

Jan BURACZYŃSKI, Zdzisław MICHALCZYK

### Denudacja chemiczna w dorzeczu Białej Łady

Химическая денудация в бассейне Бялей Лады

Dénudation chimique dans le bassin de la Biała Łada

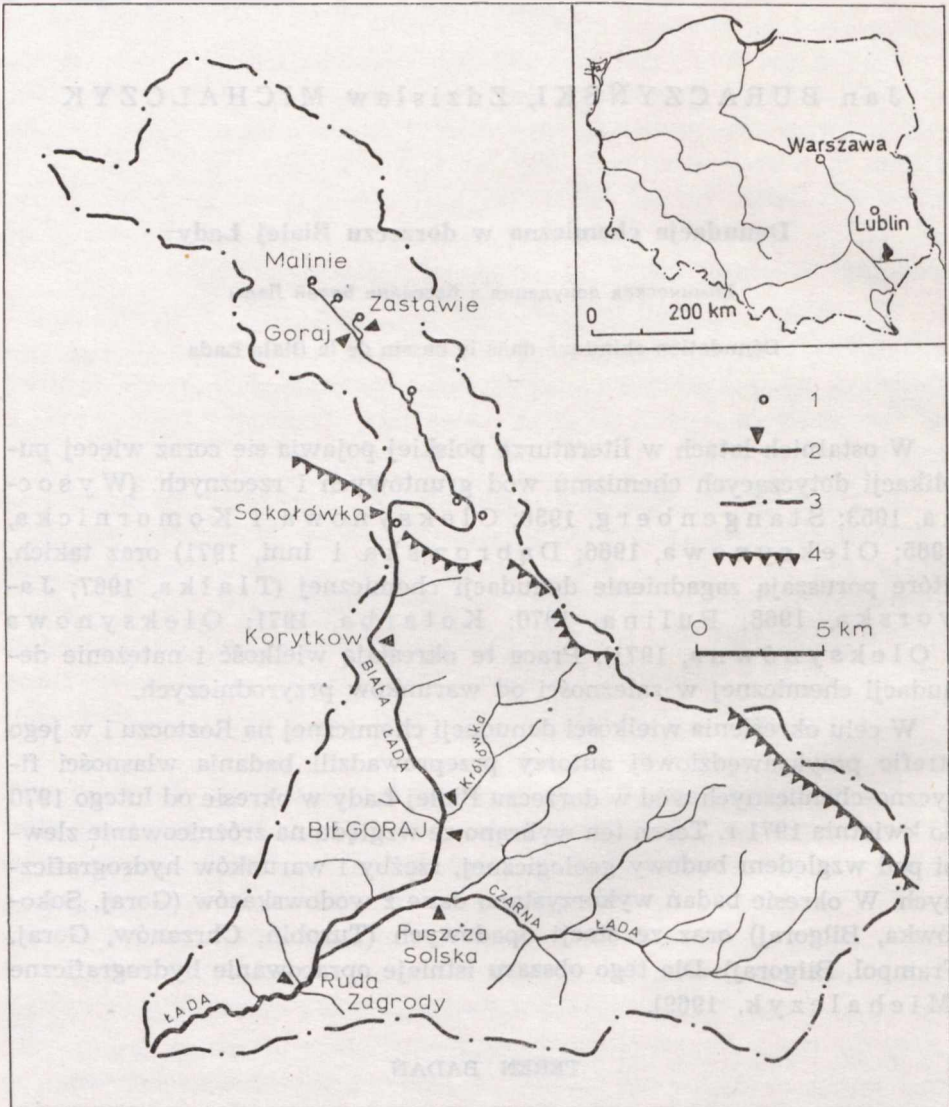
W ostatnich latach w literaturze polskiej pojawia się coraz więcej publikacji dotyczących chemizmu wód gruntowych i rzecznych. (Wysocka, 1953; Stangenberg, 1958; Oleksynowa i Komornicka, 1965; Oleksynowa, 1966; Dąbrowska i inni, 1971) oraz takich, które poruszają zagadnienie denudacji chemicznej (Tłałka, 1967; Jaworska, 1968; Pulina, 1970; Kotarba, 1971; Oleksynowa i Oleksynówna, 1971). Prace te określają wielkość i natężenie denudacji chemicznej w zależności od warunków przyrodniczych.

W celu określenia wielkości denudacji chemicznej na Roztoczu i w jego strefie przykrawędziowej autorzy przeprowadzili badania własności fizyczno-chemicznych wód w dorzeczu Białej Łady w okresie od lutego 1970 do kwietnia 1971 r. Teren ten wybrano ze względu na zróżnicowanie zlewni pod względem budowy geologicznej, rzeźby i warunków hydrograficznych. W okresie badań wykorzystano dane z wodowskazów (Goraj, Sokółówka, Biłgoraj) oraz ze stacji opadowych (Turobin, Chrzanów, Goraj, Frampol, Biłgoraj). Dla tego obszaru istnieje opracowanie hydrograficzne (Michalczyk, 1969).

#### TEREN BADAŃ

Dorzecze Białej Łady leży w południowej części woj. lubelskiego. W jego obrębie istnieją dwie jednostki tektoniczne, odmienne pod względem budowy geologicznej i rzeźby: Roztocze i Kotlina Sandomierska. Górna część Białej Łady odwadnia południowy skłon Roztocza Zachodniego, zbu-

dowane z opok mastrychtu i kampanu, przykrytych warstwą lessu o zmiennej grubości. Na południe od Goraja, na wierzchołkach występują miocenne wapień detrytyczne i litotamniowe o miąższości do kilkudziesięciu metrów (Buraczyński, 1969, 1970). Charakterystycznym rysem rzeźby są zrównania wierzchołkowe o wysokości 300–340 m



Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów badawczych w dorzeczu Łady; 1 — źródła, 2 — punkty pomiarowe, 3 — dział wodny, 4 — krawędź Rostocza  
 Disposition des prises d'échantillons dans le bassin de la Łada; 1 — sources, 2 — postes de mesurage, 3 — ligne de partage des eaux, 4 — bordure du Rostocze

n.p.m., rozcięte głębokimi suchymi dolinami i wąwozami. Gęstość sieci suchych dolin wynosi  $1,4 \text{ km/km}^2$ , a gęstość sieci wąwozów w terenach lessowych osiąga  $7,0 \text{ km/km}^2$ . Sprzyja to szybkiemu spływowi wód roztopowych i opadowych (Buraczyński, 1970). Roztocze opada ku południowi, tzn. ku Kotlinie Sandomierskiej, stromym progiem denudacyjno-tektonicznym oraz stopniem przykrawędziowym. Kotlina Sandomierska zbudowana jest z ilów mioceńskich przykrytych piaskami oraz glinami morenowymi wieku plejstocenijskiego o miąższości od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Powierzchnia jej jest urozmaicona płytkimi zagłębieniami bezodpływowymi, pagórkami wydmyowymi oraz doliną rzeczną wcinającą się na kilka metrów w pokrywę piaszczystą.

#### WARUNKI HYDROGRAFICZNE

Biała Łada, wypływająca na Roztoczu z dużego źródła koło wsi Malinie, jest górnym odcinkiem rzeki Łady — prawego dopływu Tanwi. Powierzchnia dorzecza do połączenia z Czarną Ładą wynosi  $256 \text{ km}^2$ , w tym na zlewnię roztocką przypada  $132 \text{ km}^2$ ; całkowita długość Białej Łady wynosi 46 km, z czego w obrębie Roztocza — 18,5 km.

W skałach wapiennych roztockiej części dorzecza wytworzył się jeden bardzo zasobny poziom wodonośny. Miąższość warstwy suchej na zboczach wynosi 5—10 m, na wierzchowinach dochodzi do 50—70 m. Z tego poziomu wypływa kilka dużych źródeł: w Maliniu, Zastawiu, Abramowie, Starej Wsi. Wydajność ich jest bardzo wyrównana, co świadczy o dużej zasobności wodnej skał. Na terenie Kotliny Sandomierskiej I poziom wód układa się współkształtnie z powierzchnią terenu. Jego zasobność jest bezpośrednio uzależniona od ilości i rozkładu opadów. Warunki infiltracji i pojemności wodnej są różne w tych dwu częściach dorzecza. Na Roztoczu występuje mniejsza infiltracja przy dużej pojemności wodnej, zaś w Kotlinie Sandomierskiej sytuacja jest odwrotna.

Warunki opadowe w dorzeczu charakteryzują dane ze stacji we Frampolu i Biłgoraju. Średni opad za okres 1961—1970 wynosi dla Frampola 672,6 mm, a dla Biłgoraja — 649,1 mm. Wielkość opadów w dorzeczu Białej Łady w okresie badań nad denudacją chemiczną w r. 1970 wynosiła w Chrzanowie 884,4 mm, w Goraju 931,5 mm, we Frampolu 930,0 mm i w Biłgoraju 750,0 mm. W r. 1970 opad na Roztoczu był wyższy od średniego o około 200 mm, a w Kotlinie Sandomierskiej o około 100 mm.

Średni odpływ z dorzecza Białej Łady w r. 1970 wynosił w Sokołowie 0,66  $\text{m}^3/\text{sek.}$ , a w Biłgoraju 1,3  $\text{m}^3/\text{sek.}$ , a odpływ jednostkowy odpowiednio 5,0 i 5,7  $\text{l/sek./km}^2$  (tab. 5).



CHARAKTERYSTYKA FIZYCZNO-CHEMICZNA WÓD  
W DORZECZU BIAŁEJ ŁADY

W celu określenia fizyczno-chemicznych własności wód w dorzeczu Białej Łady przeprowadzono badania terenowe i laboratoryjne w okresie od lutego 1970 do kwietnia 1971 r. Badania terenowe, prowadzone raz w miesiącu, polegały na pomiarach przepływu rzeki, wydajności źródeł, temperatury wody i zawartości  $\text{CO}_2$ . Pobierano również próby wody do analiz chemicznych. Metodą miareczkowania oznaczano zawartość głównych jonów:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  i  $\text{Mg}^{++}$ . Sumę jonów  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$  wyliczono na podstawie różnicy milivali anionów i kationów (tab. 1). Oprócz tego oznaczano odczyn  $\text{pH}$  oraz przewodność elektryczną wody przy pomocy miernika MP-2. Na podstawie pomiarów przewodności obliczono mineralizację ogólną\*.

Temperatura wód kredowych we wszystkich badanych źródłach jest stała. W ciągu roku ulega tylko minimalnym wahaniom, od  $9,0$  do  $9,2^\circ\text{C}$ . Nieco większe wahania roczne wykazują wody trzeciorzędowe, od  $8,5$  do  $9,2^\circ\text{C}$ . Badane źródła trzeciorzędowe są mało wydajne, w okresie zimy podlegają łatwiej wpływom atmosferycznym; temperatura spada wtedy poniżej  $9^\circ\text{C}$ .

Odczyn wód kredowych na terenie Roztocza jest prawie obojętny lub słabo zasadowy. Wartość  $\text{pH}$  wynosi  $6,9$ — $7,5$ . W Kotlinie Sandomierskiej wody czwartorzędowe są lekko kwaśne ( $6,0$ — $6,5$ ).

Zawartość wolnego  $\text{CO}_2$  w wypływach źródłanych mierzono bezpośrednio w terenie. W dorzeczu Białej Łady stwierdzono niewielkie jego ilości. Ilość  $\text{CO}_2$  w wodach z utworów kredowych wynosi  $15$ — $22$  mg/l, a z trzeciorzędowych  $12$ — $15$  mg/l. W okresie zimowym zawartość wolnego  $\text{CO}_2$  w wypływach kredowych wykazuje wzrost powyżej  $20$  mg/l.

Trudno jest przeprowadzić pomiar ilości  $\text{CO}_2$  w wodach rzecznych, ponieważ wody szybko go tracą, tak że ilość  $\text{CO}_2$  spada do kilku miligramów na litr. Z obliczeń wynika, że  $\text{CO}_2$  znajduje się w równowadze z  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{Ca}^{++}$ , a więc nie występuje agresywny  $\text{CO}_2$ .

Analizy chemiczne wód roztockiej części dorzecza Białej Łady wykazały, że wody te należą do grupy  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{Ca}^{++}$ . Są to wody średnio zmineralizowane, o sumie jonów około  $500$  mg/l. Zawartość węglanów wynosi około  $330$  mg/l. Na taki skład chemiczny wpłynął charakter skał, w których odbywa się krążenie wody (tab. 2).

W składzie chemicznym skał kredowych i trzeciorzędowych zdecydowanie przeważa węglan wapnia. Natomiast związki magnezu występują

\* Mineralizację ogólną wód wyliczono według metody konduktometrycznej Doroszewskiego:  $M = \frac{720000}{\Omega_{18^\circ}}$ , oporność właściwą  $\Omega$  obliczono dla  $18^\circ\text{C}$ .

Tab. 1. Właściwości fizyczno-chemiczne wód w dorzeczu Białej Łady  
 Propriétés physico-chimiques des eaux dans le bassin de la Biała Łada

Lp.	Miejsce pobrania próby wody	Data	t°C wody	pH	CO <sub>2</sub> wolny mg/l	Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>		Cl <sup>-</sup>		Mineralizacja mg/l	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	Twardość mval/l	
						mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l		mval/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	TAC
1	Źródło w Maliniu	30 VII 70	9,2		17,6	2,58	51,6	0,14	1,7	5,65	344,6					353					13,6	5,6
2	Biała Łada w Goraju	22 VII 70	15,1		15,4	2,5	50,0	0,5	6,0	5,5	335,5					342					15,0	5,5
3		30 VII 70	16,6		7,3	2,52	50,4	0,56	6,7	5,6	341,6					350					15,4	5,6
4		22 XI 70	7,3			2,3	46,6	0,48	5,8	5,6	341,6					333					13,9	5,6
5		11 XII 70	7,3			2,32	46,4	0,56	6,7	5,4	329,4					325					14,4	5,4
6		19 I 71	7,0	6,9	13,2	2,38	47,6	0,58	6,9	5,9	359,9					362					14,8	5,9
7		16 II 71	7,3	7,0	4,8	2,48	49,6	0,4	4,8	5,55	338,5	0,64	30,7	0,18	6,0	343	111,2	14,9	17,3	2,4	14,4	5,5
8		18 III 71	8,1	7,0	11,0	2,44	48,8	0,44	5,3	6,0	366,0	0,48	21,0	0,22	7,4	352	113,6	17,1	11,3	1,8	14,4	6,0
9		19 IV 71	12,0		16,1	2,36	47,2	0,52	6,2	6,2	378,2	0,18	8,6	0,2	6,7	346	114,7	20,9	4,5	0,8	14,4	6,2
10	Źródło w Zastawiu	22 VII 70	9,1		17,8	2,56	51,2	0,52	6,2	5,82	356,8					354					15,4	5,8
11		30 VII 70	9,1			2,46	49,2	0,48	5,8	5,55	338,5					347					14,7	5,5
12		22 XI 70	9,2			2,7	54,0	0,2	2,4	5,1	311,1					328					14,5	5,1
13		11 XII 70	9,2			2,4	48,0	0,6	7,2	5,6	341,6					334					15,0	5,6
14		19 I 71	9,0	7,0	22,0	2,4	48,0	0,5	6,0	5,7	347,7					343					14,5	5,7
15		16 II 71	9,0	7,3	21,2	2,48	49,6	0,32	3,8	5,8	353,8	0,1	4,8	0,18	6,0	360	88,0	9,8	1,7	0,3	14,0	5,8
16		18 III 71	9,2	7,4	21,1	2,4	48,0	0,52	6,2	5,6	341,6	0,68	32,6	0,24	8,0	370	107,0	19,2	17,7	3,3	14,6	5,6
17		19 IV 71	9,1			2,36	47,2	0,64	7,7	6,3	384,3	0,5	24,0	0,2	6,7	353	109,3	24,7	11,8	2,8	15,0	6,3
18	Biała Łada w Sokołówce	30 VII 70	18,6		3,3	2,44	48,8	0,44	5,3	5,5	335,5					339					14,4	5,5
19		22 XI 70	7,2			2,28	45,6	0,52	6,2	5,6	341,6					311					14,0	5,6
20		19 I 71	4,5	7,5	5,7	2,32	46,4	0,48	5,8	5,4	329,4					337					14,0	5,4
21		16 II 71	5,2	7,3	4,8	2,4	48,0	0,34	4,1	5,5	335,5	0,66	31,7	0,35	11,7	330	107,0	12,7	17,3	2,2	13,7	5,5
22		18 III 71	7,2	7,4	4,8	2,28	45,6	0,44	5,3	5,6	341,6	2,12	101,8	0,25	8,4	333	82,7	13,3	42,5	7,2	13,6	5,6
23		19 IV 71	11,4			2,2	44,0	0,44	5,3	5,5	335,5	0,34	16,3	0,25	8,4	296	103,6	17,3	8,7	1,5	13,2	5,5
24	Źródło w Sokołówce	30 VII 70	9,2		12,8	2,58	51,6	0,12	1,4	4,35	265,3					339					13,5	4,3
25		19 I 71	8,5	6,9	12,1	2,44	48,8	0,16	1,9	4,4	268,4					330					13,0	4,4
26		16 II 71	8,8	7,1	15,4	2,48	49,6	0,06	0,7	4,25	259,2	0,72	35,5	0,4	13,4	325	105,5	2,0	25,2	0,5	12,7	4,2
27		19 IV 71	9,2			2,28	45,6	0,24	2,9	4,5	274,5	0,52	25,0	0,5	16,7	313	102,2	9,0	16,0	1,5	12,6	4,5
28	Biała Łada w Korytkowie	16 II 71	4,3	7,1	4,8	2,06	41,2	0,18	2,1	4,4	268,4	0,48	21,0	0,25	8,4	271	92,9	6,5	13,8	1,0	11,2	4,4
29	Królówka w Biłgoraju	16 II 71	1,7	5,8	3,1	0,4	8,0	0,02	0,2	0,6	36,6	0,52	25,0	0,1	3,3	62	10,7	0,4	12,6	0,4	4,1	0,6
30	Biała Łada w Biłgoraju	11 XII 70	4,2			1,28	25,6	0,24	2,9	2,7	164,7					193					7,7	2,7
31		19 I 71	3,0	7,1	7,2	1,68	33,6	0,2	2,4	3,5	213,5					227					9,4	3,5
32		16 II 71	3,6	6,9	3,9	1,52	30,4	0,08	0,9	3,0	183,0	0,64	30,7	0,25	8,4	204	62,6	2,6	18,2	0,8	8,0	3,0
33	Czarna Łada w Biłgoraju	19 I 71	1,1	6,7	6,1	0,72	14,4	0,14	1,7	1,5	91,5					111					4,3	1,5
34		16 II 71	1,3	6,0	3,9	0,68	13,6	0,04	0,5	1,25	76,3	0,52	25,0	0,2	6,7	105	23,9	1,2	13,6	0,7	3,6	1,2
35	Łada w Rudzie Zagrodach	11 XII 70	3,7			1,0	20,0	0,28	3,4	2,2	134,2					150					6,4	2,2
36		19 I 71	0,2	6,8	6,1	1,1	22,0	0,18	2,1	2,4	146,4					167					6,4	2,4
37		16 II 71	2,0	6,5	3,1	0,96	19,2	0,04	0,5	1,8	109,8	0,2	9,6	0,25	8,4	144	43,2	1,6	6,7	0,2	5,0	1,8

Tabela 1. Wyniki pomiarów rezystancji i impedancji w układach

Różnorodnych przyłączeniach linii, w tym: 10 kV, 20 kV, 30 kV, 50 kV, 110 kV, 220 kV, 330 kV, 500 kV

Lp.	10 kV		20 kV		30 kV		50 kV		110 kV		220 kV		330 kV		500 kV	
	Re	X	Re	X	Re	X	Re	X	Re	X	Re	X	Re	X	Re	X
1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08
2	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,16
3	0,03	0,03	0,06	0,06	0,09	0,09	0,12	0,12	0,15	0,15	0,18	0,18	0,21	0,21	0,24	0,24
4	0,04	0,04	0,08	0,08	0,12	0,12	0,16	0,16	0,20	0,20	0,24	0,24	0,28	0,28	0,32	0,32
5	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20	0,25	0,25	0,30	0,30	0,36	0,36	0,42	0,42
6	0,06	0,06	0,12	0,12	0,18	0,18	0,24	0,24	0,30	0,30	0,36	0,36	0,42	0,42	0,48	0,48
7	0,07	0,07	0,14	0,14	0,21	0,21	0,28	0,28	0,35	0,35	0,42	0,42	0,48	0,48	0,54	0,54
8	0,08	0,08	0,16	0,16	0,24	0,24	0,32	0,32	0,40	0,40	0,48	0,48	0,56	0,56	0,64	0,64
9	0,09	0,09	0,18	0,18	0,27	0,27	0,36	0,36	0,45	0,45	0,54	0,54	0,62	0,62	0,70	0,70
10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50	0,60	0,60	0,70	0,70	0,80	0,80
11	0,11	0,11	0,22	0,22	0,33	0,33	0,44	0,44	0,55	0,55	0,66	0,66	0,76	0,76	0,86	0,86
12	0,12	0,12	0,24	0,24	0,36	0,36	0,48	0,48	0,60	0,60	0,72	0,72	0,82	0,82	0,92	0,92
13	0,13	0,13	0,26	0,26	0,39	0,39	0,52	0,52	0,65	0,65	0,78	0,78	0,90	0,90	1,00	1,00
14	0,14	0,14	0,28	0,28	0,42	0,42	0,56	0,56	0,70	0,70	0,84	0,84	0,96	0,96	1,06	1,06
15	0,15	0,15	0,30	0,30	0,45	0,45	0,60	0,60	0,75	0,75	0,90	0,90	1,02	1,02	1,12	1,12
16	0,16	0,16	0,32	0,32	0,48	0,48	0,64	0,64	0,80	0,80	0,96	0,96	1,08	1,08	1,18	1,18
17	0,17	0,17	0,34	0,34	0,51	0,51	0,68	0,68	0,85	0,85	1,02	1,02	1,14	1,14	1,24	1,24
18	0,18	0,18	0,36	0,36	0,54	0,54	0,72	0,72	0,90	0,90	1,08	1,08	1,20	1,20	1,30	1,30
19	0,19	0,19	0,38	0,38	0,57	0,57	0,76	0,76	0,95	0,95	1,14	1,14	1,26	1,26	1,36	1,36
20	0,20	0,20	0,40	0,40	0,60	0,60	0,80	0,80	1,00	1,00	1,20	1,20	1,32	1,32	1,42	1,42
21	0,21	0,21	0,42	0,42	0,63	0,63	0,84	0,84	1,05	1,05	1,26	1,26	1,38	1,38	1,48	1,48
22	0,22	0,22	0,44	0,44	0,66	0,66	0,88	0,88	1,10	1,10	1,32	1,32	1,44	1,44	1,54	1,54
23	0,23	0,23	0,46	0,46	0,69	0,69	0,92	0,92	1,15	1,15	1,38	1,38	1,50	1,50	1,60	1,60
24	0,24	0,24	0,48	0,48	0,72	0,72	0,96	0,96	1,20	1,20	1,44	1,44	1,56	1,56	1,66	1,66
25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,75	0,75	1,00	1,00	1,25	1,25	1,50	1,50	1,62	1,62	1,72	1,72
26	0,26	0,26	0,52	0,52	0,78	0,78	1,04	1,04	1,30	1,30	1,56	1,56	1,68	1,68	1,78	1,78
27	0,27	0,27	0,54	0,54	0,81	0,81	1,08	1,08	1,35	1,35	1,62	1,62	1,74	1,74	1,84	1,84
28	0,28	0,28	0,56	0,56	0,84	0,84	1,12	1,12	1,40	1,40	1,68	1,68	1,80	1,80	1,90	1,90
29	0,29	0,29	0,58	0,58	0,87	0,87	1,16	1,16	1,45	1,45	1,74	1,74	1,86	1,86	1,96	1,96
30	0,30	0,30	0,60	0,60	0,90	0,90	1,20	1,20	1,50	1,50	1,80	1,80	1,92	1,92	2,02	2,02
31	0,31	0,31	0,62	0,62	0,93	0,93	1,24	1,24	1,55	1,55	1,86	1,86	1,98	1,98	2,08	2,08
32	0,32	0,32	0,64	0,64	0,96	0,96	1,28	1,28	1,60	1,60	1,92	1,92	2,04	2,04	2,14	2,14
33	0,33	0,33	0,66	0,66	0,99	0,99	1,32	1,32	1,65	1,65	1,98	1,98	2,10	2,10	2,20	2,20
34	0,34	0,34	0,68	0,68	1,02	1,02	1,36	1,36	1,70	1,70	2,04	2,04	2,16	2,16	2,26	2,26
35	0,35	0,35	0,70	0,70	1,05	1,05	1,40	1,40	1,75	1,75	2,10	2,10	2,22	2,22	2,32	2,32
36	0,36	0,36	0,72	0,72	1,08	1,08	1,44	1,44	1,80	1,80	2,16	2,16	2,28	2,28	2,38	2,38
37	0,37	0,37	0,74	0,74	1,11	1,11	1,48	1,48	1,85	1,85	2,22	2,22	2,34	2,34	2,44	2,44
38	0,38	0,38	0,76	0,76	1,14	1,14	1,52	1,52	1,90	1,90	2,28	2,28	2,40	2,40	2,50	2,50
39	0,39	0,39	0,78	0,78	1,17	1,17	1,56	1,56	1,95	1,95	2,34	2,34	2,46	2,46	2,56	2,56
40	0,40	0,40	0,80	0,80	1,20	1,20	1,60	1,60	2,00	2,00	2,40	2,40	2,52	2,52	2,62	2,62
41	0,41	0,41	0,82	0,82	1,23	1,23	1,64	1,64	2,05	2,05	2,46	2,46	2,58	2,58	2,68	2,68
42	0,42	0,42	0,84	0,84	1,26	1,26	1,68	1,68	2,10	2,10	2,52	2,52	2,64	2,64	2,74	2,74
43	0,43	0,43	0,86	0,86	1,29	1,29	1,72	1,72	2,15	2,15	2,58	2,58	2,70	2,70	2,80	2,80
44	0,44	0,44	0,88	0,88	1,32	1,32	1,76	1,76	2,20	2,20	2,64	2,64	2,76	2,76	2,86	2,86
45	0,45	0,45	0,90	0,90	1,35	1,35	1,80	1,80	2,25	2,25	2,70	2,70	2,82	2,82	2,92	2,92
46	0,46	0,46	0,92	0,92	1,38	1,38	1,84	1,84	2,30	2,30	2,76	2,76	2,88	2,88	2,98	2,98
47	0,47	0,47	0,94	0,94	1,41	1,41	1,88	1,88	2,35	2,35	2,82	2,82	2,94	2,94	3,04	3,04
48	0,48	0,48	0,96	0,96	1,44	1,44	1,92	1,92	2,40	2,40	2,88	2,88	3,00	3,00	3,10	3,10
49	0,49	0,49	0,98	0,98	1,47	1,47	1,96	1,96	2,45	2,45	2,94	2,94	3,06	3,06	3,16	3,16
50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,50	1,50	2,00	2,00	2,50	2,50	3,00	3,00	3,12	3,12	3,22	3,22

roszewskiego:  $M = \frac{720000}{Q 18^\circ}$ , oporność właściwą  $\Omega$  obliczono dla 18°C.

Tab. 2. Skład chemiczny skał węglanowych na Roztoczu w procentach  
Composition chimique des roches calcaires du Roztocze en pourcentages

Miejsce pobrania próby	Charakterystyka petrograficzna	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	Straty prażenia
Kosobudy *	opoka (kreda)	36,5	0,80	6,30	30,2	1,0	—	
Krawędź Roztocza koło Frampola	wapień litotamniowy (torton)	1,29	0,30	0,47	53,8	0,05	—	43,32
Góra Chelmik koło Frampola	wapień serpulowy (sarmat)	1,53	0,25	0,44	53,5	1,81	0,12	42,72

\* Według Kozłowskiego i Wyrwickiej (1970).

w małych ilościach w opokach kredowych, a w wapieniach tortońskich udział ich jest znikomy. Procentowy udział Ca i Mg w skałach ma swe odbicie w zawartości jonów Ca<sup>++</sup> i Mg<sup>++</sup> w wodach. Zawartość Ca<sup>++</sup> w wodach źródłanych na Roztoczu waha się w granicach 45—54 mg/l. W Kotlinie Sandomierskiej spada do 20 mg/l. Zawartość Mg<sup>++</sup> w wodach kredowych wynosi 2,4—7,7 mg/l, a w wodach trzeciorzędowych — 0,7—2,9 mg/l. Twardość węglanowa wód w dorzeczu Białej Łady waha się w granicach od 2,0 do 6,0 mval/l, przy czym wody kredowe są twardsze (5,5—6,0) niż trzeciorzędowe (4,2—4,5 mval/l).

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zróżnicowanie zawartości Ca<sup>++</sup> i Mg<sup>++</sup> w wodach gruntowych nie wykazało wyraźnego związku z poszczególnymi porami roku.

Głównym anionem występującym w wodach Roztocza jest HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Jego zawartość w wodach kredowych waha się od 310 do 385 mg/l, a w wodach trzeciorzędowych 259—275 mg/l. W Kotlinie Sandomierskiej występuje w mniejszych ilościach — 180 mg/l. Jony SO<sub>4</sub><sup>--</sup> i Cl<sup>-</sup> odgrywają mniejszą rolę, ale wykazują znacznie większe wahania roczne.

Mineralizacja ogólna wód Białej Łady związana jest ze sposobem zasilania rzeki (tab. 3). Na terenie Roztocza dominuje zasilanie gruntowe charakteryzujące się stałą ilością wypływających wód. Mineralizacja ogólna wody w źródłach w Zastawiu i Maliniu (tab. 1) jest podobna i wynosi 325—370 mg/l. Wody podziemne również wykazują małe wahania. Natomiast mineralizacja wód ze spływu powierzchniowego w czasie roztopów była dość zróżnicowana; wynosiła 74 mg/l (2 IV 1970) i 50 mg/l (19 III 1971). Z tabeli można wywnioskować, że mineralizacja ogólna wody



Tab. 3. Własności fizyczno-chemiczne wody  
Propriétés physico-chimiques des eaux dans

Miejsce pobrania próby wody	t°C wody	pH	CO <sub>2</sub> wolny mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l
Źródło — Zastawie	9,0	7,3	21,1	49,6	3,8
Biała Łada — Goraj	7,3	7,0	4,8	49,6	4,8
Biała Łada — Sokołówka	5,2	7,3	4,8	48,0	4,1
Źródło— Sokołówka	8,8	7,1	15,4	49,6	0,7
Biała Łada — Korytków	4,3	7,1	4,8	41,2	2,1
Królowka — Biłgoraj	1,7	5,8	3,1	8,0	0,2
Biała Łada — Biłgoraj	3,6	6,9	3,9	30,4	0,9
Czarna Łada — Biłgoraj	1,3	6,0	3,9	13,6	0,5
Łada — Ruda Zagrody	2,0	6,5	3,1	19,2	0,5

rzecznej maleje wraz ze wzrostem zasilania powierzchniowego; w okresie odwilży w dniu 2 IV 1970 r. obniżyła się do 200 mg/l.

Fizyczno-chemiczne właściwości wód Białej Łady zmieniają się poniżej krawędzi Roztocza. W strefie tej rzekę zasilają wody z obszaru Kotliny Sandomierskiej, cechujące się odmiennymi własnościami. Rzeki zasilane tymi wodami charakteryzują się małą zawartością jonów Ca<sup>++</sup> (około 10 mg/l) i Mg<sup>++</sup> (poniżej 1 mg/l). Mineralizacja wód jest niewielka, poniżej 100 mg/l. Pozwala to zaliczyć badane rzeki do grupy o wodzie bardzo słabo zmineralizowanej (Alekin, 1956).

Skład chemiczny wody w rzece zmienia się wraz z jej biegiem. Ilustruje to tab. 3, dotycząca pomiarów z jednego dnia. Roztockie odcinek rzeki (do Sokołówki) wykazuje wyrównany skład jonowy, twardość, pH oraz mineralizację. Na terenie Kotliny Sandomierskiej z biegiem rzeki następuje spadek zawartości wszystkich jonów, a więc i twardości, czyli maleje stopień mineralizacji. Jest to spowodowane zasilaniem rzeki na tym odcinku mało zmineralizowanymi (poniżej 100 mg/l) wodami gruntowymi z utworów czwartorzędowych.

Widać więc, że wyraźna morfologiczna i geologiczna dwudzielnosc dorzecza odbija się również na cechach fizyczno-chemicznych wody w Białej Ładzie.

Porównując otrzymane wyniki z pomiarami Jaworskiej (1968) można stwierdzić, że średnie zawartości jonów Ca<sup>++</sup> i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> w wodach Wieprza i Białej Łady są podobne, natomiast wody Wyżyny Krakowskiej



w dorzeczu Łady w dniu 16 lutego 1971 r.  
le bassin de la Łada, le 16 février 1971

Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> z wyliczenia mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	Suma jonów mg/l	Twardość		Mineralizacja mg/l
					TAC	węglanowa	
75,9	352,8	4,8	46,0	493,9	14,0	5,8	360
80,3	338,5	30,7	6,0	509,9	14,4	5,5	343
83,9	335,5	31,7	11,7	514,9	13,7	5,5	330
65,5	259,2	35,5	13,4	423,9	12,7	4,2	325
66,5	268,4	21,0	8,4	407,6	11,2	4,4	271
9,8	36,6	25,0	3,3	82,9	2,1	0,6	62
52,7	193,0	30,7	8,4	306,1	8,0	3,0	204
28,7	76,2	25,0	6,7	150,7	3,6	1,2	105
28,7	109,8	9,6	8,4	175,8	5,0	1,8	144

zawierają znacznie mniej jonów HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, a więcej jonów Ca<sup>++</sup> (Olek synowa, 1966; Tłalka, 1967).

#### DENUDACJA CHEMICZNA

Denudację chemiczną oblicza się jako sumę jonów zawartych w wodzie, suchą pozostałość lub na podstawie pomiarów przewodności. Denudację chemiczną w dorzeczu Białej Łady określono metodą konduktometryczną mierząc przewodność elektryczną wody, a następnie obliczając mineralizację i denudację (tab. 4). Ponieważ w górnej części dorzecza przeważa zasilanie rzeki ze źródeł, a spływ wód powierzchniowych następuje bardzo szybko, więc denudację chemiczną dla profilu Goraj określono tylko dla wód gruntowych; wynosiła ona 40,8 ton/km<sup>2</sup>/rok. W profilu Sokołówka i Biłgoraj określono łączną wielkość denudacji dla wód pochodzących z zasilania gruntowego i powierzchniowego; dla Sokołówki wielkość ta wynosiła 50,4 ton/km<sup>2</sup>/rok, a dla Biłgoraja 37,7 ton/km<sup>2</sup>/rok (tab. 5). Otrzymane wyniki charakteryzują denudację przy średnich stacjach wody, ponieważ przy wysokich przepływach wykonano małą liczbę pomiarów. Wyniki te wskazują na wzrost denudacji w kierunku od źródeł do krawędzi zewnętrznej Roztocza (ryc. 1). Na obszarze Kotliny Sandomierskiej wielkość denudacji maleje, co związane jest z dopływem wód o znacznie mniejszej mineralizacji (tab. 3).

W celu porównania obliczono denudację chemiczną ze stężenia jonów.

Tab. 4. Wahania mineralizacji ogólnej M obliczonej metodą konduktometryczną  
 Variations de la minéralisation générale M calculée par la méthode conductométrique

Miejsce poboru próbki wody	Źródło Zastawie				B. Łada — Goraj				Biała Łada — Sokołówka				B. Łada — Biłgoraj			
	Q l/sek	M mg/l	d g/sek	Q l/sek	M mg/l	d g/sek	Q l/sek	M mg/l	d g/sek	Q l/sek	M mg/l	d g/sek	Q l/sek	M mg/l	d g/sek	
28 II 70	71,8	355	25,49	180,1	360	64,8	560	345	193,2							
12 III 70	79,3	357	28,31	198,0	367	72,8	580	352	204,2							
2 IV 70	91,3	359	33,06	680,0	210	142,8	1143	195	222,9							
1 V 70	88,3	361	29,71	192,0	346	66,4	600	343	205,8							
26 V 70	76,3	375	28,61	175,0	350	61,0	560	345	193,2							
28 VI 70	79,4	342	27,15	193,7	344	66,6	624	336	209,7							
30 VII 70	79,5	347	27,60	193,0	350	67,6	513	339	173,9							
15 IX 70	84,3	363	30,60	180,0	372	67,0	517	335	174,0							
22 XI 70	95,8	328	31,42	219,8	333	73,2	772	311	240,0							
11 XII 70	93,6	334	31,26	201,0	325	65,3	697	313	218,2			1944	193	375,2		
19 I 71	103,7	343	35,57	209,9	362	76,0	573	337	193,1			1152	226	260,4		
16 II 71	89,5	359	31,93	220,2	343	75,5	668	330	220,4			1912	204	390,0		
26 III 71	95,1	370	35,19	258,4	351	90,7	671	332	222,8			2042	188	383,9		
22 IV 71	96,4	353	34,03	195,4	346	67,6	639	295	188,5			1057	238	251,6		

Q — przepływ, M — mineralizacja, d — denudacja chemiczna.

Q — écoulement, M — minéralisation, d — dénudation chimique.

Tab. 5. Denudacja chemiczna w dorzeczu Białej Łady w okresie II 1970—IV 1971 r.  
Dénudation chimique dans le bassin de la Biała Łada pendant la période de février  
1970 à avril 1971

Zlewnia	Q l/sek	P km <sup>2</sup>	q l/sek./km <sup>2</sup>	M mg/l	Denudacja chemiczna		
					g/sek	ton/rok	ton/km <sup>2</sup> /rok
Goraj	293,6	79,8	3,67	352	103,3	3 259,2	40,8
Sokołówka	660,0	132,1	4,99	320	211,2	6 660,4	50,4
Biłgoraj *	1250,0	225,0	5,56	215	268,8	8 475,3	37,7

\* Za okres XII 1970—IV 1971, Q — przepływ, P powierzchnia, q — odpływ jednostkowy, M — mineralizacja.

\* Pendant la période de XII 1970 à IV 1971, Q — écoulement, P — surface, q — écoulement simple, M — minéralisation.

Otrzymano wartość 300—500 mg/l (tab. 1), która jest wyższa od wartości obliczonych ze stopnia mineralizacji. Dla profilu w Sokołówce otrzymano tą drogą liczbę 80 ton/km<sup>2</sup>/rok, a dla Biłgoraja 52 ton/km<sup>2</sup>/rok.

Wyliczone wartości odniesiono do nielicznych danych z innych obszarów Polski. Ze względu na różną wielkość dorzeczy i nie pokrywające się ze sobą okresy obserwacji, nie można przeprowadzić bezpośredniego porównania. Przytoczone liczby wskazują jedynie na natężenie denudacji. Na Wyżynie Krakowskiej w dorzeczu Prądnika i Złotego Potoku stężenie jonów wynosiło 200—380 mg/l, a denudacja chemiczna osiągnęła 50,8—53,2 ton/km<sup>2</sup>/rok (Oleksynowa, 1966; Oleksynowa i Oleksynówna, 1971; Markowicz-Łohinowicz, 1968). Większą denudację na Wyżynie Krakowskiej stwierdziła Tłałka (1967) w dorzeczu Rudawy, gdzie stężenie jonów wynosi 474,4 mg/l, a denudacja chemiczna 110,7 ton/km<sup>2</sup>/rok. W dorzeczu Wieprza stężenie jonów wynosi 315,7—547,3 mg/l, przy wartości denudacji chemicznej 27,8—30,4 ton/km<sup>2</sup>/rok (Jaworska, 1968).

Z przytoczonych danych wynika, że wielkość denudacji chemicznej w dorzeczu Białej Łady na terenie Roztocza zbliżona jest do wartości uzyskanych dla Wyżyny Krakowskiej, gdzie o charakterze zjawiska decyduje podobne zasilanie gruntowe. Denudacja w Biłgoraju w Kotlinie

Sandomierskiej podobna jest do wartości obliczonych dla Wieprza w Kośminie.

## LITERATURA

1. Alekin O. A.: Podstawy hydrochemii. Warszawa 1956.
2. Buraczyński J.: Zarys geomorfologii Roztocza Zachodniego (rès. Essai géomorphologique du Roztocze Occidental). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. XXII (1967), Lublin 1969, ss. 77—123.
3. Buraczyński J.: Typy dolin Roztocza Zachodniego (rès. Types de vallées du Roztocze Occidental). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. XXIII (1968), Lublin 1970, ss. 47—86.
4. Corbel J.: L'érosion terrestre, étude quantitative. Annales de Géogr. 73, 398, 1964.
5. Dąbrowska J., Werner-Więckowska H., Gutry-Korycka M.: Badania hydrochemiczne na Wyżynie Sandomierskiej na tle kartowania hydrograficznego i obliczeń hydrologicznych (sum. Hydrochemical Research in the Sandomierz Upland). Prace Geograficzne UJ, z. 29, Kraków 1971, ss. 63—77.
6. Jaworska M.: Erozja chemiczna i denudacja zlewni rzek Wieprza i Pilicy (sum. Chemical Erosion and Denudation of Wieprz and Pilica Basins). Prace PIHM, z. 95, Warszawa 1968, ss. 29—47.
7. Kotarba A.: The Course and Intensity of Present-Day Superficial Chemical Denudation in the Western Tatra Mts (str. Przebieg i natężenie współczesnej powierzchniowej denudacji chemicznej w Tatrach Zachodnich). Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, vol. V, Kraków 1971, ss. 111—127.
8. Kozłowski S., Wyrwicka K.: Surowce skalne obszaru lubelskiego. Przewodnik XLII Zjazdu P.T.Geol. Lublin, 3—5 września 1970, Warszawa 1970.
9. Markowicz-Łohinowicz M.: Procesy współczesnej korozji krasowej masywu wapiennego Jury Częstochowskiej (rès. Corrosion karstique contemporaine dans le massif calcaire du Jura de Częstochowa). Speleologia, t. III, z. 2, Warszawa 1968, ss. 58—85.
10. Michalczyk Z.: Próba charakterystyki zasilania wodami podziemnymi Białej Łady (sum. An Attempt to Characterize the Feeding of the Biała Łada River with Ground Water). Biuletyn LTN, s. D, vol. 12, Lublin 1971, ss. 87—92.
11. Michalczyk Z.: Stosunki wodne w zlewni Białej Łady do wodowskazu w Biłgoraju. Maszynopis w Zakładzie Hydrografii UMCS, Lublin 1969.
12. Oleksynowa K.: Materiały do poznania chemizmu wód Doliny Prądnika i Doliny Sąspowskiej (sum. Some New Data on the Composition of the Water in the Valley of the River Prądnik and the Valley of Sąspów). Acta Hydrobiol., vol. 8, nr 3—4, 1966, ss. 275—292.
13. Oleksynowa K., Oleksynówna B.: A Tentative Comparison of Karst Waters in the Tatra Mts, with these of the Kraków-Częstochowa Plateau (str. Próba porównania wód krasowych w Tatrach z wodami Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej). Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica, vol. V, Kraków 1971, ss. 93—103.
14. Prikoński W. A., Łaptiew E. F.: Własności fizyczne i skład chemiczny wód podziemnych. Warszawa 1955.
15. Pulina M.: Zjawiska krasowe we Wschodniej Syberii (sum. Karst Phenomena in Eastern Siberia). Prace Geogr. IG PAN, nr 70, Warszawa 1968.



16. Stangenberg M.: Skład chemiczny i bakteriologiczny. Wskaźnik zanieczyszczenia rzek Wieprza i Pilicy. Wiad. Służby Hydrol. i Meteor., II, z. 4—5, Warszawa 1951, ss. 305—343.
17. Tłałka A.: Chemizm wody rzeki Rudawy i jego zmiany w ciągu roku (sum. The Chemism of the Water of River Rudawa and its Changes during the Year). Przegl. Geogr., t. 39, z. 3, Warszawa 1967, ss. 550—576.

## РЕЗЮМЕ

В работе приводятся физико-химические свойства воды в бассейне Бялей Лады и интенсивность химической денудации в период февраль 1970 — апрель 1971 г.

Бассейн Бялей Лады отчетливо делится на две части, которые отличаются друг от друга геологическим строением, рельефом и водными отношениями. Эта отчетлива дихотомия бассейна отражается также и на физико-химических свойствах воды.

В верхней части бассейна физико-химические свойства грунтовых вод подвергаются в течение года небольшим колебаниям, а источники характеризуются небольшой изменчивостью дебита и почти постоянной температурой (9,0—9,2°C). Содержание свободного  $\text{CO}_2$  в них составляет 15—22 мг/л, а реакция воды — нейтральная или слабощелочная. Главными ионами вод являются:  $\text{Ca}^{++}$  (45—54 мг/л),  $\text{Mg}^{++}$  (2,4—7,7 мг/л) и  $\text{HCO}_3$  (310—385 мг/л). Минерализация воды = 325—370 мг/л.

В нижней части бассейна — в Сандомирской Котловине — физико-химические свойства воды изменяются. Они характеризуются небольшим содержанием ионов  $\text{Ca}^{++}$  (около 10 мг/л) и  $\text{Mg}^{++}$  (меньше 1 мг/л). Минерализация вод небольшая и составляет около 100 мг/л.

Величина химической денудации, также как и физико-химические свойства, изменяются вместе с течением реки. Для профиля Соколувка она составляет 50,4 тонн/км<sup>2</sup>/год, а для Билгорая — 37,7 тонн/км<sup>2</sup>/год. Полученные величины интенсивности химической денудации для бассейна Бялей Лады близки величинам других возвышенных территорий Польши.

## ОБЪЯСНЕНИЯ РИСУНКОВ И ТАБЛИЦ

Рис. 1. Размещение исследовательских пунктов в бассейне Лады; 1 — источники, 2 — измерительные пункты, 3 — водораздел, 4 — краевой уступ Розточа.

Табл. 1. Физико-химические свойства вод в бассейне Бялей Лады.

Табл. 2. Химический состав карбонатных пород на Розточе в %.

Табл. 3. Физико-химические свойства воды в бассейне Лады 16 февраля 1971 г.

Табл. 4. Колебания общей минерализации, подсчитанной кондуктометрическим методом.

Табл. 5. Химическая денудация в бассейне реки Бяля Лада в период февраль 1970 — апрель 1971 г.

## R É S U M É

La présente étude expose les propriétés physico-chimiques des eaux du bassin de la Biała Łada et la calculation de l'intensité de la dénudation chimique au cours de la période de février 1970 à avril 1971.

Le bassin de la Biała Łada comprend deux parties distinctes au point de vue de la structure géologique, du relief et des conditions hydrographiques. Cette division en deux du bassin a des répercussions sur les caractères physico-chimiques des eaux.

Dans la partie amont du bassin, celle de Roztocze, les propriétés physico-chimiques des eaux souterraines ne varient pas beaucoup au cours de l'année. Les sources se caractérisent par une variabilité peu importante de leur débit, et par leur température presque constante (9,0—9,2°C). Leur teneur en CO<sub>2</sub> libre s'élève à 15—22 mg/l, et l'acidité des eaux est neutre ou faiblement alcaline. Les principaux ions des eaux sont les suivants: Ca<sup>++</sup> (45—54 mg/l), Mg<sup>++</sup> (2,4—7,7 mg/l) et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (310—385 mg/l). La minéralisation de l'eau s'élève à 325—370 mg/l.

Dans la partie aval du bassin, dans le Bassin de Sandomierz, les propriétés physico-chimiques des eaux changent. Leur teneur en ions diminue: ions Ca<sup>++</sup> vers 10 mg/l, ions Mg<sup>++</sup> moins de 1 mg/l. La minéralisation des eaux est de 100 mg/l environ, donc peu importante.

L'importance de la dénudation chimique, ainsi que les propriétés physico-chimiques, se modifient avec le cours de la rivière. Pour le profil de Sokółówka, la dénudation s'élève à 50,4 t/km<sup>2</sup>/an, pour Biłgoraj à 37,7 t/km<sup>2</sup>/an. Les valeurs d'intensité de la dénudation chimique obtenues pour le bassin de la Biała Łada approchent celles des autres plateaux de la Pologne.