

Metale ciężkie w różnowiekowych osadach aluwialnych Bzury

Gertruda Sokołowska*, Piotr Szwarczewski**

Bzura prowadzi swe wody poprzez tereny trzech województw: łódzkiego, płockiego i skierniewickiego. Duże skupienie miast oraz ponad stuletnia działalność przemysłu wpłynęły na znaczne zmiany środowiska przyrodniczego na tym obszarze, a przede wszystkim na ogromne zanieczyszczenie wód powierzchniowych. Zarówno wody Bzury, jak i większości jej dopływów są nadmiernie zanieczyszczone i według klasyfikacji fizyczno-chemicznej nie odpowiadają normom czystości. Głównym źródłem zanieczyszczenia Bzury są przede wszystkim wprowadzane do niej ze Zgierza nie oczyszczone ścieki komunalne i przemysłowe z zakładów przemysłu włókienniczego, metalowego, maszynowego, chemicznego, produkujących m.in. tkaniny, barwniki, wyroby metalowe i tworzywa sztuczne. Źródłem zanieczyszczenia rzeki są również wysypiska komunalne, wysypiska i wylewiska przemysłowe usytuowane w dolinie rzeki (Królikowski & Twarogowski, 1992), a także spływ powierzchniowy. Zanieczyszczone wody powierzchniowe podlegają procesom samooczyszczania, w wyniku których następuje naturalne obniżenie stężenia zanieczyszczeń. Większość metali ciężkich nie utrzymuje się długo w formie rozpuszczonej w środowisku wodnym; ulegają one wytrąceniu i współwytrąceniu, a także są sorbowane przez nieorganiczne i organiczne składniki osadów. Stężenie metali ciężkich w osadach dennych jest bardzo dobrym wskaźnikiem zanieczyszczenia środowiska rzeczno-egzogenicznego, ze względu na znacznie wyższe ich koncentracje w osadach dennych niż w wodach (Förstner, 1989).

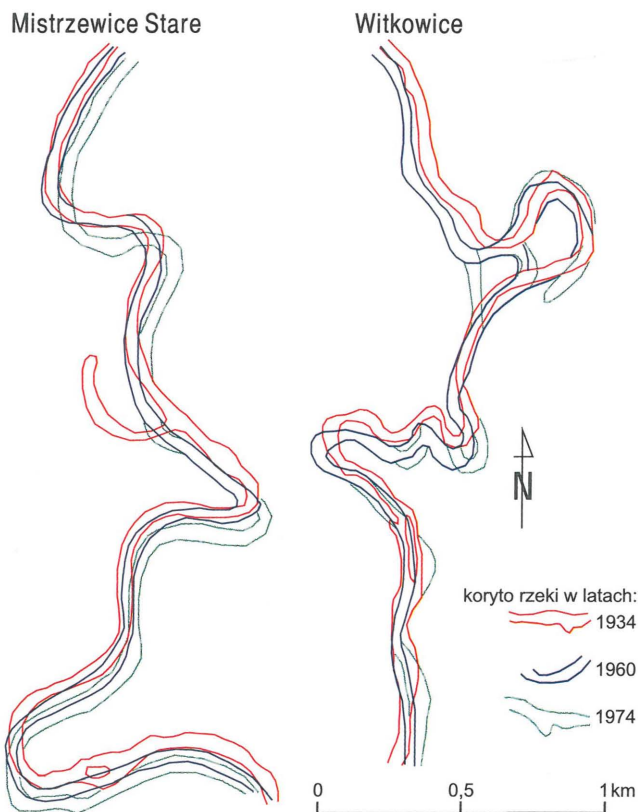
Badania geochemiczne współczesnych osadów aluwialnych są wykorzystywane na szeroką skalę przy ocenie wpływu działalności człowieka na środowisko, ponieważ oddają bardzo dobrze zakres zmian i często pozwalają zidentyfikować źródła pochodzenia zanieczyszczeń.

Systematyczne badania aluwiołów Bzury od kilku lat prowadzone w ramach monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski w punktach obserwacyjnych w Zgierzu, Ozorkowie, Łęczycy, Łowiczu, Sochaczewie i Przędzawicach, wskazują na utrzymywanie się w nich zanieczyszczenia metalami ciężkimi (Bojakowska i in. 1991; Bojakowska & Sokołowska, 1992, 1993, 1994; Bojakowska i in., 1995, 1996, 1997). Aluwia Bzury, akumulowane w latach 1995-1996, charakteryzują się podwyższoną zawartością wielu metali ciężkich, a szczególnie kadmu, chromu, miedzi, rtęci, ołowiu i cynku (Bojakowska, 1995; Sokołowska, 1996) i pomimo wyraźnego obniżenia ich zawartości, w porównaniu do wyników monitoringu z lat 1991-1994, są one znacznie wyższe od wartości tła geochemicznego tych pierwiastków występujących w osadach niezanieczyszczonych rzek Polski Środkowo-Wschodniej (Lis & Pasieczna, 1995). Skutki wieloletniego oddziaływania przemysłu na środowisko rze-

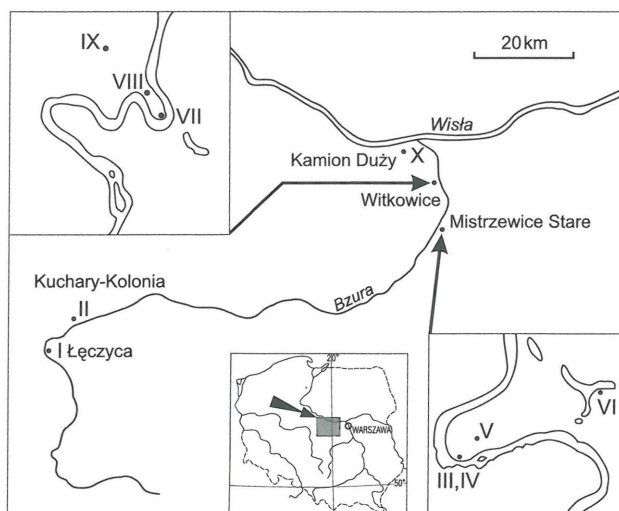
czne można prześledzić badając różnowiekowe osady aluwialne, powstałe w ostatnim stuleciu.

Zakres i metodyka badań

Przez porównanie map topograficznych z różnych lat, o tej samej skali i dokładności, można uzyskać informacje



Ryc. 1. Zmiany koryta rzeki Bzury w latach 1934-1974



Ryc. 2. Mapa lokalizacyjna punktów opróbowania rzeki Bzury

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

**Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa, e-mail: szwarc@plearn.edu.pl

dotyczące tempa i charakteru zmian, którym ulegało koryto rzeki w czasie. Zakładając niezmiennie położenie na mapach pewnych wybranych elementów antropogenicznych (np. drogi, budowle), można łatwo odtworzyć zmiany położenia koryta w poszczególnych latach i prześledzić zachowanie się meandrów, a następnie stwierdzić czy koryto jest względnie stabilne, czy też stale przemieszcza się po dnie doliny. Wykorzystując trzy edycje map topograficznych w skali 1 : 25 000 z 1934, 1960 i 1974 r., wyznaczono odcinki Bzury, w których przekształcenia koryta były najbardziej intensywne. Na tych odcinkach rzeka charakteryzuje się zarówno biegiem meandrowym, jak i prostym, powstałym na skutek regulacji. Istnieją miejsca, gdzie meandry uległy nieraz znacznemu wydłużeniu i rozwinięciu i takie, gdzie po intensywnych opadach nastąpiło odcięcie szyi meandra i utworzyło się starorzecze. Przekształcenia koryta (migracja meandrów) zapisują się w postaci erozji brzegów wklęsłych i agradacji wypukłych oraz w nadbudowywaniu tarasów zalewowych. Obecność osadów korytowych, często daleko

od obecnego biegu rzeki, wskazuje na intensywne przeobrażenia, jakie zachodziły w korycie rzeki.

Do badań wybrano te miejsca, w których na mapach zaobserwowano systematyczne przemieszczanie się meandra związane z erozją brzegu wklęsłego i stałym nadbudowywaniem brzegu wypukłego (ryc. 1). Są to cztery odcinki rzeki w pobliżu następujących miejscowości: Łęczycy i Kuchar Kolonii (punktowy pobór próbek) oraz Mistrzewic Starych i Witkowic (przekroje prostopadłe do koryta), w których pobrano próbki w profilach z różnych poziomów genetycznych i wiekowych. W celu określenia tła geochemicznego pobrano również punktową próbkę ze starych osadów aluwialnych w okolicy Kamionu Dużego, w pobliżu ujścia Bzury do Wisły, w miejscu będącym poza wpływem zanieczyszczonych wód obu tych rzek. Łącznie pobrano 26 próbek aluwii w miejscach, których lokalizację przedstawia ryc. 2. Dla pełniejszej charakterystyki genetycznej badanych osadów rzecznych (czy osadzały się w korycie przy przeciętnych stanach wody, czy na równi zalewowej w czasie wezbrań), w próbkach pobranych w przekroju w Mistrzewicach Starych określono udział procentowy frakcji drobniejszej niż 0,1 mm, przesiewając je przez sito 0,1 mm.

Tab. 1. Zawartość oznaczonych pierwiastków w próbkach aluwii profili w Łęczycy (I) i Kucharach-Kolonii (II)

Pierwiastek	Łęczycza					Kuchary-Kolonia
	Symbol próbki					II-1
	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	
As (ppm)	<5	<5	7	<5	<5	
Ba (ppm)	48	33	153	23	23	180
Cd (ppm)	<0,5	<0,5	16,8	1,2	6	2,2
Cr (ppm)	6	7	277	30	16	27
Cu (ppm)	0,19	9	711	53	47	43
Hg (ppm)	0,19	<0,05	12,40	1,25	0,56	0,26
Pb (ppm)	47	8	191	74	596	47
Zn (ppm)	110	59	4180	596	466	303
Ca (%)	1,03	0,94	19,70	0,57	0,32	3,26
Fe (%)	0,50	0,61	0,82	0,45	0,23	2,40
S (%)	0,06	0,03	0,74	0,06	0,13	1,96
C _{org} (%)	3,72	0,92	4,29	0,81	0,24	14,7

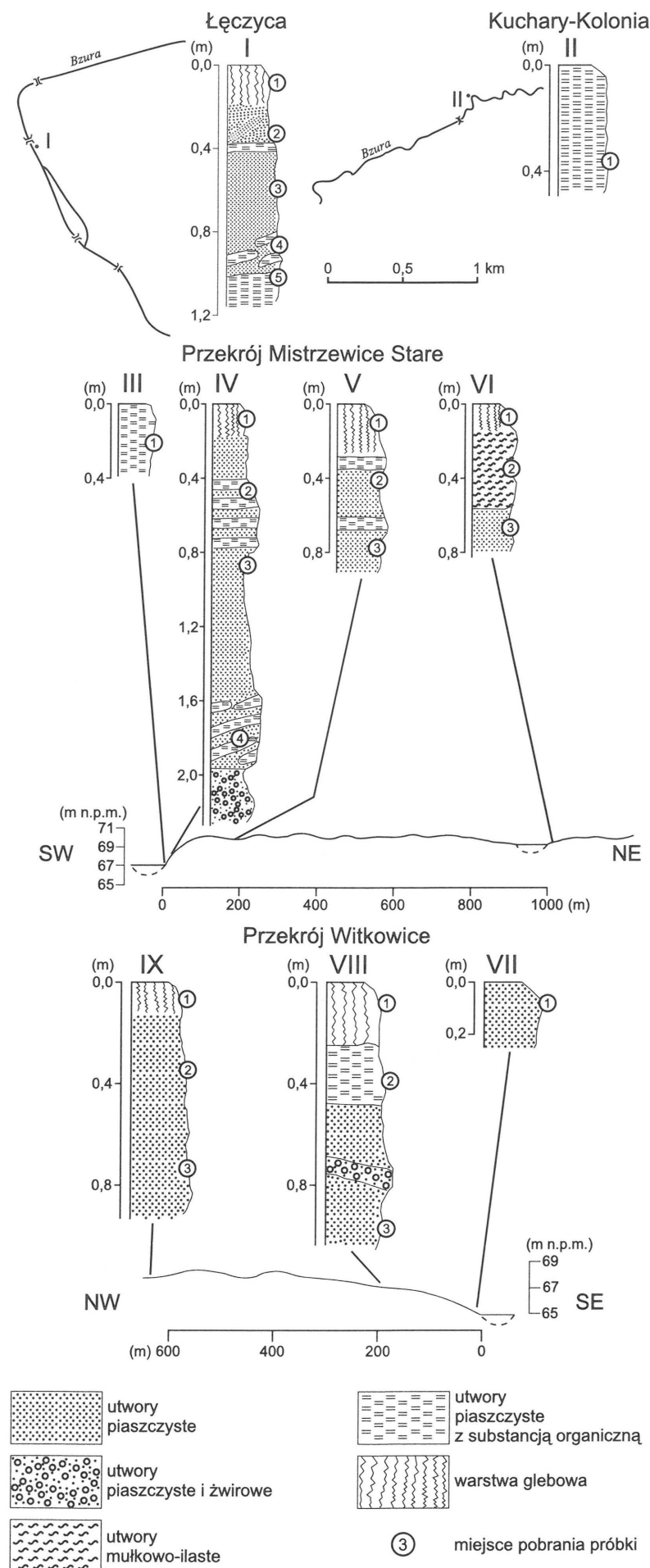
Przygotowanie próbek oraz badania analityczne zostały wykonane w Centralnym Laboratorium Chemicznym PiG. Próbkę, po przesianiu przez sito nylonowe ($\phi = 1$ mm), roztwarzano w wodzie królewskiej. Oznaczenia zawartości pierwiastków śladowych: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb i Zn, a także Ca, Fe, Mn i S we frakcji ziarnowej <1 mm wydzielonej z pobranych próbek, wykonano metodą spektralnej analizy

Tab. 2. Zawartość oznaczonych pierwiastków w próbkach aluwii z profili III, IV, V przekroju w Mistrzewicach Starych

Pierwiastek	Pierwiastek										
	III-1	IV-1	IV-2	IV-3	IV-4	V-1	V-2	V-3	VI-1	VI-2	VI-3
As (ppm)	14	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6	<5
Ba (ppm)	453	39	53	27	27	34	30	15	47	41	11
Cd (ppm)	18,6	3,8	8,1	1,2	2,0	2,6	2,7	<0,5	2,4	2,0	<0,5
Cr (ppm)	231	43	56	17	40	30	30	3	28	49	2
Cu (ppm)	205	42	42	9	23	21	20	3	29	17	1
Hg (ppm)	2,91	1,20	1,60	0,19	0,61	0,48	0,57	<0,05	0,54	0,07	<0,05
Pb (ppm)	163	40	61	19	40	30	33	3	27	25	<3
Zn (ppm)	1880	597	669	300	467	362	351	96	306	552	21
Ca (%)	0,99	0,60	0,25	0,26	0,20	0,28	0,27	0,06	0,24	0,45	0,12
Fe (%)	3,66	0,52	0,68	0,28	0,31	0,54	0,52	0,29	0,64	0,73	0,20
S (%)	0,38	0,06	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03	<0,01	0,04	0,12	0,01
C _{org} (%)	7,20	1,25	3,40	0,28	0,51	0,91	1,21	0,07	1,44	0,75	0,08

Tab. 3. Udział procentowy frakcji ziarnowej < 0,1 mm w próbkach aluwialnych z przekroju w Mistrzewicach Starych

ϕ mm	Symbol próbki									
	IV-1	IV-2	IV-3	IV-4	V-1	V-2	V-3	VI-1	VI-2	VI-3
<0,1 (%)	12,32	23,79	38,22	2,69	43,82	51,47	48,24	75,01	83,02	11,79



Ryc. 3. Profile aluwiów z Łęczycy, Kuchary-Kolonii, Mistrzewic Starych i Witkowiec

emisyjnej (ICP). Zawartość Hg w tych roztworach oznaczono metodą spektralnej analizy absorpcyjnej z zastosowaniem techniki zimnych par (CV-AAS), a C_{org} — metodą miareczkowania kulometrycznego.

Wyniki badań

Łęczycyca. W profilu I zlokalizowanym w Łęczycy (ryc. 3) stwierdzono wysoką zawartość badanych metali ciężkich (tab.1). Próbkę zostały pobrane z wkopu wykonanego w sąsiedztwie dawnego (nieczynnego od lat 80. koryta. Osady pochodzą z akumulacji w obrębie koryta i odsypu bocznego. Najwyższe ilości oznaczonych metali ciężkich — Cd, Cr, Cu, Hg, Pb i Zn obserwuje się w próbce I-3 pobranej z piaszczystej warstwy z głębokości 0,4–0,8 m. Wysoka zawartość Ca, a także obecność znacznych ilości węgla organicznego (tab. 1) w tej warstwie świadczą o tym, że podczas sedymentacji zaistniały warunki sprzyjające akumulacji metali ciężkich w osadach korytowych Bzury. Podwyższona zawartość tych pierwiastków występuje również w próbkach I-4 (warstwa piaszczysta z wkładkami substancji organicznej) i I-5 (warstwa piaszczysta bogata w substancję organiczną). W pozostałych próbkach tego profilu najniższa ilość metali ciężkich, zbliżona do tła geochemicznego, została odnotowana w próbce I-2 pobranej w warstwie piaszczystej z głębokości 0,4 m. W warstwie głebowej tego profilu (próbka I-1) zawartość Cu i Zn jest dwukrotnie, a Hg i Pb — wielokrotnie wyższa, niż w leżącej pod nią warstwie piaszczystej.

Kuchary Kolonia. W profilu II do badań pobrano osad z odsypu bocznego (z głębokości 0,4 m), znajdującego się przy starym, przedregulacyjnym korycie Bzury (Stara Bzura). Jego akumulacja nastąpiła najprawdopodobniej w latach 60 i 70. Próbkę pobrana z warstwy bogatej w substancję organiczną charakteryzuje się podwyższoną zawartością metali ciężkich (tab. 1, ryc. 3). Wysoka koncentracja takich pierwiastków, jak bar, arsen, żelazo, siarka oraz węgiel organiczny (tab. 1), może wskazywać na powstawanie tych osadów w warunkach ograniczonego dostępu tlenu.

Mistrzewice Stare. Wyniki oznaczeń zawartości badanych metali ciężkich w próbkach pobranych w przekroju w Mistrzewicach Starych zestawione są w tab. 2, a procentowy udział frakcji ziarnowej $<0,1$ przedstawiono w tab. 3. Najwyższa koncentracja badanych pierwiastków występuje w próbce III-1, pobranej najbliższej koryta z najmłodszego osadu nadbrzeżnego (ryc. 3). Oprócz wysokiej zawartości kadmu, chromu, miedzi, rtęci, ołowiu i

Tab. 4. Zawartość oznaczonych pierwiastków w próbkach aluwii z profilu VII, VIII, IX przekroju w Witkowicach

Pierwiastek	Symbol próbki							
	VII-1	VIII-1	VIII-2	VIII-3	IX-1	IX-2	IX-3	
As (ppm)	<5	<5	<5	<5	9	<5	<5	<5
Ba (ppm)	7	15	74	14	86	61	6	4
Cd (ppm)	<0,5	0,6	5,0	<0,5	1,8	<0,5	<0,5	<0,5
Cr (ppm)	2	7	63	2	33	6	<1	<1
Cu (ppm)	2	6	71	1	23	8	<1	<1
Hg (ppm)	<0,05	0,09	1,7	<0,50	0,16	0,06	<0,05	<0,05
Pb (ppm)	4	9	53	4	29	8	<3	<3
Zn (ppm)	372	306	946	168	501	67	23	<5
Ca (%)	0,14	0,16	0,62	0,13	0,60	0,50	0,04	<0,01
Fe (%)	0,12	0,29	0,89	0,16	1,68	1,19	0,16	0,17
S (%)	0,03	0,01	0,08	<0,01	0,04	0,02	<0,01	<0,01
C org (%)	0,05	0,20	1,75	0,05	1,35	0,63	0,05	0,05

X — próbka z Kamionu Dużego (tło geochemiczne)

cynku, osad ten charakteryzuje się także podwyższoną koncentracją baru, żelaza, siarki i węgla organicznego (tab. 2). Podwyższona zawartość metali ciężkich występuje również w profilu IV w próbkach IV-1 i IV-2, pobranych z warstwy glebowej i piaszczysto-organicznej, z głębokości 0,0–0,5 m (tab. 2). Wysoki udział frakcji ziarnowej większej niż 0,1 mm w próbkach tych osadów (tab. 3) wskazuje na fację korytową. Osady te były deponowane głównie w latach 1960–1974. W próbkach pobranych w warstwach do głębokości 40 cm z aluwii profili oddalonych od obecnego koryta rzeki o 200 m (profil V) i ok. 1000 m (profil VI) zawartość frakcji <0,1 mm wynosi ponad 50% (tab. 3). Występowanie w nich podwyższonej zawartości metali ciężkich, wielokrotnie przekraczającej wartość tła geochemicznego, może się wiązać z naniesieniem drobnych osadów wzbogaconych w metale, podczas wysokich stanów wód i zalewania tarasów. W próbkach V-3 i VI-3, pobranych z głębszych i starszych warstw (głębokość ok. 0,8 m) tych profili, zawartość metali zbliżona jest do tła geochemicznego przyjętego dla próbki z Kamionu Dużego; sedymentacja ich odbywała się w latach trzydziestych i wcześniejszych.

Witkowice. Wyniki oznaczeń metali ciężkich w próbkach pobranych z różnowiekowych osadów w profilach przekroju w Witkowicach zestawiono w tab. 4. Przekrój ten usytuowany jest najbliżej ujścia Bzury do Wisły (ryc. 4). Najwyższa zawartość metali ciężkich występuje w profilu VIII, oddalonym ok. 200 m od obecnego koryta rzeki, a szczególnie w próbce VIII-2, pobranej z głębokości 0,5 m z warstwy bogatej w substancję organiczną (tab. 4, ryc. 7), której sedymentacja była zapoczątkowana w latach sześćdziesiątych. Podwyższona, w stosunku do tła, zawartość badanych metali ciężkich występuje także w warstwie glebowej w profilach VIII i IX i jest ona wielokrotnie wyższa od tła geochemicznego tych pierwiastków, szczególnie Zn (tab. 4). Wezbrania wód i zalewanie współczesnych tarasów powodują akumulację metali w glebach położonych w pobliżu rzeki. W pozostałych próbkach z profilu IX odległego od obecnego koryta rzeki o 600 m, zawartość metali ciężkich jest albo zbliżona do wartości tła próbki X z Kamionu Dużego (tab. 4) lub nieco od niej wyższa (próbka IX-2). W próbce VII-1, pobranej najbliżej koryta rzeki, tylko zawartość cynku jest wielokrotnie wyższa, w porównaniu do wartości tła geochemicznego tego metalu.

Podsumowanie wyników i wnioski końcowe

Bzura od lat jest rzeką mocno zanieczyszczoną, w dużym stopniu także metalami ciężkimi. Na podstawie kolejnych położeń koryta rzeki porównywanych na dostępnych mapach o tej samej skali z różnych lat, można wytypować różnowiekowe osady aluwialne, których badania pozwalają nie tylko na oszacowanie stopnia ich skażenia, ale również określenia czasu, w którym nastąpiło deponowanie przez rzekę osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi.

Zapoczątkowany przed stu laty rozwój przemysłu w dolinie Bzury, dopiero w latach sześćdziesiątych wywarł znaczący wpływ na stan zanieczyszczenia rzeki i jej osadów. Intensywny rozwój nowych

gałęzi przemysłu, uruchomienie nowych zakładów przemysłowych, odprowadzających ścieki bezpośrednio do rzeki, odzwierciedlają zanieczyszczenia akumulowane od lat w aluwii Bzury. Wzmoczona akumulacja metali ciężkich była wynikiem zwiększonego dopływu tych pierwiastków do rzeki (intensywny rozwój przemysłu na tym terenie w latach 60 i 70.), a także powstaniu sprzyjających warunków, co widać na przykładzie profilu w Łęczycy, gdzie wysoka zawartość węglanu wapnia i węgla organicznego w osadzie stanowiła barierę geochemiczną dla metali niesionych przez rzekę. Osady aluwialne akumulowane na początku XX w. nie wykazują podwyższonej zawartości metali ciężkich.

Akumulacja metali ciężkich w XX-wiecznych aluwii Bzury odbywała się nie tylko podczas sedymentacji osadów w korycie rzeki, ale także podczas wezbrań, przemieszczających skażone ładunki zawiesin i osadów na tereny równi zalewowych przylegających do rzeki. Najwyższą zawartość metali ciężkich w osadach zaobserwowano w profilach usytuowanych najbliżej koryta rzeki.

Literatura

- BOJAKOWSKA I. 1995 — Wpływ odprowadzania ścieków na akumulację metali ciężkich w osadach wybranych rzek Polski. Instr. i Metody Bad. Geol., FIG, 55: 1–78.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G. & SZTYRAK T. 1991 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. PIOŚ.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1992 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. PIOŚ.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1993 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. PIOŚ.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1994 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. PIOŚ.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G. & LEWANDOWSKI P. 1995 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. PIOŚ.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G. & LEWANDOWSKI P. 1996 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. PIOŚ.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G. & GLIWICZ T. 1997 — Monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. PIOŚ.
- FÖRSTNER U. 1989 — Contaminated sediments. Lecture Notes in Earth Sciences. 21: 1–157. Springer-Verlag.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Polski w skali 1 : 2 500 000. Państw. Inst. Geol.
- KRÓLIKOWSKI CZ. & TWARDOGOWSKI J. 1992 — Objasnienia do Mapy lokalizacji większych zbiorników wodnych i ognisk zanieczyszczenia na tle pierwszego poziomu użytkowania wód podziemnych w Polsce. Państw. Inst. Geol.
- SOKOŁOWSKA G. 1996 — Problem zanieczyszczenia metalami ciężkimi osadów aluwialnych Bzury i jej dopływów. CAG, 309/98.