

ZMIANY CECH FIZYCZNO-CHEMICZNYCH WÓD WYWIERZYSK: CHOCHOŁOWSKIEGO, LODOWEGO I OLCZYSKIEGO W 2009 R.

CHANGES IN PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CHOCHOŁOWSKIE, LODOWE AND OLCZYSKIE VAUCLUSE SPRINGS IN 2009

MIROSLAW ŻELAZNY¹, GRZEGORZ BARCZYK², ANNA WOLANIN¹, SABINA WÓJCIK³

Abstrakt. Celem opracowania jest poznanie zmian cech fizyczno-chemicznych wód trzech wywierzysk tatrzańskich: Chochołowskiego, Lodowego i Olczyskiego. Skład chemiczny wód wywierzysk istotnie się różni w zakresie średnich stężeń Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- i SO_4^{2-} (ANOVA). Za pomocą analizy składowych głównych (PCA), na podstawie relacji: wydajności, temperatury wody i składu chemicznego wody, wyznaczono dwa lub trzy czynniki (PCA), które wyjaśniają większą część zmian składu chemicznego wody w ciągu roku. Wykazano, że wywierzyska Olczyskie i Lodowe charakteryzują się podobnymi zmianami składu chemicznego wody, a Chochołowskie – odmiennymi.

Słowa kluczowe: wody podziemne, chemizm, kras, PCA, Tatrzański Park Narodowy.

Abstract. The aim of this paper is to examine the variability of physical and chemical characteristics of vaucluse springs (Chochołowskie, Lodowe and Olczyskie) in the Tatra Mts. The concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} in water of the Chochołowskie, Lodowe and Olczyskie vaucluse springs are significantly different (ANOVA). Using principal component analysis (PCA) based on the relationship (discharge, water temperature and chemical composition), three or two factors have been determined.

Key words: groundwater, chemistry, spring karst, PCA, Tatra National Park.

WSTĘP

Wywierzyska, ze względu na dużą wydajność, były przedmiotem licznych badań, które Zejszner (1844) prowadził już w XIX w. Na początku XX w. Wrzosek (1933) opracował monografię krasu w Tatrach Polskich. W latach 50., 60. i 70. XX w. metodami znacznikowymi określano przepływy wód krasowych (Dąbrowski, Rudnicki, 1967; Dąbrowski, Głazek, 1968; Solicki, Koisar, 1973). Na początku lat 70. XX w.

Małecka rozpoczęła monitoring hydrogeologiczny wywierzysk (np.: Małecka, 1980, 1997; Małecka, Humnicki, 1989; Barczyk, 1994). Badaniem składu chemicznego wywierzysk zajmowali się m.in.: Oleksynowa i Komornicki (1958, 1960, 1989, 1996), Oleksynowa (1970), Kotarba (1972), Pulina (1974), Małecka (1997), Barczyk (2008) oraz Wolanin i Żelazny (2010).

¹ Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Hydrologii, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; e-mail: miroslaw.zelazny@uj.edu.pl, anna.wolanin@uj.edu.pl

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: gb59@uw.edu.pl

³ Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Geografii Fizycznej, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; e-mail: sabina.wojcik@uj.edu.pl

Celem opracowania jest poznanie zmian cech fizyczno-chemicznych wód wywierzysk tatrzańskich: Chochołowskiego, Lodowego i Olczyskiego⁴.

Dwa pierwsze z wymienionych wywierzysk wypływają na obszarze o przewadze krążenia krasowego, natomiast trzecie charakteryzuje nieco odmienne – szczelinowe i szczelinowo-krasowe – krążenie w obrębie systemu wywierzyskowego (Barczyk, 2008).

Wywierzysko Chochołowskie znajduje się w odległości ok. 30 m na południe od Skały Kmietowicza w Dolinie Chochołowskiej (988 m n.p.m.). Wypływa u podnóża stromych stoków zbudowanych z dolomitów płytowych (trias środkowy) serii regłowej dolnej (kriżniańskiej). System tego wywierzyska jest związany z dużymi systemami jaskiń: Bańdziej Kominiarski i Szczelina Chochołowska.

Wywierzysko Lodowe, wypływ ascensyjny z rumoszu wapiennego (974 m n.p.m.) w strefie kontaktu serii wiercho-

wej i regłowej, jest położone na północ od Bramy Kraszewskiego. Obszar zasilania jest związany z masywem Czerwonych Wierchów i licznymi systemami jaskiniowymi. Większa część masywu jest zbudowana z utworów płaszczowiny Czerwonych Wierchów (jednostki tektoniczne Organów i Żdzarów), które są rozdzielone dyslokacją Organów (Bac-Moszaszwili, Nowicki, 2006).

Wywierzysko Olczyskie znajduje się na skraju Polany Olczyskiej (1070 m n.p.m.), u podnóża Skupniowego Uplązu. Zasilane jest wodami z systemu krasowego dalekiego krążenia z Doliny Suchej Wody, przede wszystkim ze strefy ponorowej w Pańszczyckim Potoku (Barczyk, 2008). Wywierzysko nie jest związane z konkretnym systemem jaskiniowym, a przepływ krasowy zachodzi całkowicie w utworach serii regłowej dolnej.

METODY BADAŃ

Comiesięczne badania prowadzono synchronicznie od stycznia do grudnia 2009 r. W terenie mierzono temperaturę wody (T_w), przewodność ($EC_{25^\circ C}$) i odczyn wody (pH) miernikiem WTW Multi 350i oraz stan wody (H) i przepływ (Q). W Laboratorium Hydrochemicznym IGiGP UJ metodą chromatografii jonowej oznaczono skład chemiczny 36 próbek wody w zakresie 14 jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Li^+ , F^- , Br^- . Mineralizację wody obliczono z sumy oznaczonych jonów, a stężenie

H^+ na podstawie pH ze wzoru $H^+ = 10^{-pH}$. Istotność różnic między średnimi wartościami cech fizyczno-chemicznych wód wywierzysk obliczono z wykorzystaniem analizy wariancji (ANOVA) i testu *post-hoc* Scheffe dla $p = 0,95$. W celu zidentyfikowania czynników warunkujących zmiany cech fizyczno-chemicznych wód wywierzysk zastosowano analizę składowych głównych (PCA). Czynniki wybrano na podstawie kryterium Kaisera (wartość własna >1).

WYNIKI BADAŃ

W składzie chemicznym wód wśród anionów największe stężenia miały HCO_3^- , wśród kationów – Ca^{2+} (tab. 1), a pozostałe jony cechowały wielokrotnie niższe stężenia. Spośród biogenów, z reguły w największych stężeniach występowały NO_3^- , natomiast NH_4^+ , NO_2^- i PO_4^{3-} zwykle były poniżej detekcji, podobnie jak Li^+ , Br^- i F^- . Najwyższą średnią mineralizacją odznaczały się wody wywierzyska Lodowego (ok. $177 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), a najmniejszą – wywierzyska Olczyskiego (ok. $112 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Najmniejszą zmiennością stężeń (C_v) cechowały się jony: Ca^{2+} i HCO_3^- , z wyjątkiem wywierzyska Chochołowskiego, w którym mniejszą zmienność miały jony SO_4^{2-} ($C_v = 15,0\%$). W wywierzysku Olczyskim największą zmienność wśród anionów miały Cl^- . W składzie chemicznym ($\% \text{ mval} \cdot \text{dm}^{-3}$) wód wywierzysk dominują Ca^{2+} i HCO_3^- , a spośród pozostałych jonów zdecydowanie większy udział mają Mg^{2+} niż SO_4^{2-} (tab. 1). Zmienność procentowego udziału Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- i SO_4^{2-} w składzie che-

micznym jest mniejsza niż wyrażona stężeniem jonów. Najmniejszą zmiennością charakteryzuje się udział Ca^{2+} we wszystkich wywierzyskach. Wody wywierzysk wykazują wyraźne zróżnicowanie udziału Mg^{2+} w strukturze składu chemicznego. Największy udział Mg^{2+} występuje w wywierzysku Olczyskim, mniejszy w Chochołowskim, a zdecydowanie najmniejszy – w Lodowym. Jest to konsekwencja budowy geologicznej obszaru zasilającego wywierzyska. Niezwykle interesujący jest wysoki udział Mg^{2+} w wodach wywierzyska Olczyskiego, którego obszarem alimentacji jest część trzonu krystalicznego Tatr. W wodach źródeł Tatr Wysokich (granitoidy) stężenie Mg^{2+} jest bardzo niskie, co potwierdza ich stosunek do Ca^{2+} wyrażony ilorazem gramorównoważnikowym $rCa/rMg = 13,51$ (Żelazny, 2012). Genезę znacznego udziału Mg^{2+} w wodach wywierzyska Olczyskiego można wyjaśnić kontaktem wód krążących w systemie wywierzyskowym ze skałami zawierającymi magnez

⁴ Badania zostały częściowo wykonane w ramach projektu *Czynniki warunkujące zróżnicowanie przestrzenne i dynamikę chemizmu wód w Tatrzańskim Parku Narodowym* (MNiSzW N 305 081 32/2824).

Tabela 1

Właściwości fizyczno-chemiczne wód wywierzysk
Physical and chemical properties of vauclose spring

Parametr	Jednostka	Chochołowskie				Lodowe				Olczyskie				
		Średnia	Min.	Maks.	C _v [%]	Średnia	Min.	Maks.	C _v [%]	Średnia	Min.	Maks.	C _v [%]	
Temp. wody (T _w)	[°C]	5,0	4,0	5,9	12,2	4,5	4,3	4,9	5,0	4,5	3,2	5,1	12,6	
Odczyn	[pH]	8,01	7,84	8,24	1,5	8,08	7,98	8,27	1,2	8,24	7,58	8,73	4,8	
(EC _{25°C})	[μS·cm ⁻¹]	178,3	150,7	219,0	9,8	201,6	172,9	215,0	6,2	131,4	93,3	164,6	14,2	
Mineralizacja	[mg·dm ⁻³]	145,9	108,0	195,8	14,6	176,9	152,4	195,9	7,3	111,9	82,0	140,5	14,4	
Ca ²⁺		24,74	20,11	31,90	11,9	36,21	32,50	39,75	6,1	16,83	12,60	20,56	13,1	
Mg ²⁺		8,33	6,36	11,73	16,1	5,62	4,44	7,41	15,8	6,95	4,33	9,55	20,7	
Na ⁺		0,78	0,47	1,16	22,7	0,44	0,31	0,77	28,5	0,78	0,54	1,09	23,3	
K ⁺		0,43	0,26	0,90	44,3	0,51	0,21	1,59	76,7	0,34	0,21	0,54	30,5	
HCO ₃ ⁻		94,11	65,07	135,60	17,8	126,15	110,78	140,05	6,8	77,49	58,60	95,61	13,0	
SO ₄ ²⁻		15,01	12,36	19,49	15,0	5,62	2,83	8,92	31,8	7,03	3,25	11,49	36,7	
Cl ⁻		0,51	0,31	0,96	39,6	0,49	0,22	0,94	50,5	0,42	0,26	0,59	29,7	
NO ₃ ⁻		1,98	1,46	2,86	23,3	1,78	1,03	2,77	30,5	2,03	1,65	2,44	12,9	
Ca ²⁺		[%mval·dm ⁻³]	62,86	61,39	64,58	1,6	78,53	73,25	81,96	3,3	57,96	54,84	61,66	3,6
Mg ²⁺			34,74	32,91	37,21	3,8	19,99	17,10	23,86	11,1	38,99	34,94	42,22	5,3
Na ⁺			1,75	0,95	2,42	25,7	0,83	0,65	1,40	25,3	2,32	1,94	2,95	15,9
K ⁺			0,57	0,26	1,21	45,1	0,56	0,22	1,70	74,0	0,62	0,36	0,91	34,5
HCO ₃ ⁻	80,82		77,21	87,54	3,6	92,89	89,60	95,68	1,9	87,06	82,91	90,29	2,7	
SO ₄ ²⁻	16,68		10,13	20,27	16,8	5,18	3,10	7,76	25,6	9,77	6,33	13,78	24,5	
Cl ⁻	0,76		0,47	1,30	36,0	0,61	0,33	1,08	45,2	0,80	0,48	1,10	23,1	
NO ₃ ⁻	1,67		1,35	2,05	15,9	1,27	0,88	1,88	25,5	2,26	1,93	2,94	13,3	

(dolomity). Przepływ krasowy jest całkowicie realizowany w utworach serii reglowej dolnej – w triasowych wapieniach i dolomitach jednostki Suchego Wierchu (Głazek, 1995). Najniższe stężenie i udział Mg²⁺ w wodach wywierzyska Lodowego wynika ze zdecydowanej przewagi wapieni na obszarze jego alimentacji.

Badane wywierzyska wykazują zindywidualizowaną zmienność hydrochemiczną, przejawiającą się w wartościach stężeń i ich synchronicznych zmian. Ze względu na średnie stężenia Ca²⁺, Mg²⁺ i HCO₃⁻ wody wywierzysk: Chochołowskiego, Lodowego i Olczyskiego istotnie się różnią (fig. 1). Średnie stężenie Na⁺ nie różniło się istotnie między wywierzyskami Olczyskim i Chochołowskim, a średnie stężenie SO₄²⁻ – między wywierzyskami Olczyskim i Lodowym. Różnice średnich stężeń wśród pozostałych jonów nie były istotne (ANOVA).

Sezonowe zmiany składu chemicznego wód wywierzysk nie są synchroniczne ani w odniesieniu do stężenia jonów [mg·dm⁻³], ani ich udziału w strukturze składu chemicznego [% mval·dm⁻³]. Wysokie stężenia jonów (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻) występują w zimie w wywierzyskach Lodowym i Olczyskim, a w wywierzysku Chochołowskim

najwyższe stężenia notowano w czasie roztopów (fig. 2). Na podstawie związku między stężeniem jonów a wydajnością wywierzysk można zauważyć, że wywierzyska Olczyskie i Lodowe charakteryzują się podobnymi relacjami, a wywierzysko Chochołowskie – odmiennymi (fig. 3). Zwykle wraz ze wzrostem wydajności wywierzysk następuje spadek stężenia jonów w wywierzyskach Olczyskim i Lodowym, natomiast wzrost stężenia – w wywierzysku Chochołowskim. W wywierzysku Chochołowskim można zauważyć, że z jego wysoką wydajnością są związane także wysokie stężenia jonów.

Za pomocą analizy składowych głównych (PCA), na podstawie wydajności, temperatury i odczynu wody oraz stężenia jonów, wyznaczono dwa lub trzy czynniki, które wyjaśniają od 75,4 do 86,1% całkowitej wariancji (tab. 2). Najważniejszy czynnik pierwszy wyjaśnia największą część zmienności (59,4%) w wywierzysku Olczyskim, mniejszą – w wywierzysku Lodowym (50,2%), a najmniejszą w wywierzysku Chochołowskim (43,9%). Typowy proces rozcieńczania wód podziemnych niskozmineralizowanymi wodami opadowymi uwidacznia się w formule wyrażającej relację wystę-

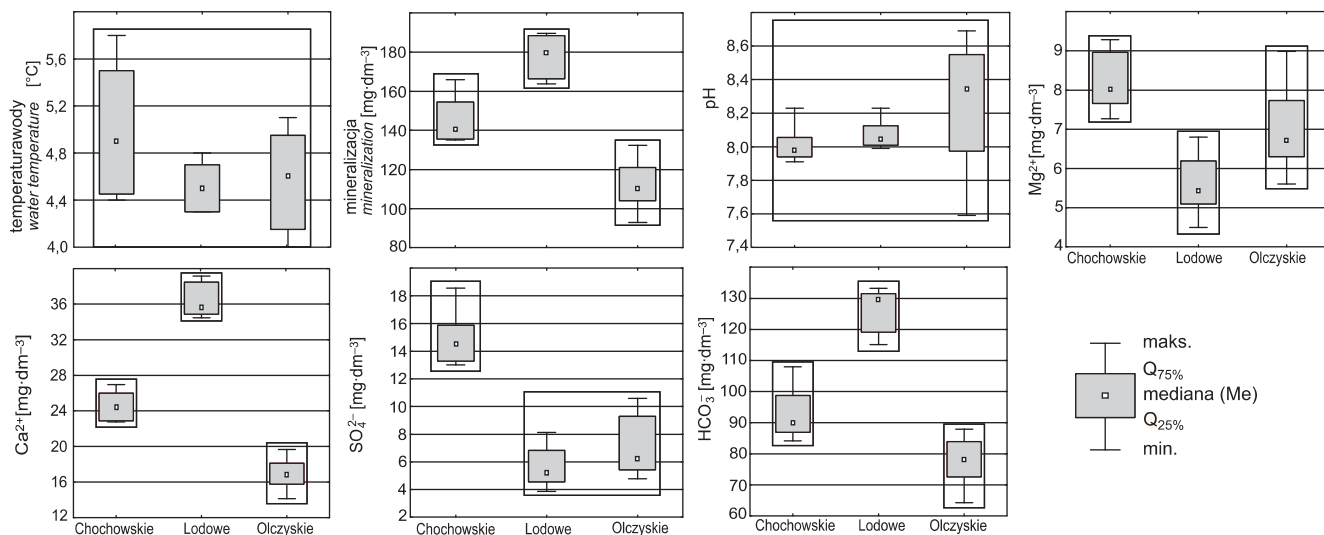


Fig. 1. Zróżnicowanie cech fizyczno-chemicznych wody wywierzysk

Prostokątami zaznaczono brak istotnych różnic między wywierzyskami

Diversity of physical and chemical properties of vaucluse springs

Rectangles indicated no significant differences between vaucluse springs

pującą w czynniku 1 – im wyższa wydajność wywierzyska, tym niższe stężenie jonów. Jest to typowa relacja występująca w wywierzysku Olczyckim (wyjątki: K^+ , T_w i pH) i w wywierzysku Lodowym (wyjątki: T_w , pH, Ca^{2+} i K^+). W wywierzysku Chochołowskim tym procesem nie można wyjaśnić zmian stężenia jonów, ponieważ im wyższa wydajność wywierzyska i niższa temperatura wody, tym wyższe stężenie

nie Ca^{2+} i Mg^{2+} , HCO_3^- i NO_3^- . Świadczy to o tym, że czynniki kształtujące cechy fizyczno-chemiczne wody wywierzyska Chochołowskiego są znacznie bardziej skomplikowane niż w wywierzyskach Olczyckim i Lodowym. Brak w czynniku pierwszym efektu związanego z procesem rozcieńczenia wymaga dalszych badań, można jednak założyć, że prawdopodobnie są to wody „starsze” o dłuższym krążeniu.

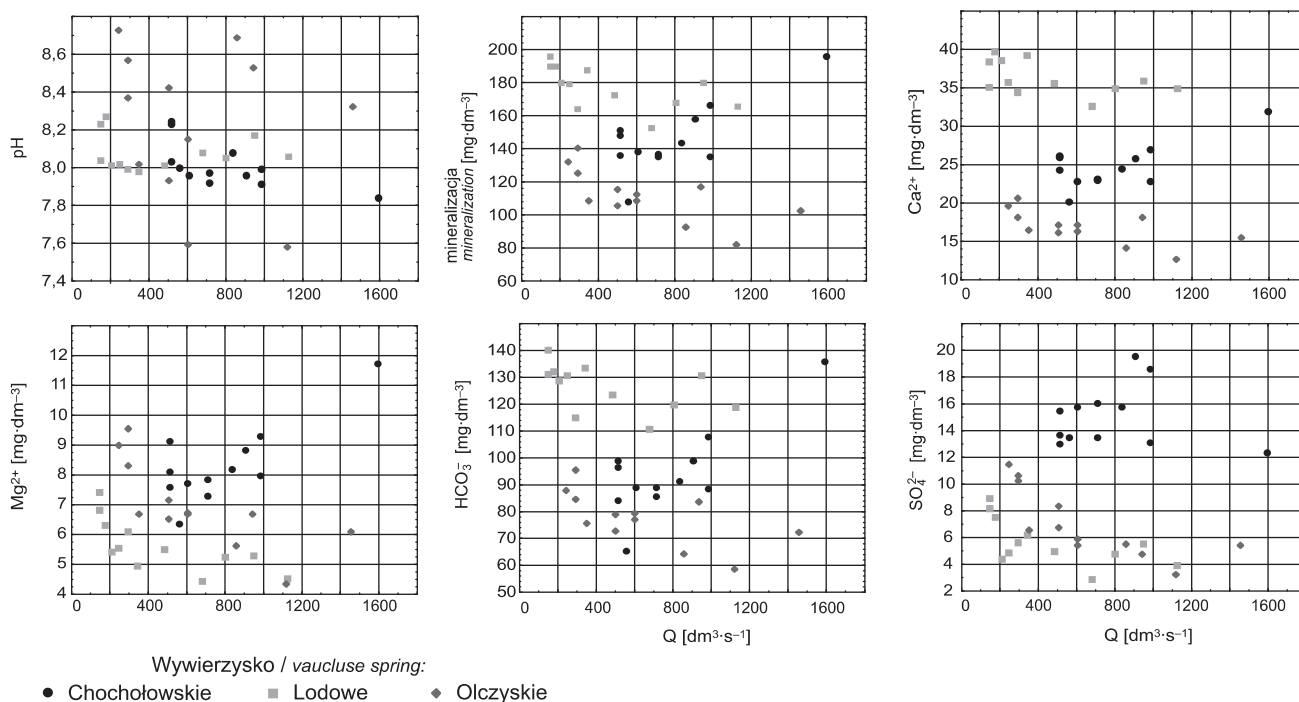


Fig. 2. Zależność cech fizycznych i chemicznych wody od wydajności wywierzysk

The relationship between physical and chemical parameters of the water and discharged of vaucluse springs

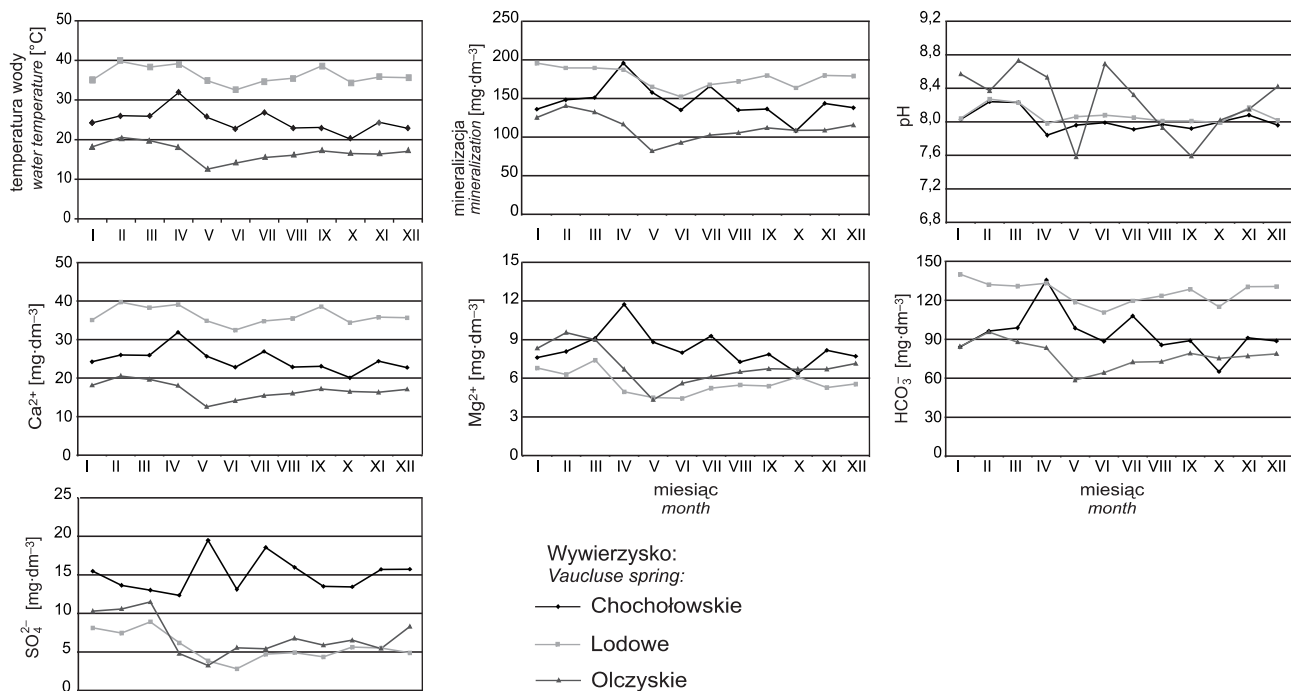


Fig. 3. Sezonowe zmiany cech fizyczno-chemicznych wody wywierzysk

Seasonal changes in physical and chemical parameters of vacluse springs

Tabela 2

Ładunki czynnikowe cech fizyczno-chemicznych wody wywierzysk
(ładunki $\geq 0,70$ zostały pogrubione, ładunki $< 0,40$ nie zostały uwzględnione)

Factor loadings chemical composition of spring water
(loadings ≥ 0.70 are bold, loadings less than 0.40 are in excluded)

Cecha	Chochołowskie			Lodowe			Olczyskie	
	Czynniki							
	1	2	3	1	2	3	1	2
Wydajność (Q)	-0,76	-0,40		0,67		-0,46	0,77	
Temperatura wody (T_w)	0,72	-0,44			0,83		0,55	0,48
Odczyn [pH]		0,54	-0,72		-0,75	-0,40	-0,59	
Ca ²⁺	-0,98			-0,56	-0,44	0,59	-0,90	
Mg ²⁺	-0,98			-0,87			-0,95	
Na ⁺		0,83		-0,85			-0,86	
K ⁺		0,74		-0,58	0,64			-0,90
HCO ₃ ⁻	-0,97			-0,82			-0,88	
SO ₄ ²⁻		0,41	0,81	-0,94			-0,95	
Cl ⁻		0,85		-0,83		-0,43	-0,82	-0,42
NO ₃ ⁻	-0,85	0,40		-0,66			-0,70	0,41
Wartość własna	4,83	2,98	1,66	5,52	2,14	1,26	6,53	1,76
Wariancja wyjaśniona [%]	43,9	27,1	15,1	50,2	19,5	11,4	59,4	16,0
Skumulowana wariancja [%]	43,9	71,0	86,1	50,2	69,7	81,1	59,4	75,4

Być może wpływ na skład chemiczny wód mają wody stagnujące lub dłużej krążące w systemie jaskini Bańdzioch Komiński i „wypierane” (reakcja przenoszenia ciśnienia) przez wody roztopowe. Możliwe, że zachodzi również dopływ wód ługujących skały o zdecydowanie mniejszej odporności. O kontakcie z łatwiej ługowanym utworem może świadczyć zdecydowanie wyższe stężenie i udział SO_4^{2-} w porównaniu z notowanymi wartościami w wywierzykach Olczyskim i Lodowym. Słaby proces rozcieńczenia uwidacznia się w czynniku drugim, ale nie jest on związany z jonami mającymi najważniejszy udział w składzie chemicznym wody. Ten proces wyraża się zależnością: im niższa tempe-

ratura wody i wydajność, tym wyższe stężenia Cl^- , Na^+ , K^+ , a także pH i NO_3^- . W czynniku trzecim warto zauważyć, że występuje obniżenie pH i wzrost SO_4^{2-} w wodzie wywierzyńska w czasie wezbrań letnich. Wody wywierzyńska Lodowego w czynniku drugim uwidaczniają związek: im wyższa temperatura wody, tym niższy odczyn i stężenie Ca^{2+} , a wyższe stężenia K^+ . Prawdopodobnie zachodzi to w lecie, kiedy mogą się pojawiać wody z pokryw zwietrzelinowo-glebowych wzbogacone w K^+ . W czynniku trzecim niskiej wydajności wywierzyńska Lodowego towarzyszy niski odczyn i stężenie Cl^- i wysokie stężenie Ca^{2+} . W przypadku wywierzyńska Olczyskiego czynnik drugi jest słabo interpretowalny.

WNIOSKI

Skład chemiczny wód wywierzyk cechuje naturalny charakter zmienności, związany genetycznie z budową geologiczno-tektoniczną, który jest modyfikowany krążeniem wód w krasowych systemach wywierzykowych zbudowanych z różnych utworów. Zmienność stężenia większości jonów jest większa niż zmienność ich udziałów w strukturze składu chemicznego wody wywierzyk. Proces rozcieńczenia wód podziemnych niskomineralizowanymi wodami opadowymi nie jest dominujący we wszystkich wywierzykach

i występuje w wywierzykach Lodowym i Olczyskim. W wywierzyku Chochołowskim proces ten słabiej się uwidacznia, dodatkowo nie jest on związany z jonami, które kształtują skład chemiczny wód. Czynniki pierwszy odpowiada relacji, w której wyższej wydajności towarzyszą wyższe stężenia Ca^{2+} , Mg^{2+} i HCO_3^- . Jest to wynik skomplikowanego zasilania wód wywierzyńska Chochołowskiego zarówno wodami krążącymi w systemie wywierzykowym, jak i wodami z Chochołowskiego Potoku.

LITERATURA

- BAC-MOSZASZWILI M., NOWICKI T., 2006 — Uwagi o rozwoju jaskiń w strukturze płaszczowinowej Czerwonych Wierchów w Tatrach. *Prz. Geol.*, **54**, 1: 56–87.
- BARCZYK G., 1994 — Wody krasowo-szczelinowe Tatr Zachodnich i problemy ich ochrony [pr. doktor.]. Arch. IHIGI UW, Warszawa.
- BARCZYK G., 2008 — Tatrzańskie wywierzyńska. Krasowe systemy wywierzykowe Tatr Polskich. Wyd. TPN, Zakopane.
- DĄBROWSKI T., RUDNICKI J., 1967 — Wyniki barwień przepływów krasowych w Masywie Czerwonych Wierchów. *Speleologia*, **3**, 1: 31–34.
- DĄBROWSKI T., GŁAZEK J., 1968 — Badania przepływów krasowych we wschodniej części Tatr Polskich. *Speleologia*, **3**, 2: 85–98.
- GŁAZEK J., 1995 — Hydrografia krasowa Tatr Polskich. *Jaskinie Tatrzańskiego Parku Narodowego*, **4**: 11–30.
- KOTARBA A., 1972 — Powierzchniowa denudacja chemiczna w wapienno-dolomitowych Tatrach Zachodnich. *Pr. Geogr. PAN*, **96**.
- MAŁECKA D., 1980 — Charakterystyka hydrochemiczna wód podziemnych południowego skrzydła niecki Podhala. *Prz. Geol.*, **1**: 37–43.
- MAŁECKA D., 1997 — Źródła masywu tatrzańskiego. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.*, **2**: 9–26.
- MAŁECKA D., HUMNICKI W., 1989 — Rola warunków hydrodynamicznych w kształtowaniu reżimu wywierzyńska Olczyskiego. *Prz. Geol.*, **37**, 2: 78–84.
- OLEKSYNOWA K., 1970 — Charakterystyka geochemiczna wód tatrzańskich. *Acta Hydrobiol.*, **12**, 1: 1–110.
- OLEKSYNOWA K., KOMORNICKI T., 1958 — Materiały do znajomości wód w Tatrach. Cz. IV. Dolina Kościeliska. *Zesz. Nauk. WSR*, **6**, ser. Rolnictwo, **5**: 13–44.
- OLEKSYNOWA K., KOMORNICKI T., 1960 — Materiały do znajomości wód w Tatrach. Cz. V. Dolina Chochołowska. *Zesz. Nauk. WSR*, **10**, ser. Rolnictwo, **7**: 17–48.
- OLEKSYNOWA K., KOMORNICKI T., 1989 — Materiały do znajomości wód w Tatrach. Cz. IX. Dolina Olczyska. *Zesz. Nauk. AR*, ser. Rolnictwo, **28**: 33–54.
- OLEKSYNOWA K., KOMORNICKI T., 1996 — Chemizm wód. W: Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego. Taty i Podtatrze (red. Z. Mirek). T. 3: 197–214. Wyd. TPN, Kraków–Zakopane.
- PULINA M., 1974 — Denudacja chemiczna na obszarach krasu węglanowego. *Pr. Geogr. PAN*, **105**.
- SOLICKI T., KOISAR B., 1973 — Zagadka Wywierzyńska Chochołowskiego. *Taternik*, **49**, 1: 30–31.
- WOLANIN A., ŻELAZNY M., 2010 — Sezonowe zmiany chemizmu wywierzyk tatrzańskich na przykładzie wywierzyk: Chochołowskiego i Lodowego. W: Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek 2010. Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem. T. I. Nauki o Ziemi (red. A. Kotarba): 151–156, Wyd. TPN i PTPNoZ, Zakopane.
- WRZOSEK A., 1933 — Z badań nad zjawiskami krasowymi Tatr Polskich. *Wiad. Służby Geogr.*, **7**: 235–270.
- ZEJSZNER L., 1844 — O temperaturze źródeł tatrowych i pasm przyległych. *Biblioteka Warszawska*, **2**: 257–281.
- ŻELAZNY M., 2012 — Czasowo-przestrzenna zmienność cech fizykochemicznych wód Tatrzańskiego Parku Narodowego. Wyd. IGiGP UJ, Kraków.

SUMMARY

The purpose of the paper is to examine the changes of the variability of physical and chemical characteristics of vauc-luse springs (Chochołowskie, Lodowe and Olczyskie). The research was performed in 2009. Fieldwork included the following measurements: pH, specific conductivity, temperature, water levels and discharge rate. The concentrations of the following ions were determined: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Li^+ , Br^- and F^- . To determine the significance of differences in physico-chemical parameters of karst waters, analysis of variance were

used. However, to identify the factors determining the variability of physico-chemical parameters of karst water, principal component analysis (PCA) was used. The Olczyskie and Lodowe vauc-luse springs are characterized by similar relationships, and the Chochołowskie vauc-luse spring – by different. The factors affecting the physico-chemical parameters of the Chochołowskie vauc-luse spring are much more complicated than those of the Lodowe and Olczyskie vauc-luse springs.

