

ALINA KABATA-PENDIAS, EDWARD BOLIBRZUCH

PIERWIASTKI ŚLADOWE W WODACH DORZECZA BYSTREJ (WYŻYNA LUBELSKA)

Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

WSTĘP

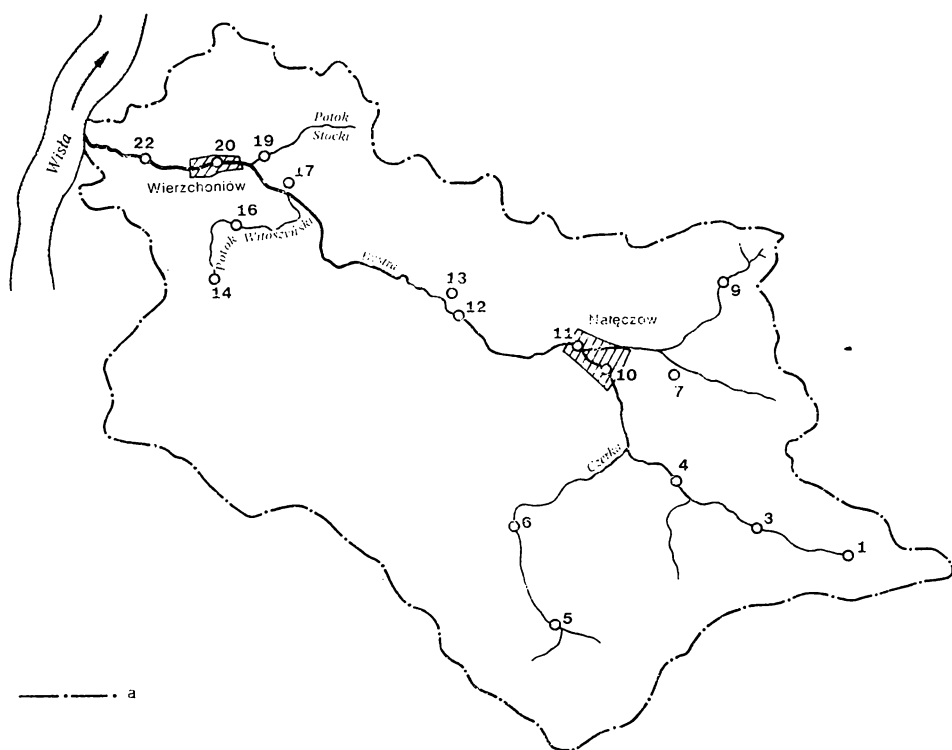
Występowanie pierwiastków śladowych w powierzchniowych wodach lądowych jest ostatnio przedmiotem ogólnego zainteresowania. Stężenie tych pierwiastków w wodach czystych odzwierciedla fragment ich naturalnego cyklu geochemicznego. Nadmierna ich zawartość w wodach zanieczyszczonych powoduje zaburzenia w rozwoju organizmów wodnych oraz stanowi zagrożenie zachwiania równowagi chemicznej poszczególnych ogniw łańcucha pokarmowego. Zmiany zawartości pierwiastków śladowych w płynących i stojących wodach zanieczyszczonych zrzutami różnych ścieków objęte są szczegółowymi badaniami. Mało jest natomiast informacji o naturalnym ich występowaniu w rzekach Polski.

Większość pierwiastków śladowych, a zwłaszcza metali ciężkich, nie utrzymuje się długo w wodzie w formie rozpuszczonej, gdyż podlega wytrąceniu wskutek procesów utleniania, tworzenia różnych związków chemicznych oraz sorpcji przez organiczną i mineralną frakcję osadów dennych. Dlatego ocenę stopnia zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi zbiorników wodnych opiera się na pomiarach zawartości tych składników w wodzie, w zawieszynie koloidalnej oraz w osadach dennych.

Badania zawartości naturalnej niektórych pierwiastków śladowych podjęto w obrębie dorzecza Bystrej na obszarze Wyżyny Lubelskiej. Rejon ten nie jest objęty wpływem zanieczyszczeń przemysłowych oraz posiada mało osiedli odprowadzających ścieki komunalne do rzek.

OBIEKT I METODY BADAŃ

Próbki wody do badań pobierano w okresie od kwietnia 1975 r. do grudnia 1976 r. w punktach zaznaczonych na planie dorzecza Bystrej (rys. 1), wytypowanych do analiz chemicznego składu wody [8]. Próbkami



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pobierania wody i osadów dennych dorzecza Bystrej

1 ... 22 — punkty badań, a — granica dorzecza

Sites of collection on water and bottom sediments from Bystra river drainage basin
1 ... 22 — investigation points, a — catchment area border

wody pobierano cztery razy w roku, co trzy miesiące, a próbki osadów dennych — dwukrotnie w 1976 r.

Bezpośrednio po pobraniu wody w pojemniki z polietylenu odsączano nieznaczne ilości zawiesiny, a następnie wodę odparowywano do sucha. Osad ropuszczony w kwasie solnym stosowano do bezpośredniej absorpcyjnej analizy płomieniowej do oznaczenia zawartości Mn, Zn, Fe oraz po zagęszczeniu do fazy organicznej dla następujących pierwiastków: Cd, Cu, Pb. Zawartość boru oznaczano kolorymetrycznie metodą kurkuminiową. Zastosowano metodykę analityczną opracowaną przez zespół autorów [4].

Próbki osadów dennych po wysuszeniu do powietrznie suchej masy rozłożono w mieszaninie stężonych kwasów: azotowego i nadchlorowego. Zawartość pierwiastków śladowych oznaczono podobnie jak w próbkach wody.

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki geologiczne, rodzaj pokrywy glebowej oraz ukształtowanie subregionów Wyżyny Lubelskiej, w obrębie których znajduje się dorzecze Bystrej, opisane są szczegółowo przez P o n d l a i in. [8].

Na całym obszarze dorzecza przeważają (powyżej 80% powierzchni) uprawy rolnicze. W rejonie tym dominują gleby wykształcone z utworów lessowych o zróżnicowanej miąższości, zalegających na kredowych skałach węglanowych, a w mniejszym stopniu na piaskowcach marglistych i glaukonitowych.

Podłoże skał węglanowych w dorzeczu Bystrej wpływa w znacznym stopniu na mineralizację wody cieków. Głównymi kationami suchej pozostałości wód są wapń i magnez, których zawartość przewyższa najczęściej występujące stężenia w rzecznych wodach Polski. Natomiast stężenie dwóch głównych anionów. SO_4^{2-} i Cl^- znajduje się w wodach dorzecza Bystrej na ogół w zakresie zawartości powszechnie występujących [8, 9].

Do oceny stopnia zanieczyszczenia wód powierzchniowych konieczne jest poznanie zawartości pierwiastków śladowych w ich osadach dennych. Zwłaszcza akumulacja metali ciężkich w osadach jest dobrym wskaźnikiem dla chemicznych zanieczyszczeń [1, 2, 7].

Osady dennie cieków dorzecza Bystrej zawierają głównie frakcję pyłową (>60%), która składa się w przeważającej ilości z kwarcu. Obecność skaleni i kalcytu, podobnie jak minerałów mikowych, jest bardzo mała. Ponadto w osadach występuje kaolinit w ilościach śladowych. Pojemność sorpcyjna mineralnej frakcji tych osadów jest niska.

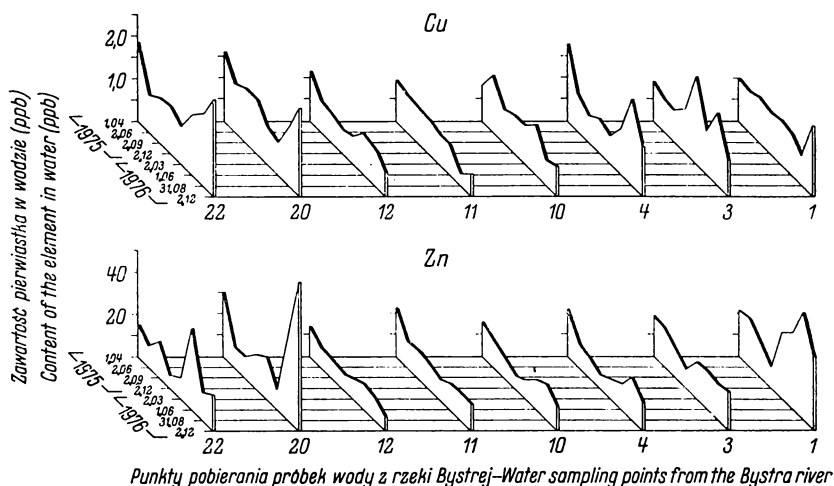
Słaba migracja kationów metali ciężkich w środowiskach węglanowych jest jedną z podstawowych przyczyn niskiej zawartości tych pierwiastków w wodach wypływających z utworów wapiennych. Uzyskano istotną zależność, z prawdopodobieństwem 98% korelacji negatywnej dla następujących kationów: Ca-Mn, Ca-Fe, Mg-Mn, Mg-Fe, Mg-Zn oraz z prawdopodobieństwem 95% dla: Ca-Zn i Mg-Pb (przy $n=70$). Stężenie miedzi natomiast wykazało dodatnią zależność od występowania wapnia w wodach.

Zawartość miedzi mieści się w zakresie średnich wartości rocznych 0,53–1,78 ppb (tab. 1), co odpowiada stężeniom tego pierwiastka w wodach bardzo czystych zbiorników oraz fiordów norweskich. Ilości miedzi w większości rzek, nawet względnie czystych, przewyższają te wartości [5, 6, 9]. Okresowe zmiany zawartości miedzi są nieznaczne i na ogół nieregularne (rys. 2). Nie różnicuje się także jej poziom w wodzie źródlanej w porównaniu z wodami potoków i rzek. Najwyższe średnie stężenia miedzi stwierdzono w wodzie potoku Witoszyńskiego, w której występuje także najwyższa zawartość żelaza. Obliczenia statystyczne wykazały istotną zależność pomiędzy występowaniem miedzi i żelaza w wodzie.

Zawartość miedzi w wodach i osadach dorzecza Bystrej
Copper content of water and bottom sediments of Bystra river basin

Punkt pomiarowy Site	Miejscowość i rodzaj wód Locality and kind of water	Zawartość w wodzie - Content in water						Zawartość w osadach Content in sediments ppm \bar{x}	$W_{A_0}^x$
		ppb							
		1975		1976		\bar{x}	S_x^-		
		zakres - range	\bar{x}	zakres - range	\bar{x}				
1	Źródka - Springs								
	Sporniak Palikijski	0,95-1,03	1,00	0,69-1,63	1,09	1,04	0,093	5,60	5,14
	Antopol	0,58-2,27	1,11	0,38-0,78	0,62	0,90	0,235	-	-
	13 Wąwolnica	0,76-1,99	1,23	0,24-1,13	0,72	0,98	0,181	-	-
	14 Rzeczyca	1,04-1,95	1,49	0,76-2,76	1,30	1,39	0,255	5,75	4,42
17 Celejów	0,66-0,91	0,78	0,26-3,79	1,60	1,19	0,387	-	-	
	Rzeka Bystra - River Bystra								
3	Palikijo	0,74-0,98	0,84	0,83-2,05	1,39	1,11	0,171	10,10	7,27
4	Wojciechów Kolonia	0,60-1,79	1,00	0,65-1,99	1,21	1,10	0,184	7,59	6,27
10	Nałęczów	0,74-1,32	0,95	0,59-1,15	0,83	0,89	0,086	7,83	9,43
11	Nałęczów	0,80-0,95	0,85	0,26-0,69	0,53	0,69	0,078	8,67	16,36
12	Wąwolnica	0,55-1,13	0,76	0,55-0,94	0,75	0,75	0,072	9,97	13,29
20	Wierzchniów	1,09-1,65	1,31	0,73-2,05	1,23	1,27	0,150	8,80	7,15
22	Bochońnica	0,86-1,86	1,21	0,90-2,25	1,55	1,38	0,177	7,15	4,61
	Rzeka Czerka - River Czerka								
6	Chmielnik	0,45-1,73	0,89	0,34-1,03	0,80	0,84	0,155	12,69	15,86
5	Łubki	0,70-1,39	0,91	1,06-1,43	1,16	1,04	0,098	7,71	6,65
	Potoki - Streams								
9	Czesławice	0,93-1,48	1,09	0,83-1,50	1,06	1,08	0,109	13,91	13,12
16	Witoszyn	0,70-2,68	1,25	0,55-3,29	1,78	1,51	0,391	5,51	3,10
19	Celejów	1,13-1,40	1,22	1,30-1,73	1,48	1,37	0,082	10,07	6,80

^x Wskaźnik akumulacji w osadach dennych wyrażony stosunkiem zawartości pierwiastka śladowego w osadach do jego stężenia w wodzie /wartość pomnożona przez 1000/
Index of accumulation in bottom sediments calculated as a ratio of trace element in sediments to their concentration in water /figures multiplied by 1000/



Rys. 2. Zawartość miedzi i cynku w wodach rzeki Bystrej w okresie 1975–1976
The copper and zinc content in the Bystra river water in 1975–1976

Osady dennie pobrane ze źródeł i potoków zawierają najczęściej mniej miedzi niż osady cieków rzecznych, w których średnie ilości tego pierwiastka wynoszą 7,71–12,69 ppm. Wartość wskaźnika akumulacji miedzi w osadach w stosunku do stężenia w wodzie jest najniższa dla potoku Witoszyńskiego, co wskazuje, że w tych warunkach proces wiązania miedzi jest słabszy niż w innych ciekach. Procesy sorbowania miedzi przez osady zachodzą najintensywniej w rzece Bystrej, zwłaszcza poniżej ujścia ścieków komunalnych Nałęczowa (pkt 11). Zawartość miedzi w osadach dennych badanej zlewni odpowiada wielkością rzędu częstości tego pierwiastka w utworach piaszczystych (tab. 8) oraz wartościom podawanym dla osadów czystych rzek Polski [7].

Średnie stężenia cynku we wszystkich rodzajach wód dorzecza Bystrej mieszczą się w granicach 10–30 ppb (tab. 2). Są to niskie wartości odpowiadające poziomowi cynku występującego w wodach bardzo czystych zbiorników [5]. Zbliżone ilości cynku w wodach źródłanych i rzecznych wskazują, że jest to naturalna zawartość dla tego rejonu.

W środowisku słabo kwaśnym i oksydacyjnym cynk podlega szybkiej sorpcji przede wszystkim przez wodorotlenki żelaza [3]. Tym należy tłumaczyć znaczne nagromadzenie cynku w osadzie dennym małego potoku w Czesławicach, w którym okresowo występują warunki redukcyjne doprowadzające do wytrącania związków żelaza. Wartość wskaźnika koncentracji cynku w osadach tego potoku jest wysoka. Również zwiększoną koncentrację cynku stwierdzono w osadach rzeki Bystrej w pobliżu osiedli (Nałęczów i Wąwolnica). Wskaźnik koncentracji cynku w tych punk-

Zawartość cynku w wodach i osadach dorzecza Bystrej
Zinc content of water and bottom sediments of Bystra river basin

Punkt pomiarowy Site	Miejscowość i rodzaj wód Locality and kind of water	Zawartość w wodzie - Content in water						Zawartość w osadach Content in sediments ppm \bar{x}	W_A^x
		ppb							
		1975		1976		\bar{x}	S_x^2		
		zakres - range	\bar{x}	zakres - range	\bar{x}				
	Źródła - Springs								
1	Lporniak Palikijski	10,0-23,4	17,9	31,3-51,3	40,5	28,2	4,604	66,2	1,72
7	Antopol	9,5-20,1	13,8	6,6-12,5	9,4	11,9	1,623	-	-
13	Wąwolnica	9,0-21,3	14,0	10,3-36,3	22,0	18,0	3,409	-	-
14	Rzeczycza	8,5-30,0	15,8	8,9-30,0	19,5	17,3	3,544	34,6	1,77
17	Celejów	9,4-23,8	13,6	8,3-72,5	31,5	22,5	7,513	-	-
	Rzeka Bystra - River Bystra								
3	Palikije	8,8-19,3	14,7	17,0-18,1	17,5	16,1	1,238	72,5	4,14
4	Wojciechów Kolonia	6,4-21,6	12,0	9,1-19,8	13,3	12,6	1,905	48,7	3,66
10	Małęczów	5,9-15,9	10,6	9,3-17,4	12,9	11,7	1,389	58,6	4,54
11	Małęczów	12,3-22,5	14,9	9,4-13,1	11,6	13,3	1,377	73,7	6,35
12	Wąwolnica	7,3-13,9	9,9	5,9-11,6	9,7	9,8	0,888	30,0	9,28
20	Wierzchniów	9,1-20,0	16,4	9,3-70,0	35,9	26,1	7,574	11,2	1,98
22	Bochońnica	6,3-16,5	11,9	9,8-37,5	19,2	15,5	3,403	53,7	2,80
	Rzeka Czerka - River Czerka								
6	Chmielnik	5,4-13,3	7,1	8,6-13,8	11,3	10,5	1,097	60,0	5,31
5	Lubki	7,5-23,8	12,3	8,6-21,3	16,1	14,2	2,287	51,2	3,18
	Potoki - Streams								
9	Czesławice	7,5-22,1	13,0	9,6-13,9	11,4	12,3	1,790	100,0	8,77
16	Witoszyn	7,8-28,3	14,0	10,5-25,0	16,5	15,1	3,190	32,8	2,43
19	Celejów	13,5-28,1	18,1	10,0-22,9	13,6	15,8	2,310	80,0	5,88
		x Wskaźnik akumulacji obliczony jak w tab. 1 Index of accumulation calculated as in Tab. 1							

Zawartość manganu w wodach i osadach dorzecza Bystrej
Manganese content of water and bottom sediments of Bystra river basin

Punkt pomiarowy Site	Miejscowość i rodzaj wód Locality and kind of water	Zawartość w wodzie - Content in water						Zawartość w osadach Content in sediments ppm \bar{x}	WA_{O}^x
		ppb				M	$S_{\bar{x}}$		
		1975		1976					
		zakres - range	\bar{x}	zakres - range	\bar{x}				
	Źródła - Springs								
1	Sporniak Palikijski	2,0- 2,3	2,2	1,8- 4,8	2,9	2,5	0,337	139	47,9
7	Antopol	1,5- 4,3	3,2	2,5- 2,5	2,5	2,9	0,352	-	-
13	Wąwolnica	2,0- 4,8	3,3	2,5- 3,0	2,6	2,9	0,323	-	-
14	Rzeczycza	2,0- 4,0	3,0	2,5- 9,0	5,3	4,1	0,851	74	13,9
17	Celejów	5,5- 6,8	6,2	6,0- 7,0	6,7	6,4	0,197	-	-
	Rzeka Bystra - River Bystra								
3	Palikije	8,0-29,0	22,3	33,0-67,5	47,5	34,9	6,326	275	5,8
4	Wojciechów Kolonia	7,0-21,5	15,6	21,5-34,3	25,8	20,7	2,753	277	10,7
10	Nałęczów	9,3-35,3	22,8	13,0-40,0	29,5	26,1	4,003	342	11,6
11	Nałęczów	10,5-46,8	28,8	23,3-71,5	50,3	39,6	7,686	390	7,8
12	Wąwolnica	10,0-49,5	32,1	36,3-87,5	62,3	47,2	8,561	402	6,5
20	Wierzechoniów	9,3-29,5	21,9	25,3-50,5	37,8	29,8	4,437	530	14,0
22	Bochońnica	8,3-26,5	19,2	23,3-49,8	36,2	27,7	4,466	410	11,3
	Rzeka Czerka - River Czerka								
6	Chmielnik	5,5-37,0	18,4	6,3-19,5	11,3	14,9	3,638	227	20,1
5	Lubki	6,5-21,8	13,3	15,5-21,5	18,8	16,0	2,043	192	10,2
	Potoki - Streams								
9	Czesławice	81,8-450,0	-	90,0-1050,0	-	354,4	187,340	252	2,7
16	Witoszyn	5,3-22,3	15,4	10,0-34,5	26,1	20,7	3,729	195	7,5
19	Celejów	5,3-67,5	24,4	9,5-68,3	29,9	27,2	9,170	727	24,3

^x Wskaźnik akumulacyjny obliczony jak w tab. 1
Index of accumulation calculated as in Tab. 1

Zawartość żelaza w wodach i osadach dorzecza Bystrzy
 Iron content of water and bottom sediments of Bystra river basin

Punkt pomiarowy Site	Miejscowość i rodzaj wód Locality and kind of water	Zawartość w wodzie - Content in water						Zawartość w osadach Content in sediments %	W _{AC} ^x
		ppb							
		1975		1976		\bar{x}	S^2_x		
		zakres - range	\bar{x}	zakres - range	\bar{x}				
	Źródła - Springs								
1	Sporniak Palikijski	13,0- 25,5	21,5	15,2- 34,5	22,8	22,2	2,300	0,80	351
7	Antopol	15,2- 41,5	23,6	13,2- 17,5	14,9	19,9	3,720	-	-
13	Wąwolnica	17,0- 47,0	30,2	15,5- 30,0	20,3	25,5	4,113	-	-
14	Rzeczyca	15,8- 42,3	26,5	13,8- 31,0	22,1	24,3	2,258	0,61	276
17	Celejów	72,0-212,5	142,5	157,5-197,5	175,6	159,1	15,594	-	-
	Rzeka Bystra - River Bystra								
3	Palikije	57,5-106,5	82,8	114,3-545,0	239,0	160,9	56,092	1,01	42
4	Wojciechów Kolonia	47,8- 87,0	64,4	70,0-230,0	124,1	94,2	20,635	0,84	67
10	Nałęczów	59,5-101,3	79,9	66,8-180,0	111,7	95,4	12,970	1,18	105
11	Nałęczów	79,8-157,5	112,5	78,0-222,5	144,1	129,3	17,688	1,36	94
12	Wąwolnica	89,8-130,0	122,7	124,3-252,5	191,1	156,9	20,474	1,41	74
20	Wierzchniów	90,0-134,8	117,0	114,8-180,0	134,5	125,7	9,080	1,39	103
22	Bochotnica	73,8-118,5	103,8	90,0-172,5	140,7	122,3	11,370	1,15	81
	Rzeka Czerka - River Czerka								
6	Chmielnik	46,3-120,5	76,4	49,3-107,5	70,3	73,3	10,390	1,04	147
5	Łubki	37,5- 67,3	52,7	51,3- 90,0	74,0	62,4	6,575	0,73	102
	Potoki - Streams								
9	Czesławice	142,5-340,0	209,0	103,0-340,0	206,0	207,7	36,122	2,26	110
16	Witoszyn	47,8- 95,2	71,2	63,3-152,5	110,0	91,1	12,754	0,76	69
19	Celejów	50,5-126,3	93,2	63,5-172,5	93,0	93,1	14,867	1,67	179

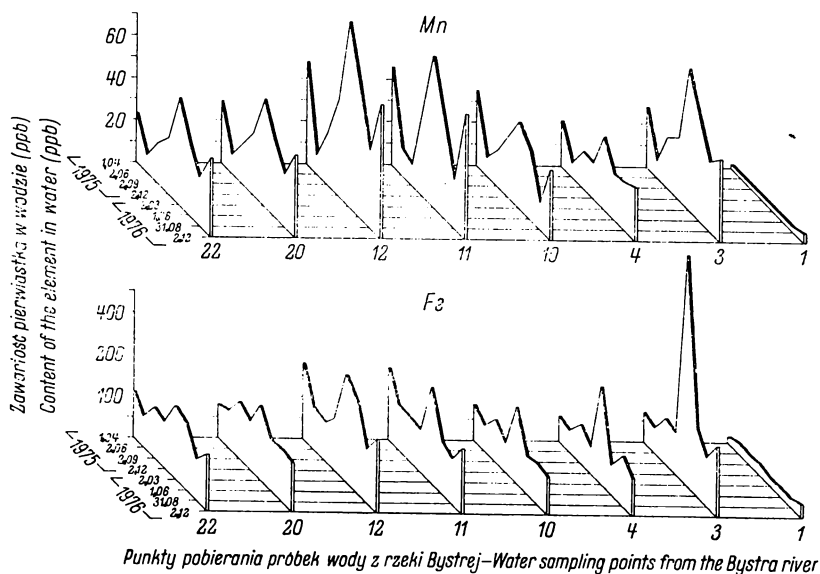
^x Wskaźnik akumulacji obliczony jak w tab. 1
 Index of accumulation calculated as in tab. 1

tach wynosi 4–9, podczas gdy w osadach źródeł zaledwie 1,7. Osady dorzecza Bystrej zawierają przeciętnie więcej cynku od klarkowej wartości tego pierwiastka dla utworów piaszczystych (tab. 8).

Okresowe zmiany stężenia cynku w wodzie rzeki Bystrej są nieznaczne (rys. 2). Jedynie w niektórych punktach nastąpiło podwyższenie ilości cynku w próbkach wody pobieranej w 1976 r. w porównaniu z rokiem 1975, co może być wynikiem lokalnego zanieczyszczenia (te punkty pobierania wody zlokalizowane są w sąsiedztwie zabudowań gospodarskich).

Średnie stężenie manganu w badanych wodach nie przekracza 50 ppb (tab. 3). Zaznacza się jednak istotna różnica pomiędzy występowaniem tego metalu w wodach źródłanych, dla których wartość średnia wynosi 3,1 ppb Mn, a wodami rzeki Bystrej o średniej zawartości 32,2 ppb Mn. Podobne zmiany wystąpiły w zawartości żelaza, którego średnie stężenie w wodach źródeł wynosi 23 ppb, a w wodzie rzeki Bystrej 127 ppb (tab. 4). Przy obliczeniu średnich wartości dla manganu i żelaza w wodzie źródlanej wyłączono źródło w Celejowie, dające wodę o dużym stopniu mineralizacji.

Okresowe zmiany ilości obu metali w wodzie rzeki Bystrej są bardzo zbliżone i wskazują na duże podobieństwo występowania tych składników w wodach (rys. 3). Potwierdza to również wartość współczynnika



Rys. 3. Zawartość manganu i żelaza w wodach rzeki Bystrej w okresie 1975–1976
The manganese and iron content in the Bystra river water in 1975–1976

Zawartość kadmu w wodach i osadach dorzecza Bystrzy
 Cadmium content of water and bottom sediments of Bystra river basin

Punkt pomiarowy Site	Miejscowość i rodzaj wód Locality and kind of water	Zawartość w wodzie - Content in water						Zawartość w osadach Content in sediments ppm	Wsk ^x _o
		ppb							
		1975		1976		\bar{x}	S_x^2		
		zakres - range	\bar{x}	zakres - range	\bar{x}				
	Źródła - Springs								
1	Sporniak Palikijski	0,05-0,50	0,19	0,03-0,09	0,05	0,12	0,056	0,34	6,80
7	Antopol	0,05-0,65	0,23	0,03-0,07	0,04	0,15	0,084	-	-
13	Wąwolnica	0,06-0,21	0,11	0,04-0,08	0,05	0,08	0,020	-	-
14	Rzeczyca	0,05-0,14	0,09	0,01-0,08	0,05	0,07	0,014	0,45	9,00
17	Celejów	0,03-0,33	0,15	0,03-0,14	0,08	0,12	0,034	-	-
	Rzeka Bystra - River Bystra								
3	Palikije	0,05-0,25	0,11	0,01-0,18	0,07	0,09	0,029	0,42	6,00
4	Wojciechów Kolonia	0,04-0,14	0,07	0,01-0,05	0,03	0,05	0,014	0,30	10,00
10	Nałęczów	0,04-0,70	0,22	0,01-0,05	0,04	0,13	0,082	0,36	9,00
11	Nałęczów	0,05-0,26	0,12	0,01-0,05	0,03	0,07	0,028	0,31	10,33
12	Wąwolnica	0,04-0,06	0,05	0,01-0,09	0,04	0,04	0,009	0,39	9,75
20	Wierzchniów	0,04-0,75	0,23	0,03-0,09	0,05	0,14	0,088	0,39	7,80
22	Bochotnica	0,05-0,30	0,12	0,04-0,10	0,06	0,09	0,031	0,24	4,00
	Rzeka Czerka - River Czerka								
6	Chmielnik	0,05-0,45	0,19	0,01-0,06	0,04	0,11	0,053	0,49	12,25
5	Łubki	0,03-0,09	0,06	0,01-0,06	0,04	0,05	0,011	0,34	8,50
	Potoki - Streams								
9	Czeskawice	0,04-0,10	0,08	0,01-0,11	0,05	0,07	0,014	0,49	9,80
16	Witoszyn	0,05-0,06	0,06	0,01-0,13	0,07	0,06	0,012	0,21	3,00
19	Celejów	0,01-0,78	0,22	0,03-0,11	0,06	0,14	0,092	0,41	6,83

^x Wskaźnik akumulacji obliczony jak w tab. 1
 Index of accumulation calculated as in tab. 1

Zawartość ołowiu w wodach i osadach dorzecza Bystrej
Lead content of water and bottom sediments of Bystra river basin

Punkt pomiarowy Site	Miejscowość i rodzaj wód Locality and kind of water	Zawartość w wodzie - Content in water						Zawartość w osadach Content in sediments ppm \bar{x}	$W A_{O}^{x}$
		ppb							
		1975		1976		\bar{x}	S_{x}^{2}		
		zakres - range	\bar{x}	zakres - range	\bar{x}				
	Źródła - Springs								
1	Sporniak Palikijski	0,63-3,13	1,66	0,63-1,88	1,35	1,50	0,283	18,94	14,0
7	Antopol	1,25-7,75	3,44	0,44-3,75	1,61	2,65	0,969	-	-
13	Wąwolnica	1,13-1,88	1,63	0,63-2,50	1,47	1,54	0,254	-	-
14	Rzeczycza	0,63-2,13	1,30	0,44-3,75	1,61	1,45	0,523	17,07	10,6
17	Celejów	1,25-3,13	1,97	0,44-6,25	2,61	2,29	0,636	-	-
	Rzeka Bystra - River Bystra								
3	Palikije	1,25-2,75	1,72	0,63-1,88	1,19	1,49	0,258	21,50	18,1
4	Wojciechów Kolonia	0,63-2,75	1,60	0,63-3,75	1,79	1,69	0,393	17,94	10,0
10	Nałęczów	1,25-3,75	1,97	0,63-3,75	1,67	1,82	0,432	24,88	14,9
11	Nałęczów	1,25-5,63	2,56	0,44-6,25	2,14	2,35	0,805	22,69	10,6
12	Wąwolnica	0,63-3,75	1,85	0,63-3,75	1,72	1,78	0,451	26,44	15,4
20	Wierzchniów	1,13-2,75	2,13	0,63-3,75	2,50	2,32	0,360	24,57	9,8
22	Bochońnica	1,13-3,13	1,85	0,88-6,25	3,03	2,44	0,655	18,38	6,1
	Rzeka Czerka - River Czerka								
6	Chmielnik	0,63-1,25	1,04	0,63-3,75	1,67	1,40	0,405	30,50	18,3
5	Lubki	0,63-3,75	1,56	0,63-1,88	1,10	1,33	0,381	19,63	17,8
	Potoki - Streams								
9	Czesławice	1,25-3,13	1,81	1,25-6,25	3,75	2,46	0,814	34,75	9,3
16	Witoszyn	0,63-5,00	2,41	0,44-3,75	1,81	2,15	0,653	16,75	9,3
19	Celejów	1,88-3,75	2,41	0,63-2,50	1,57	1,99	0,322	33,19	21,1

^x Wskaźnik akumulacji obliczony jak w tab. 1
Index of accumulation calculated as in tab. 1

Zawartość boru w wodach i osadach dorzecza Bystrej
Boron content of water and bottom sediments of Bystra river basin

Punkt pomiarowy Site	Miejscowość i rodzaj wód Locality and kind of water	Zawartość w wodzie - Content in water ppb					Zawartość w osadach Content in sediments ppm \bar{x}	WA ^x _o
		2.12.1975	1976		\bar{x}	s^2_x		
			zakres - range	\bar{x}				
	Źródka - Springs							
1	Sporniak Palikijski	3,5	6,0-11,0	7,3	6,6	1,219	5,82	0,80
7	Antopol	1,5	5,2-15,5	9,0	7,1	2,977	-	-
13	Wąwolnica	7,5	6,2-15,3	9,9	9,4	1,613	-	-
14	Rzeczycza	4,7	3,5- 7,9	6,1	5,8	0,838	7,25	1,19
17	Celejów	31,0	13,6-36,5	27,0	27,8	4,414	-	-
	Rzeka Bystra - River Bystra							
3	Palikije	9,0	5,6-13,5	9,9	9,7	1,383	7,56	0,76
4	Wojciechów Kolonia	9,0	4,9-13,7	9,9	9,7	1,687	7,25	0,73
10	Nałęczów	10,7	6,9-12,3	10,0	10,1	1,032	11,62	1,16
11	Nałęczów	33,7	8,4-17,0	12,0	16,3	4,630	11,69	0,97
12	Wąwolnica	21,5	8,1-22,0	12,5	14,3	3,063	12,36	0,99
20	Wierzochonów	17,8	7,2-31,0	17,1	17,2	3,970	9,75	0,57
22	Dochnonica	11,0	8,0-30,8	17,0	15,8	3,975	8,63	0,51
	Rzeka Czerka - River Czorka							
6	Chmielnik	5,0	4,3- 7,7	5,5	5,4	0,619	9,50	1,73
5	Łubki	4,5	2,8-10,7	6,5	6,1	1,340	7,25	1,12
	Poteki - Streams							
9	Czeskawice	13,0	10,4-17,5	13,2	13,2	1,536	17,63	1,34
16	Witoczyn	5,3	4,0-10,9	6,8	6,5	1,171	5,31	0,78
19	Celejów	13,0	8,8-24,6	16,3	15,6	3,111	11,75	0,72

^x Wskaźnik akumulacji obliczony jak w tab. 1
Index of accumulation calculated as in tab. 1

Tabela 8

Pierwiastki śladowe w piaszczystych osadach dennych dorzecza Bystrej
/ppm/
Trace elements in sandy bottom sediments of Bystra river basin /ppm/

Pierwiastek Element	Zawartość w osadach dennych Content in bottom sediments		Wartość klarkowa dla piaskowców Clark value for sandstones	$\frac{\bar{x}}{WPK} \cdot X$
	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$		
Cd	0,37	0,024	0,01	37,00
Cu	3,67	0,561	10	0,87
B	9,53	0,755	35	0,27
Mn	316,93	33,836	100	3,17
Pb	23,37	2,096	7	3,34
Zn	63,98	4,168	16	4,00

^x Wskaźnik koncentracji obliczony ze stosunku średniej zawartości pierwiastka śladowego w osadach dennych do jego częstości w utworach piaszczystych
Index of concentration calculated as a ratio of average content of trace elements in bottom sediments to their clark value for sandstones

korelacji ($r=0,634$ przy $n=105$) dla zależności stężenia manganu od żelaza w wodach. Największe zawartości manganu i żelaza wystąpiły w wodzie pobranej w marcu 1976. Zjawisko to należy wiązać z przebiegiem pogody. Mianowicie bezmroźny i deszczowy okres wczesnowiosenny sprzyjał procesom redukcyjnym, które zwiększały migrację wymienionych metali. Również w małym potoku w Czesławicach, gdzie zachodzą wyraźne procesy redukcyjne spowodowane zabagnieniem terenu, obserwuje się maksymalne stężenie manganu i żelaza w próbce pobranej w marcu 1976 r. Osady denne tego cieką zawierają największą ilość żelaza dochodzącą do 2,2% (tab. 4). Przeciętne stężenie żelaza w osadach rzek wynosi około 1%, a w osadach źródłanych 0,7%. Mangan nie podlega znacznemu nagromadzeniu w osadach dennych nawet tam, gdzie nastąpiło wytrącenie wodorotlenków żelaza. Niemniej ilości manganu w badanych osadach przewyższają jego wartość klarkową dla utworów piaszczystych (tab. 8), ale nie przekraczają przeciętnej wartości podawanej dla osadów dennych czystych rzek Polski [9].

Naturalne zawartości kadmu i ołowiu w wodach są bardzo niskie i nie przewyższają na ogół 0,1 ppb [5]. Jednakże większość wód powierzchniowych jest już zanieczyszczona tymi pierwiastkami, a przede wszystkim ołowiem. Przeciętne zawartości tych metali we względnie czystych wodach rzek Polski wynoszą według Starmacha i in. 1–2,3 ppb Cd oraz 3–12 ppb Pb [9]. Podobnie stężenie kadmu w wodach dorzecza Bystrej jest małe i nie przekracza średniej wartości 0,15 ppb (tab. 5). Zawartość ołowiu utrzymuje się na przeciętnym poziomie 1,2–2,6 ppb.

Obserwuje się wyraźne podwyższenie ilości ołowiu w wodzie pobranej z rzeki Bystrej w czerwcu (rys. 4). Ponieważ zjawisko to powtórzyło

częstości tego pierwiastka w utworach piaszczystych. Bor nie należy do pierwiastków zatrzymywanych w osadach, co ilustruje wartość wskaźnika koncentracji wynosząca zwykle poniżej 1 (tab. 7). Jest to pierwiastek szczególnie intensywnie wynoszony z gleb i wylugowywany ze skał do dużych akwenów i dlatego stężenie jego w wodzie morskiej jest z reguły wyższe niż w zbiornikach śródlądowych.

Odprowadzenie pierwiastków śladowych z wodami rzeki Bystrej do Wisły, obliczone na podstawie średniego przepływu ustalnego na 1617 l/s przy miejscowości Wierzchoniów, stanowi w skali rocznej następujące wartości dla poszczególnych składników (w kg): Cd — 7, Cu — 65, Pb — 118, B — 877, Zn — 1330, Mn — 1520, Fe — 6410. Są to małe ilości w porównaniu z wartościami podawanymi przez Konowalowa [6] dla dużych zlewni rzek w ZSRR (w tysiącach ton/rok): B — 10, Mn — 7, Cu — 6, Zn — 26.

Przenoszenie pierwiastków śladowych wodami małych rzek do dużych akwenów jest fragmentem ich naturalnego cyklu biogeochemicznego i nie świadczy o procesach wylugowywania gleb w rejonie dorzecza. Część tych pierwiastków jest niewątpliwie pochodzenia antropogenicznego.

WNIOSKI

1. Naturalna zawartość pierwiastków śladowych w wodach i osadach dennych dorzecza Bystrej uwarunkowana jest chemicznym składem skał i gleb występujących w obrębie zlewni.

2. Wody dorzecza Bystrej wykazują niską zawartość pierwiastków śladowych mieszczącą się w następujących przedziałach średnich wartości za okres dwuletni (w ppb): Cd: 0,04–0,15; Cu: 0,69–1,51; Pb: 1,33–2,65; B: 5,4–17,2; Zn: 9,8–28,2; Mn: 2,5–47,2; Fe: 19,9–207,7. Wartości te odpowiadają stężeniom wód niezanieczyszczonych.

3. Stwierdzono istotną zależność w występowaniu następujących pierwiastków: Fe–Mn, Fe–Cu, Cl–Cu, Cl–Zn, Cl–Fe (korelacja pozytywna) oraz Ca–Fe, Ca–Mn, Mg–Zn, Mg–Mn, Mg–Fe (korelacja negatywna). Zakwaszenie wód (anion Cl^-) zwiększa na ogół zawartość metali ciężkich, gdy tymczasem obecność kationów Ca^{2+} i Mg^{2+} obniża ich stężenie.

4. Stężenie pierwiastków śladowych w osadach dennych wskazuje na procesy akumulacji, które należy wiązać raczej z organiczną frakcją osadów. W mineralnej frakcji osadów dominuje kwarc o bardzo słabej pojemności sorpcyjnej w stosunku do tych pierwiastków.

5. Okresowe i lokalne zmiany stężenia niektórych pierwiastków śladowych, a zwłaszcza ołowiu i częściowo kadmu, wskazują na wpływ zanieczyszczeń wynikający z nasilenia ruchu pojazdów spalinowych oraz zrzutu ścieków miejskich lub pogospodarskich.

Autorzy wyrażają podziękowanie doc. dr hab. H. Pondłowi i jego Zespołowi za udostępnienie wyników analiz wód oraz pomoc w pracach terenowych.

LITERATURA

- [1] Förstner U., Müller G.: *Schwermetalle in Flüssen und Seen*. Springer—Verlag, Berlin 1974, 225.
- [2] Håkanson L.: *Sediments as indicators of contamination-investigations in the four largest swedish lakes*. Statens Naturvårdsverk, Uppsala 1977, 159.
- [3] Jenne E.A.: *Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn concentrations in soils and water: the significant role of hydrous Mn and Fe oxides*. Trace Inorganics in Water. Advances in Chemistry, Series 73, Washington 1968, 337-387.
- [4] Kabata-Pendias A. (red.): *Spektrometryczne metody (kolorymetria i absorpcja atomowa) oznaczania zawartości w glebach i roślinach następujących pierwiastków: As, B, Cd, Co, Cr, Cu, F, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Se, Zn*. IKŚ, Warszawa 1975, 79.
- [5] Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym*. IG, Warszawa 1979, 300.
- [6] Konowałow G.S.: *Wynos mikroelementów główniejszymi riekami SSSR*. Dokł. AN SSSR 129, 1959, 912-915.
- [7] Pasternak K.: *Akumulacja metali ciężkich w osadach dennych rzeki Białej Przemyśl jako wskaźnik ich rozprzestrzeniania drogą wodną z górniczo-hutniczego ośrodka przemysłu cynku i ołowiu*. Acta Hydrobiol. 16, 1974, 51-63.
- [8] Pondel H., Terelak H., Sadurska E.: *Skład chemiczny wód w dorzeczu Bystrej (Wyżyna Lubelska)*. W druku.
- [9] Starmach K., Wróbel S., Pasternak K.: *Hydrobiologia*. PWN, Warszawa 1976, 621.

A. КАБАТА-ПЭНДИАС, Е. БОЛИБРУХ

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ВОДАХ БАССЕЙНА Р. БЫСТРА
(ЛЮБЛИНСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ)

Институт агротехники, удобрения и почвоведения в Пулавах

Резюме

Испытывали содержание микроэлементов (Cd, Cu, Pb, Zn, Mn, B, Fe) в водах и седиментационных отложениях бассейна р. Быстра, в сельскохозяйственном районе.

Концентрация названных микроэлементов была в общем низкая, эквивалентная следующим пределам средних величин за 2-летний период 1975-1976 (в мг/л) Cd: 0,04-0,15; Cu: 0,69-1,51; Pb: 1,33-2,65; B: 5,4-17,2; Zn: 9,8-28,2; Mn: 2,5-47,2; Fe: 19,9-207,7.

Невысокое содержание исследованных микроэлементов в водах связано с наличием карбонатных пород в подпочве водосборного бассейна. Единственно местное псевдышение концентрации Pb и в меньшей степени Cd указывает на влияние загрязнений связанных с движением автомашин и сбросом сточных вод.

Установлено наличие существенной зависимости в выступлении следующих микроэлементов: Fe-Mn, Fe-Cu, Cl-Cu, Cl-Zn, Cl-Fe (положительная корреляция) и также Ca-Fe, Ca-Mn, Mg-Zn, Mg-Mn, Mg-Fe (отрицательная корреляция).

A. KABATA-PENDIAS, E. BOLIBRZUCH

TRACE ELEMENTS IN WATERS OF THE BYSTRA RIVER
CATCHMENT AREA (LUBELSKA UPLAND)

Institute of Soil Science and Cultivation of Plants in Puławy

S u m m a r y

The content of trace elements (Cd, Cu, Pb, Zn, Mn, B and Fe) in waters and bottom sediments of the Bystra river drainage basin, in the agricultural area, was determined.

The content of the above elements (in ppb) was low, corresponding with the following intervals of mean values for the 2-year period 1975-1976: Cd 0.04-0.15, Cu 0.69-1.51, Pb 1.33-2.65, B 5.4-17.2, Zn 9.8-28.2, Mn 2.5-47.2, Fe 19.9-207.7.

The low content of the elements investigated in waters is a result of effects of rocks of the carbonate basement in that area. Locally higher concentrations of Pb only and, to a less extent, those of Cd, prove the effect of contaminations due to the vehicle traffic and the discharge of household effluents.

A significant correlation in occurrence of the following elements: Fe-Mn, Fe-Cu, Cl-Cu, Cl-Zn, Cl-Fe (positive correlation) as well as Ca-Fe, Ca-Mn, Mg-Zn, Mg-Mn, Mg-Fe (negative correlation) has been proved.

Prof. dr hab. Alina Kabata-Pendias
Instytut Uprawy, Nawożenia
† Gleboznawstwa
Puławy, Osada Pałacowa

