka jest następstwem odprowadzania ścieków z Krosna i Rzeszowa. W osadach Sanu we Wrzawach może być ona spowodowana sprzyjającymi w tym miejscu warunkami do akumulacji Cd transportowanego przez wody rzeki (osady gromadzące się w rzece w tym miejscu charakteryzują się wysoką zawartością węgla organicznego i wapnia). Może być także skutkiem wnoszenia do przyujściowego odcinka Sanu zanieczyszczeń zawartych w wodach Wisły podczas jej wysokich stanów wód. **Kobalt** w osadach rzek stwierdzano w zakresie od 1 do 11 mg/kg. Średnie zawartości kobaltu w osadach są zbliżone do tła geochemicznego tego pierwiastka(3 mg/kg). **Miedź** w osadach występowała w przedziale stężeń od 1 do 154 mg/kg. Mimo że obliczona średnia zawartość miedzi w osadach Sanu wynosi 11 mg/kg, a w osadach dopływów 15 mg/kg, to wartości średniej geometrycznej i mediany wyznaczone dla osadów Sanu i jego dopływów są niższe i zbliżone oraz są nieznacznie wyższe od wartości tła geochemicznego tego pierwiastka (7 mg/kg).



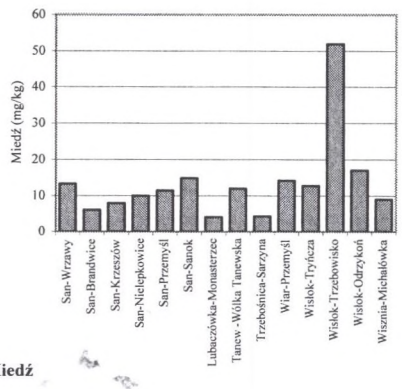
Bar



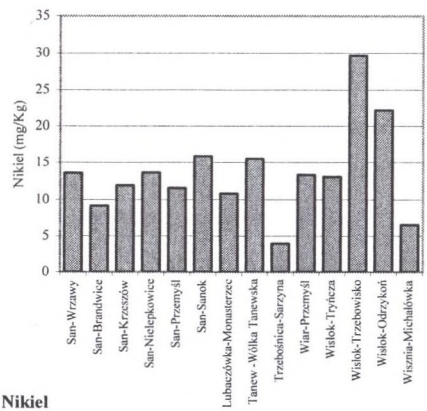
Chrom



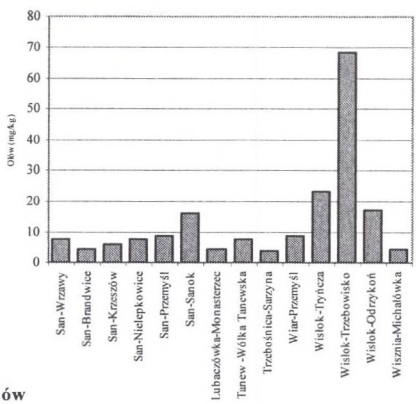
Cynk



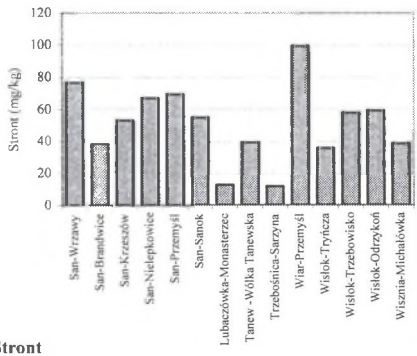
Miedź



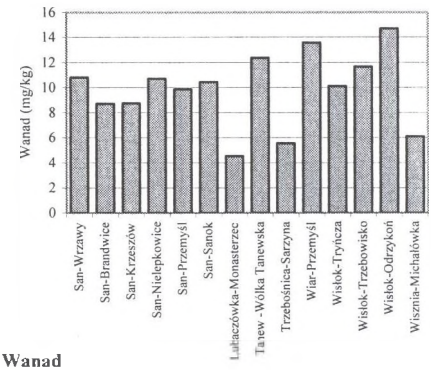
Nikiel



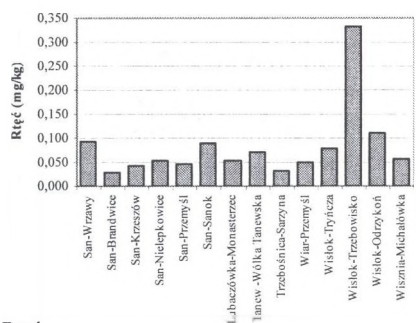
Ołów



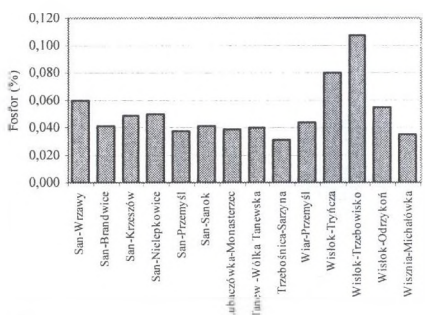
Stront



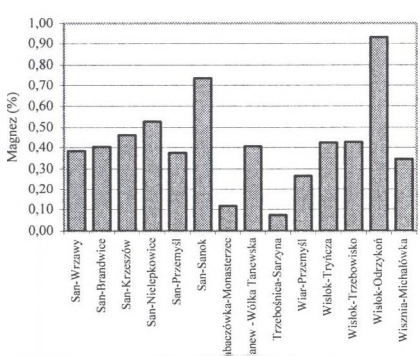
Wanad



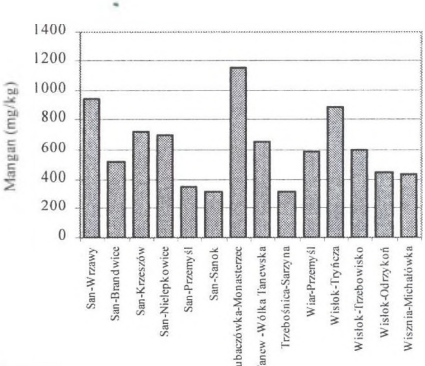
Rtęć



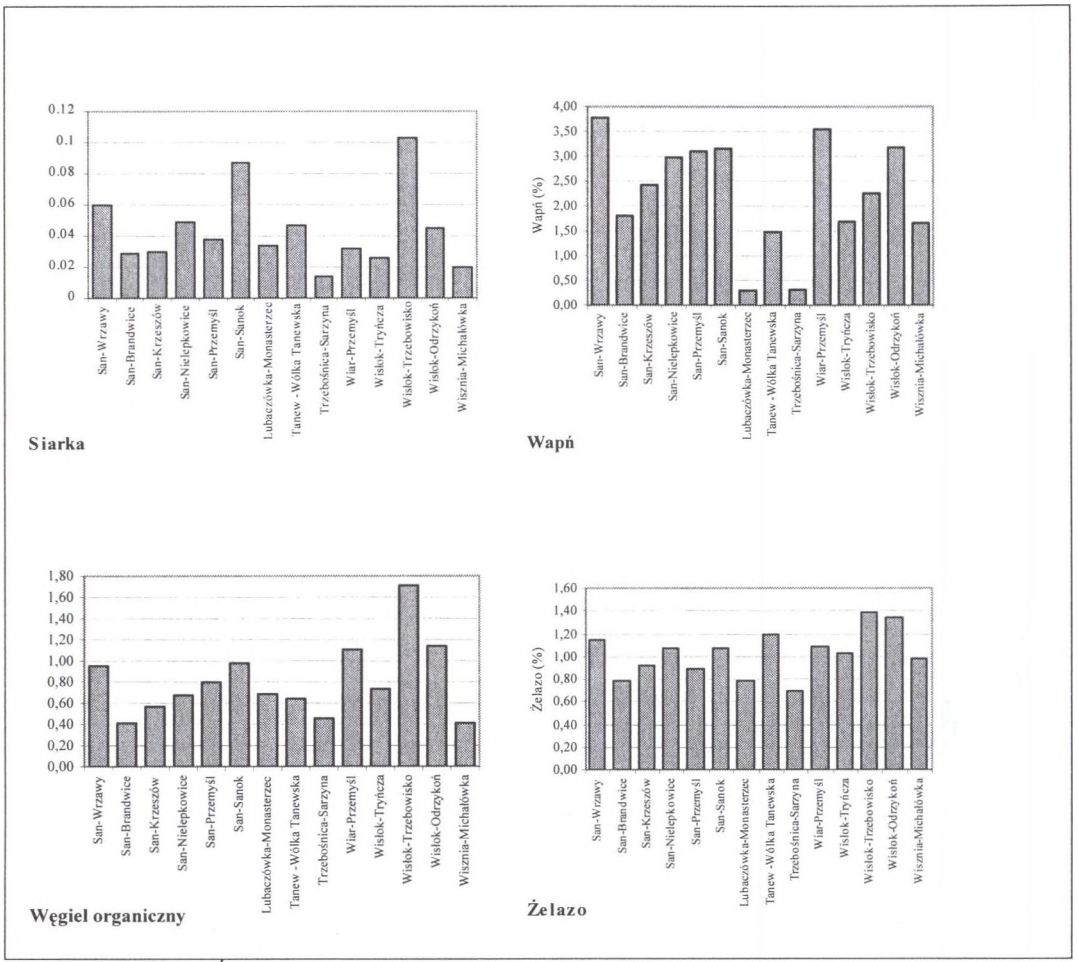
Fosfor



Magnez



Mangan



Rys. 2. Średnie zawartości pierwiastków w osadach Sanu i jego dopływów
Fig. 2. The mean trace elements contents in Sun s river sediments and their tributaries

Spośród monitorowanych lokalizacji wysoką średnią zawartością miedzi – 52 mg/kg - wyróżniają się osady pobierane z Wisłoka poniżej Rzeszowa w Trzebownisku, zaś najniższymi osady Lubaczówki i Trzebośnicy, charakteryzujące się zawartościami niższymi od wartości tła geochemicznego dla tego pierwiastka (rys. 2). **Nikiel** stwierdzono w zakresie zawartości od 2 do 54 mg/kg. Jego średnie zawartości w osadach Sanu jak i jego dopływów były bardzo zbliżone. Są one wyższe od średniej zawartości tego pierwiastka w osadach rzek Polski (6 mg/kg), co jest charakterystyczne dla rzecznych osadów na obszarze Karpat [21]. Zawartościami zbliżonymi do wartości tła geochemicznego Polski wyróżniają się osady Trzebośnicy i Wiszni, zaś średnia zawartość niklu w osadach Wisłoka w Trzebownisku – 30

mg/kg i Odrzykoniu – 22 mg/kg jest znacząco wyższa. **Ołów** w osadach odnotowano w przedziale stężeń <5 do 244 mg/kg. Podobnie jak w przypadku miedzi średnia zawartość ołowiu w osadach Sanu jest znacznie niższa niż w osadach jego dopływów, ale średnie geometryczne i mediana są bardzo zbliżone. Wysoką średnią zawartością ołowiu wyróżniają się osady Wisłoka w Trzebownisku – 68 mg/kg, zaś bardzo niskimi osady Lubaczówki, Trzebośnicy i Wiszni oraz Sanu w Brandwicach (rys. 2). **Rtęć** w osadach stwierdzono w zakresie od 0,01 do 1,20 mg/kg, jej średnia zawartość w osadach Wisłoka we wszystkich lokalizacjach oraz Sanu we Wrzawach i Sanoku była wyższa od wartości tła geochemicznego (<0,05 mg/kg). Zwraca uwagę, jak w przypadku innych pierwiastków śladowych, wielokrotnie wyższa średnia zawartość rtęci w osadach Wisłoka w Trzebownisku. W żadnej z badanych próbek osadów nie odnotowano zawartości **srebra** powyżej limitu detekcji. Stężenie **strontu** w osadach zmieniało się w przedziale od 4 do 206 mg/kg, jego średnie zawartości w osadach Sanu wahają się od 38 mg/kg (Brandwice) do 77 mg/kg (Wrzawy), a w osadach dopływów od 12 mg/kg (Trzebośnica, Lubaczówka) do 100 mg/kg (Wiar). Stężenie strontu w osadach jest silnie skorelowane z zawartością wapnia. **Wanad** w osadach występował od 1 do 44 mg/kg, jego średnie zawartości wynosiły od 4 mg/kg (Lubaczówka) do 15 mg/kg (Wisłok w Odrzykoniu). Podwyższone zawartości wanadu w osadach mogą być związane z podwyższoną zawartością tego pierwiastka w łupkach menilitowych.

Spośród oznaczanych pierwiastków głównych **fosfor** obecny był w zakresie od 0,008 do 0,127%, jego średnia zawartość w osadach w poszczególnych punktach obserwacyjnych wahała się od 0,031 do 0,108%. Najwyższe zawartości fosforu występowały w osadach Wisłoka w Trzebownisku i Tryńczy oraz Sanu we Wrzawach i były one wyże od średniej zawartości fosforu w osadach rzek Polski (0,064%). **Magnez** występował w zakresie stężeń od 0,03 do 1,07%, obliczone jego średnie zawartości w poszczególnych lokalizacjach zmieniały się w szerokim przedziale od 0,12% (Trzebośnica) do 0,93% (Wisłok w Trzebownisku). Obliczone średnie zawartości magnezu w osadach rzek, oprócz Trzebośnicy i Lubaczówki, są znacznie wyższe od średniej zawartości tego pierwiastka w osadach rzek Polski (0,11%). Trzy - czterokrotnie wyższe zawartości magnezu w osadach rzecznych są charakterystyczne dla obszaru Karpat [21]. **Mangan** stwierdzono w zakresie od 115 do 2940 mg/kg. Jego średnia zawartość, średnia geometryczna i mediana zarówno w osadach Sanu, jak i jego dopływów są około dwukrotnie wyższe od średniej zawartość manganu w osadach

rzek Polski wynoszącej 255 mg/kg [21]. Najwyższą średnią zawartością manganu charakteryzują się osady Lubaczówki. Zawartość **siarki** w osadach zmieniała się w zakresie od <0,005% do 0,220%, a jej średnie zawartości w większości lokalizacji były zbliżone do średniej jej zawartości w osadach rzek Polski (0,047%). Jedynie w osadach Sanu w Sanoku oraz Wisłoka w Trzebownisku średnie zawartości były znacząco wyższe (rys. 2). **Wapń** w osadach rzek zlewni Sanu obecny był w przedziale zawartości od 0,10 do 13,38%. Jego średnia, średnia geometryczna zawartość i mediana wyznaczone dla osadów Sanu były dwukrotnie wyższe niż dla osadów dopływów. Szczególnie niskimi zawartościami wapnia charakteryzują się osady Trzebośnicy i Lubaczówki. Poza tymi dwoma lokalizacjami osady rzeczne charakteryzują się stężeniami wapnia znacznie wyższymi niż ich średnia zawartość w osadach rzek Polski (0,84%). **Węgiel organiczny** odnotowano w zakresie od 0,08 do 3,26%, jego średnia zawartość w osadach Sanu i jego dopływach była zbliżona. Podwyższone zawartości $C_{org.}$ w osadach odnotowywane są w pobliżu miast i przy ujściu Sanu do Wisły. **Żelazo** stwierdzono w zakresie od 0,18 do 2,79%, średnia jego zawartość wynosi 1,04%, a średnie jego zawartości w poszczególnych lokalizacjach były w zakresie od 0,78% (Trzebośnica) do 1,40% (Wisłok w Trzebownisku).

Podsumowując można stwierdzić, że osady Sanu i większości jego dopływów, z wyjątkiem Wisłoka, charakteryzują się zawartością arsenu, baru i kadmu zbliżoną do wartości ich tła geochemicznego dla osadów wodnych, a zawartości cynku, ołowiu, siarki i fosforu są niższe od ich przeciętnej zawartości w osadach rzek Polski. Zaobserwowane dla chromu, kobaltu, magnezu, manganu, miedzi, niklu, rtęci, wanadu, wapnia i żelaza nieznacznie wyższe średnie zawartości, w porównaniu do przeciętnej ich zawartości w osadach rzek Polski, mają charakter geogeniczny; są uwarunkowane budową geologiczną zlewni Sanu. Zaobserwowano, że spośród sześciu monitorowanych dopływów Sanu jedynie osady gromadzące się w dolnym odcinku Wisłoka, zwłaszcza poniżej Rzeszowa, są osadami zanieczyszczonymi cynkiem, kadmem, miedzią, niklem, ołowiem i rtęcią, zanieczyszczeniami najczęściej wprowadzanymi do środowiska przez duże ośrodki przemysłowo-miejskie. Stwierdzono, że stężenia pierwiastków śladowych występujące w osadach Sanu i jego dopływów, za wyjątkiem dolnego odcinka Wisłoka, są znacznie niższe od stężeń, przy których można obserwować szkodliwe oddziaływanie tych pierwiastków na organizmy bytujące w rzekach. Na podstawie prowadzonych badań można przyjąć, że osady gromadzące

się w Sanie oraz Wiarze, Lubaczówce, Trzebośnicy, Wiszni i Tanwi są osadami niezanieczyszczonymi, które nie stanowią zagrożenia dla organizmów w nich bytujących.

4. Wnioski

1. Stwierdzono, że stężenie pierwiastków śladowych w osadach w większości omawianych lokalizacji uwarunkowane jest litologią zlewni Sanu.

2. Zaobserwowano, że osady gromadzące się w Sanie oraz Wiarze, Lubaczówce, Trzebośnicy, Wiszni i Tanwi są osadami niezanieczyszczonymi, które nie stanowią zagrożenia dla organizmów w nich bytujących.

3. Odnotowano, że spośród sześciu monitorowanych dopływów Sanu jedynie osady gromadzące się w dolnym odcinku Wisłoku, poniżej Rzeszowa są osadami zanieczyszczonymi Cd, Cu, Ni, Hg, Pb i Zn.

BIBLIOGRAFIA

1. Bordas F., Bourg A.: Effect of solid/liquid ratio on the remobilization of Cu, Pb, Cd and Zn from polluted river sediment. Water, Air, and Soil Pollution 128: 391-400, 2001.
2. Moore J, Landrigan E.: Mobilization of metal contaminated sediment by ice-jam floods. Environmental Geology 37 (1): 96-101. 1999.
3. Bourg A., Loch J.: Mobilization of heavy metals as affected by pH and redox conditions. In: Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments. p. 87- 102 Springer, 1995.
4. Gocht T., Moldenhauer K, Püttmann W.: Historical record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and heavy metals in floodplain sediments from the Rhine River (hessisches Ried, Germany). App. Geochem. 16: 1707-1721, 2001.
5. Gabler H., Schneider J.: Assessment of heavy metal contamination of floodplain soils due to mining and mineral processing in the Harz Mountains, Germany. Environmental Geology 39 (7): 774-781, 2000.
6. Weng H., Chen X.: Impact of polluted canal water on adjacent soil and groundwater systems. Environmental Geology 39 (8): 945-950, 2000.
7. Bojakowska I., Sokołowska G., Lewandowski P: Metale ciężkie w glebach tarasów zalewowych Pisi. Prz. Geol. 44 (1), 75, 1996.
8. Bojakowska I., Sokołowska G.: Heavy metals in the Bystrzyca river flood plain. Geolog. Quart. 40 (3): 467-480, 1995.

9. Lindstrom M.: Mercury in sediment and fish communities of lake Vanern, Sweden: recovery from contamination. Ambio 30 (8): 538-544, 2001
10. Lindström M.: Urban land use influences on heavy metal fluxes and surface sediment concentrations of small lakes. Water, Air & Soil Pollution, 126 (3-4): 363 – 383, 2001.
11. Marques M., Martinez-code E., Rovira J & Ordonez S.: Heavy metals pollution of aquatic ecosystems in the vicinity of a recently closed underground lead-zinc mine (Basque Country, Spain. Environmental Geology 40: 1125-1137, 2001.
12. Donahue R., Hendry M., Landine P.: Distribution of arsenic and nickel in uranium mill tailings. Applied Geochemistry 15: 1097-1119, 2000.
13. Biester H., Gosar M., Muller G. : Mercury speciation in tailings of the Idrija mercury mine. Journal of Geochemical Exploration, 65: 195-204, 1999.
14. Mangani G., Berloni A., Belluci F., Tatano F., Maione M.: Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters. Water, Air, and Soil Pollution 160: 213-228. 2005.
15. Reiss D, Rihm B., Thöni C., Faller M.: Mapping stock at risk and release of zinc and copper in Switzerland – dose response functions for runoff rates derived from corrosion rate date. Water, Air, and Soil Pollution 159: 101-113. 2004.
16. Birch G., Siaka M. & Owens C.: The source of anthropogenic heavy metals in fluvial sediments of a rural catchment: Coxes River, Australia. Water, Air & Soil Pollution, 126 (1-2): 13 – 35, 2001.
17. Brack K., Johannesson L. & Stevens R.: Accumulation rates and mass calculations of Zn and Hg in recent sediments, Göta älv estuary, Sweden. Environmental Geology 40: 1232-1241, 2001.
18. Mecray E. L., King J. W., Appleby P. G., Hunt A. S.: Historical trace metal accumulation in the sediments of an urbanized region of the Lake Champlain Watershed, Burlington, Vermont. Water, Air & Soil Pollution 125 (1-4): 201 – 230, 2001.
19. Sparks D.: Toxic metals in the environment: the role of surfaces. Elements 1 (4): 193-197, 2005.
20. Lis J., Pasieczna A.: Atlas geochemiczny Polski w skali 1:2 500 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa, 1995.

Recenzent: Dr hab. inż. Anna Patrzałek
Profesor Politechniki Śl.