

WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE WODY POTOKÓW TATRZAŃSKICH W OKRESIE KWIECIEŃ–LISTOPAD 2011 ROKU

Anna Wolanin

Physical and chemical properties of streamwater in the Tatra Mountains during April–November 2011

Abstract: The chemistry of mountains streams depends on natural factors (geology, lithology, tectonics, and variable supply patterns) and anthropogenic factors. The aim of this paper is to determine the spatial diversity and variability of physico-chemical properties of streamwater in the Tatra Mts. Principal components analysis was used to determine the factors influencing the chemical composition of streamwater in the Tatra Mountains. Nine streams in the Tatra Mts. were selected for research. Using ion chromatography the concentration of 14 ions was estimated. The variability of physical and chemical parameters of streamwater depends mainly on the geology of an area and dissolution process. Generally, diluted water contains lower concentrations of most dissolved ions. Another factor is the influence of temperature and vegetation.

Keywords: water chemistry, principal component analysis, Tatra National Park

Zarys treści: Skład chemiczny wód potoków górskich zależy od czynników naturalnych i antropogenicznych. Celem opracowania jest określenie zróżnicowania przestrzennego i zmienności cech fizykochemicznych wód potoków tatrzańskich. Do badań wybrano dziewięć potoków w Tatrach. Skład chemiczny (stężenia 14 jonów) oznaczono metodą chromatografii jonowej. Po wykonaniu analizy składowych głównych określono czynniki determinujące chemizm wód. Najważniejsze znaczenie ma budowa geologiczna zlewni potoków i proces rozcieńczenia. Wraz ze wzrostem natężenia przepływu maleją wartości większości cech fizykochemicznych wody potoków. Kolejnym czynnikiem wpływającym na skład chemiczny jest temperatura i wpływ roślinności.

Słowa kluczowe: chemizm wód, analiza składowych głównych, Tatrzański Park Narodowy

Wstęp

Skład chemiczny wód w Tatrach zależy zarówno od czynników naturalnych, jak i antropogenicznych. Do głównych czynników naturalnych można zaliczyć: skład mineralny skał w obrębie warstw wodonośnych i czas, w jakim woda pozostaje w kontakcie z tymi skałami oraz warunki klimatyczno-roślinno-glebowe (Żelazny i in. 2009, 2013). Oddziaływanie człowieka na chemizm wód uwidacznia się natomiast zwykle przez zanieczyszczenie opadów atmosferycznych oraz intensywną turystykę górską, z którą wiążą się zrzuty ścieków ze schronisk górskich, śmiecenie itp. Przejawia się to przede wszystkim obecnością w wodzie związków azotu, fosforu, chlorków.

Tatry, mimo że objęte są ochroną prawną (Tatrzański Park Narodowy, Rezerwat Biosfery UNESCO, Natura 2000), podlegają jednak silnej antropopresji ze względu na masowy ruch turystyczny. Działalność ludzka wpływa także na stan ekosystemów wodnych (Kownacki i in. 1996; Kurzyca i in. 2009; Rzychoń, Worsztynowicz 2008; Siwek i in. 2009). Ponieważ do Zakopanego i okolicznych miejscowości przybywa rocznie ponad 2 miliony osób, wskazane jest prowadzenie badań dotyczących oddziaływania turystyki na zasoby i jakość wody.

Celem opracowania jest wyznaczenie czynników, które determinują zróżnicowanie przestrzenne i zmienność cech fizykochemicznych wód potoków w Tatrach i określenie – w miarę możliwości – skali antropopresji w odniesieniu do chemizmu wód.

Obszar badań

Tatry leżą na granicy Polski i Słowacji i są najwyższym (Gerlach 2655 m n.p.m.) pasmem górskim w Karpatach. Cechują się dość złożoną budową geologiczną (ryc. 1). Południową część Tatr tworzy trzon krystaliczny (skały magmowe i metamorficzne). Od północy do trzonu krystalicznego przylegają serie wierchowa i regłowa, zbudowane ze skał osadowych, głównie wapieni, dolomitów, margli, łupków i piaskowców (Bac-Moszaszwili i in. 1979). W Tatrach można wyróżnić piętra klimatyczne, roślinne i glebowe (Hess 1996, Piękoś-Mirkowa, Mirek 1996; Skiba 2002).

Badaniami objęto 9 potoków: Chochołowski, Kościeliski, Małołącki, Strążyski, Biały, Bystra, Olczyński, Sucha Woda, Białka. Punkty pomiarowe były zlokalizowane u wylotu potoków z Tatrzańskiego Parku Narodowego (ryc. 1). Wybrane zlewnie są bardzo zróżnicowane pod względem parametrów morfologicznych, geologicznych, pokrycia terenu (tab. 1). Zlewnia Białka cechuje się największą powierzchnią, średnią wysokością i największym udziałem skał krystalicznych. Znaczną część zlewni zajmują nieporośnięte zbocza i ściany skalne. Zlewnie potoków Białego, Strążyskiego, Małołąckiego i Olczyńskiego cechują się niewielką powierzchnią, przeważającym udziałem dolomitów i wapieni w budowie geologicznej oraz dużym udziałem lasów.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań

Potoki: 1 – Chochołowski, 2 – Kościeliski, 3 – Małolącki, 4 – Strążyski, 5 – Biały, 6 – Bystra, 7 – Olczyński, 8 – Sucha Woda, 9 – Białka

Fig. 1. Location of study area

Streams: 1 – Chochołowski, 2 – Kościeliski, 3 – Małolącki, 4 – Strążyski, 5 – Biały, 6 – Bystra, 7 – Olczyński, 8 – Sucha Woda, 9 – Białka

W czasie badań najwyższa średnia temperatura powietrza, zarówno w Zakopanem, jak i na Kasprowym Wierchu wystąpiła w sierpniu. Najniższe średnie miesięczne wartości temperatury były w kwietniu na Kasprowym Wierchu, a w listopadzie w Zakopanem. Najwyższe miesięczne sumy opadów występowały w lipcu, a najniższe w listopadzie (ryc. 2).

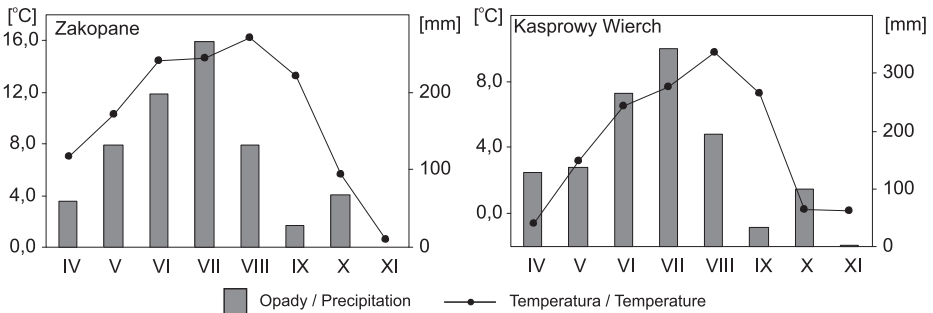
Materiały i metody badań

Badania wód potoków prowadzono raz w miesiącu od kwietnia do listopada 2011 r. W terenie wykonano pomiary temperatury (T), przewodności właściwej w odniesieniu do 25°C ($EC_{25^{\circ}\text{C}}$) i odczynu wód potoków za pomocą wielofunkcyjnego miernika typu Multi 350i firmy WTW. Do pomiarów natężenia przepływu wykorzystano akustyczny czujnik prędkości przepływu wody OTT ADC. Natężenie przepływu

Tabela 1. Charakterystyka parametrów zlewni

Table 1. Characteristics of stream basins

Cecha/Feature	Jednostka/ Unit	Białka	Biały	Bystra	Chochołowski	Kościeliński	Matobącki	Olczyński	Strążyski	Sucha Woda
Średnia wysokość/ Mean elevation	m n.p.m./ m a.s.l.	1606	1221	1456	1399	1429	1407	1199	1240	1520
Średni spadek/ Mean slope	stopień/ degree	31,3	32,6	27,1	28,4	29,7	29,1	21,8	33,9	22,0
Powierzchnia/ Area	km ²	80,4	3,4	17,5	38,9	41,7	6,7	5,0	4,8	28,1
Długość/Lenght	km	13,5	3,4	5,8	11,6	10,7	5,9	5,4	3,9	12,3
Skąły krystaliczne/ Crystalline rocks	%	45,7	0,0	16,6	28,5	14,9	5,6	0,0	0,0	15,3
Wapień/Limestones		0,4	4,0	5,0	7,9	18,8	14,3	3,6	12,5	8,4
Dolomity/Dolomites		0,8	84,4	24,0	20,2	22,1	45,6	24,5	60,8	3,2
Piaskowce/Sandstones		1,8	11,6	7,2	11,0	13,5	12,6	39,5	26,7	5,1
Osady glacialne i fluwialne Fluvial and glacial sediment		51,3	0,0	47,2	32,4	30,7	21,9	32,4	0,0	68,0
Hale/Meadows		14,6	3,1	26,4	29,3	26,6	27,4	8,2	4,7	9,2
Lasy/Forests		33,2	89,5	43,4	54,8	51,6	55,6	84,0	79,3	48,5
Nieporośnięte skały Bare rock		34,1	2,4	6,2	3,6	7,1	11,5	0,3	13,2	22,0
Kosodrzewina/Dwarf		15,9	5,0	23,9	12,3	14,7	5,5	7,5	2,7	19,0
Inne/Other		2,2	0,0	0,1	0	0	0	0	0,1	1,3



Ryc. 2. Przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza i sum opadów

Fig. 2. The average monthly air temperature and precipitation during the study

obliczono metodą rachunkową. Z każdego potoku do polietylenowych butelek o pojemności 0,5 dm³ pobrano próby wody do analiz chemicznych. Próby wody przechowywano w temperaturze 4°C, analizy chemiczne natomiast wykonywano do 48 godzin od ich poboru. Wody filtrowano filtrem strzykawkowym 0,45 mm, a następnie oznaczano skład chemiczny wód techniką chromatografii jonowej (DIONEX ICS 2000). System chromatograficzny składający się z dwóch chromatografów: modułu anionowego i modułu kationowego pozwala na równoczesne oznaczenie 14 jonów w wodzie: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, Li⁺, Br⁻, F⁻. Poprawność wykonania analiz sprawdzono, obliczając błędy względne z bilansu jonowego. Błędy analiz nie przekraczają dopuszczalnych błędów podanych w normie PN-89/C-04638/02. W czasie badań pobrano i przeanalizowano 72 próby wody. Obliczono również mineralizację jako sumę oznaczonych jonów oraz stężenie jonów H⁺ z wzoru $H^+ = 10^{-pH}$.

Podstawowe charakterystyki statystyczne obliczono za pomocą oprogramowania STATISTICA 10. Wody potoków scharakteryzowano według klasyfikacji Szczukariewa-Prickońskiego (Pazdro, Kozerski 1990). Wyznaczono również stosunek równoważnikowy wapnia do magnezu (rCa/rMg). Do wyznaczenia czynników determinujących skład chemiczny potoków wykorzystano analizę składowych głównych (PCA), stosowaną w charakterystyce jakości wody kształtowanej przez czynniki naturalne i antropogeniczne. Metoda ta jest także pomocna podczas analizy wielowymiarowych baz danych pochodzących z monitoringu środowiska. Do wydzielenia najważniejszych czynników posłużyło kryterium osypiska Cattella (Cattell 1966).

Wyniki

Wody potoków tatrzańskich cechują się odczynem słabo zasadowym i należą do wód słodkich (tab. 2). W składzie chemicznym wód najwyższe stężenia mają wśród kationów – Ca²⁺, a wśród anionów – HCO₃⁻. Niższe wartości stężeń mają jony Mg²⁺ i SO₄²⁻. Pozostałe jony mają wielokrotnie niższe stężenia. Ze związków biogenych w wodach występowały przeważnie NO₃⁻ i rzadziej – NH₄⁺. Stężenia jonów NO₂⁻, PO₄³⁻ i Li⁺ przeważnie było poniżej limitu detekcji (tab. 3). Występuje duże zróżnicowanie parametrów fizycznych i chemicznych wód badanych potoków. Wody Małolańskiego Potoku cechują się najwyższymi wartościami przewodności, mineralizacji i stężenia jonów Ca²⁺, K⁺, NH₄⁺ i HCO₃⁻, wody Białki natomiast – najniższymi wartościami parametrów fizycznych i chemicznych (z wyjątkiem SO₄²⁻). Pod względem hydrochemicznym wody potoków należą do klasy hydrochemicznej trzyjonowej HCO₃-Ca-Mg, jedynie wody Białki są czterojonowe HCO₃-SO₄-Ca-Mg. Wody Białego Potoku cechują się najniższym równoważnikowym stosunkiem wapnia do magnezu, a wody Suche Wody – największym (rCa/rMg = 3,32) (tab. 2).

Tabela 2. Cechy fizyczne i chemiczne wód potoków
Table 2. Physical and chemical properties of stream water

Potok/ Stream	Cecha/ Feature	Q [dm ³ · s ⁻¹]	T [°C]	pH	EC _{25°C} [μS · cm ⁻¹]	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺ [mg · dm ⁻³]	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	rCa/Mg
Białka	Me	2005	7,3	7,7	100,5	15,2	3,2	0,66	0,25	0,02	38,7	16,6	0,35	1,35	2,85
	Min	1050	3,8	7,3	73,1	10,1	2,3	0,50	0,19	0,00	28,9	8,1	0,23	0,08	
	Max	13700	9,0	8,0	140,6	21,4	4,7	1,18	0,51	0,05	52,8	25,7	0,80	1,90	
Biały	Me	39	7,6	8,2	285,5	40,0	18,6	0,29	0,30	0,07	194,2	6,1	1,16	3,39	1,30
	Min	3	0,1	8,0	252,0	35,3	16,4	0,24	0,23	0,02	142,6	4,2	0,71	2,75	
	Max	356	12,0	8,4	304,0	42,5	19,7	1,11	0,69	0,23	216,8	11,8	1,50	4,08	
Bystra	Me	486	6,3	7,9	120,9	19,7	3,9	0,63	0,38	0,04	64,1	6,3	0,75	1,55	3,08
	Min	208	3,5	7,5	84,5	13,4	2,1	0,55	0,26	0,003	48,9	3,4	0,25	1,28	
	Max	3467	7,0	8,0	143,0	21,9	5,3	1,06	0,55	0,14	81,0	8,2	0,89	1,85	
Chochołowski	Me	599	6,6	7,9	144,1	21,1	6,6	0,66	0,37	0,03	82,9	9,7	0,59	1,49	1,95
	Min	219	2,7	7,5	117,8	18,3	5,7	0,49	0,30	0,02	72,8	5,7	0,36	1,07	
	Max	5683	11,1	8,2	168,4	23,6	7,3	0,97	0,69	0,05	88,7	14,2	0,85	2,56	
Kościeliski	Me	1510	5,8	8,0	185,8	29,9	6,6	0,50	0,40	0,03	106,4	15,3	0,66	1,59	2,87
	Min	728	2,6	7,7	156,5	26,6	4,4	0,43	0,32	0,01	90,2	6,2	0,42	1,27	
	Max	14100	10,3	8,2	213,0	35,9	7,9	0,71	0,94	0,13	112,5	20,8	0,80	2,22	
Małolącki	Me	56	6,5	8,2	291,5	46,2	15,1	0,29	0,29	0,02	201,8	5,6	0,91	2,54	1,87
	Min	15	0,6	8,0	284,0	44,4	14,4	0,27	0,29	0,02	181,8	4,6	0,73	2,05	
	Max	440	10,1	8,3	309,0	49,7	16,3	0,56	0,58	0,18	238,0	6,4	1,41	2,89	
Olczyński	Me	408	5,7	8,0	145,1	20,2	7,2	0,61	0,35	0,04	84,9	7,1	0,57	1,82	1,74
	Min	242	3,3	7,7	120,8	18,2	6,1	0,45	0,30	0,02	77,1	4,4	0,41	1,59	
	Max	1537	7,0	8,1	162,9	22,3	7,9	1,12	0,44	0,15	141,4	10,2	0,81	2,25	
Strążyński	Me	97	7,1	8,2	279,5	40,1	17,6	0,35	0,37	0,06	194,5	7,0	1,02	3,24	1,41
	Min	9	0,6	7,9	239,0	34,8	14,0	0,28	0,32	0,02	153,5	4,4	0,67	2,65	
	Max	1304	11,9	8,3	296,0	42,3	18,2	0,55	0,44	0,20	227,4	8,6	1,46	3,79	
Sucha Woda	Me	673	7,5	7,9	158,1	26,5	4,8	0,78	0,33	0,03	93,2	8,6	0,72	1,47	3,32
	Min	158	4,1	7,3	76,8	11,9	2,1	0,61	0,20	0,00	41,6	3,9	0,26	1,35	
	Max	3855	10,9	8,0	179,6	30,7	5,6	1,46	0,51	0,06	112,0	10,6	0,96	2,11	

Cechy potoków tatrzańskich zmieniają się w poszczególnych miesiącach i nawiązują do ilości opadów i wielkości natężenia przepływu w potokach. W czasie wezbrania letniego w lipcu przeważnie występowały najniższe wartości cech fizycznych i chemicznych wody. Najwyższe wartości stwierdzono natomiast w czasie niskich stanów wody jesienią (ryc. 3). Najwyższe stężenia jonów NO_3^- w wodach potoków występują przeważnie wiosną, co wynika z uwalniania tych jonów z topniejącej pokrywy śnieżnej, a najniższe wartości latem, ponieważ asymilowane są przez rośliny.

Analiza składowych głównych umożliwiła wyodrębnienie trzech najważniejszych czynników determinujących skład chemiczny wód potoków w Tatrach. Wyjaśniają one 81,2% wariancji, przy czym czynnik 1 wyjaśnia 55,1% zmienności, czynnik 2–15,4%, a czynnik 3–10,7% (tab. 4). Czynnik 1 jest związany z budową geologiczną i procesem rozcieńczania. Typowy proces rozcieńczania uwidacznia się w formule wyrażającej relację: im wyższe wartości natężenia przepływu w potoku, tym niższe stężenie jonów. Świadczą o tym wysokie ujemne wartości ładunków czynnikowych jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , pochodzących głównie z wietrzenia skał oraz dodatnie – natężenia przepływu. W czynniku 2 wysokie wartości ładunków czynnikowych mają jony Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , co wskazuje na wpływ opadów atmosferycznych oraz dostawę jonów z pokryw zwietrzelinowo-glebowych. Czynnik 3 można natomiast określić jako wpływ sezonów i częściowo wegetacji na skład chemiczny wód potoków tatrzańskich. Wskazuje na to wysoki ładunek czynnikowy temperatury wody (–0,95) oraz zależność zmniejszania się stężenia jonów NO_3^- wraz ze wzrostem temperatury powietrza.

Na podstawie analizy składowych głównych (projekcja przypadków czynnika 1 i czynnika 2) potoki tatrzańskie można podzielić na trzy grupy (ryc. 4). Pierwszą grupę stanowią potoki położone niemal wyłącznie w obrębie skał osadowych (głównie wapieni i dolomitów). Są to potoki: Biały, Małołacki i Strążyski. Cechują się one stosunkowo małą powierzchnią zlewni i położone są głównie w obrębie lasów reglowych. Wyróżniają je najwyższe wartości mineralizacji wody oraz stężenia jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- i NO_3^- . W drugiej grupie znajduje się Białka. Jej wody wyróżniają się największym udziałem skał krystalicznych (niemal 50% powierzchni zlewni) i niskimi wartościami większości jonów. Wyjątek stanowią stężenia SO_4^{2-} , których wartości są najwyższe właśnie w wodach Białki. W skład trzeciej grupy wchodzi

Tabela 3. Limity detekcji

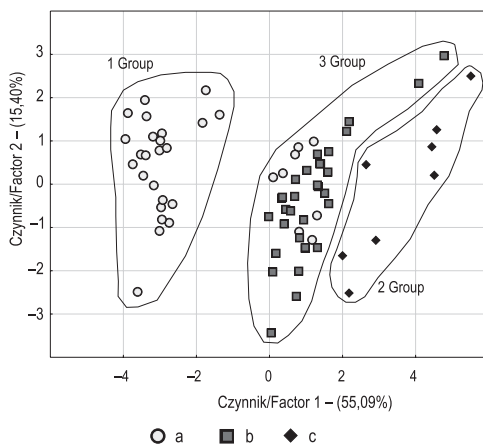
Table 3. Detection limits

Kation/ Cation	Limit detekcji/ Detection limit [$\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$]	Anion/ Anion	Limit detekcji/ Detection limit [$\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$]
Ca^{2+}	5	HCO_3^-	25
Mg^{2+}	5	SO_4^{2-}	10
K^+	5	NO_3^-	2,5
NH_4^+	5	NO_2^-	2,5
Li^+	5	Cl^-	2,5
Na^+	10	F^-	1
		Br^-	5
		PO_4^{3-}	10



Ryc. 3. Sezonowe zmiany cech chemicznych wody potoków
 Fig. 3. Seasonal changes in the chemical properties of streamwater

potoki: Chochołowski, Kościeliski, Bystra, Olczyński, Sucha Woda. Mineralizacja wód tych potoków wynosi od 100 do 130 mg·dm⁻³. Stężenia jonów przyjmują wartości pośrednie w stosunku do potoków z pierwszej i drugiej grupy. Charakteryzują się one złożoną budową geologiczną, z wyjątkiem Potoku Olczyńskiego, którego zlewnia jest zbudowana wyłącznie ze skał osadowych (tab. 1). Stosunkowo niska mineralizacja wód Potoku Olczyńskiego wynika z zasilania z części krystalicznej Tatr, ze zlewni Suchoj Wody (Barczyk 2003). Jest to związane z niezgodnością działu wodnego podziemnego i powierzchniowego tej zlewni.



Ryc. 4. Projekcja przypadków czynnika pierwszego i drugiego. Udział skał krystalicznych w powierzchni zlewni: a) 0–10%, b) 10–30%, c) >30%

Figure 4. The projection of cases of the first and second factor. Share of crystalline rocks in the area of basins: a) 0–10%, b) 10–30%, c) >30%

Dyskusja

O zróżnicowaniu składu chemicznego wód potoków tatrzańskich decyduje w głównej mierze budowa geologiczna i proces rozcieńczenia, na co wskazuje czynnik 1. W wielu opracowaniach podkreślano, że potoki odwadniające część krystaliczną Tatr charakteryzują się niższymi wartościami stężenia większości jonów ze względu na dużą odporność skał krystalicznych na wietrzenie i szybkie krążenie wód. Wody potoków występujących w obszarze Tatr Regłowych, które są zbudowane głównie z łatwo ługowanych skał węglanowych, mają natomiast wyraźnie wyższe stężenia większości jonów (Oleksynowa, Komornicki 1996; Małecka i in. 2007). Dzięki zastosowanej analizie składowych głównych nie tylko potwierdzono tę tezę, ale również obliczono, że udział budowy geologicznej w zmienności składu chemicznego wynosi 55%.

Wpływ opadów atmosferycznych na skład chemiczny wód potoków tatrzańskich określa 2 czynnik i wyjaśnia ok. 15% wariacji. Również w literaturze często podkreślano, że opady atmosferyczne są ważnym czynnikiem wpływającym na chemizm wód. Małecka (Małecka 1991; Małecka i in. 2007) podaje, że chemizm opadów atmosferycznych w 90% decyduje o składzie chemicznym wód w najwyższych partiach Tatr i w ok. 30% – u ich podnóża. Wyraźne obniżenie odczynu wody w czasie wezbrania w lipcu świadczy o wpływie opadów atmosferycznych. Zanieczyszczenia

pochodzące z opadów atmosferycznych powodują m.in. zakwaszenie wód i należą do głównych zagrożeń dla ekosystemów wodnych (Kopacek i in. 2001; Kownacki i in. 2006; Kurzyca i in. 2009; Rzychoń, Worsztynowicz 2008).

Czynnik 3 jest uwarunkowany przede wszystkim temperaturą wody potoków. Odzwierciedlona jest w nim również sezonowość klimatyczna i związane z nią okresy wegetacyjny i pozawegetacyjny. Wpływ roślinności na skład chemiczny wód potoków tatrzańskich jest jednak słaby, zaznacza się silniej jedynie w wodach potoków Tatr Reglowych. Zaobserwowano bowiem wyraźne zmniejszenie się stężenia jonów NO_3^- w wodach tych potoków w miesiącach letnich, kiedy asymilacja związków biogenych przez roślinność jest najwyższa. Niskie stężenia NO_3^- zaobserwowano także latem w wodach jezior tatrzańskich położonych w piętrze lasów reglowych (Kopacek i in. 2000). Można przypuszczać, że wynika to z większej asymilacji azotanów na obszarach z miększymi glebami i bujną roślinnością (Baron i in. 1994).

Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że występuje duże zróżnicowanie chemizmu wód potoków tatrzańskich. Wody potoków odwadniających zlewnie zbudowane ze skał krystalicznych mają niższe wartości stężenia większości jonów niż wody ze zlewni zbudowanych ze skał osadowych. Najważniejszym czynnikiem kształtującym skład chemiczny wód badanych potoków jest budowa geologiczna. Także opady atmosferyczne i warunki klimatyczno-roślinne wpływają na chemizm wód potoków tatrzańskich. Występujące w Tatrach intensywna turystyka górską oraz punktowe źródła zanieczyszczeń (np. z infrastruktury schronisk górskich) stanowią zagrożenie dla jakości wody. Ze względu jednak na dobre warunki tlenowe i turbulentny przepływ wody potoków tatrzańskich charakteryzują się dużymi możliwościami samooczyszczania się. Właśnie dlatego presję antropogeniczną u wylotu potoków z Tatr można uznać za słabą, na co wskazują niskie stężenia związków biogenych.

Literatura

- Bac-Moszaszwili M., Burchart J., Głazek J., Iwanow A., Jaroszewski W., Kotański Z., Lefeld J., Mastella L., Ozimkowski W., Roniewicz P., Skupiński A., Westwalewicz-Mogilska E. 1979, *Mapa geologiczna Tatr, 1:30 000*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Barczyk G., 2003, *Karst and vaucluse springs from the Polish Tatra Mts. Results of long-term stationary investigations*, Acta Carsologica 32 (1), 145–155.
- Baron J.S., Ojima D.S., Holland E.A., Parton W.J., 1994, *Analysis of nitrogen saturation potential in Rocky Mountain tundra and forest: Implication for aquatic systems*, Biogeochemistry, 27, 61–82.

- Cattell R.B., 1966, *The scree test for the number of factors*, Multivariate Behavioral Research, 1, 245–276.
- Hess M. 1996, *Klimat*, [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Wyd. TPN, Kraków–Zakopane, 58–63.
- Kopacek J., Stuchlik E., Straskarbova V., Psenakova P., 2000, *Factors governing nutrient status of mountain lakes in the Tatra Mountains*, Freshwater Biology, 43, 369–383.
- Kopacek J., Vesely J., Stuchlik E., 2001, *Sulphur and nitrogen fluxes and budgets in the Bohemian Forest and Tatra Mountains during the Industrial Revolution (1850–2000)*, Hydrology and Earth System Science, 5 (3), 391–405.
- Kownacki A., Dumnicka E., Kwadrans J., Galas J., Ollik M., 2006, *Benthic communities in relation to environmental factors in small high mountain ponds threatened by air pollutants*, Boreal Environment Research, 11, 481–492.
- Kownacki A., Kawecka B., Kot M., Wojtan K., Żurek R., 1996, *Wpływ człowieka na ekosystemy wodne*, [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Wyd. TPN, Kraków–Zakopane, 655–674.
- Kurzycza I., Choiński A., Koniecki A., Siepak J., 2009, *Water ecosystems affected by human impact within the protected area of the Tatra National Park (Poland)*, Oceanological and Hydrobiological Studies, 38 (3), 77–86.
- Małecka D., 1991, *Opady atmosferyczne jako ważny czynnik kształtujący chemizm wód podziemnych*, Przegląd Geologiczny, 1, 14–19.
- Małecka D., Chowaniec J., Małecki J.J., 2007, *Region górnej Wisły* [w:] B. Paczyński, A. Sadurski (red.), *Hydrogeologia regionalna Polski, Tom 1: Wody słodkie*, PIG, Warszawa, 108–158.
- Oleksynowa K., Komornicki T., 1996, *Chemizm wód*, [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Wyd. TPN, Kraków–Zakopane, 197–214.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990, *Hydrogeologia ogólna*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Piękoś-Mirkowa H., Mirek Z., 1996, *Zbiorowiska roślinne*, [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Wyd. TPN, Kraków–Zakopane, 237–274.
- Rzychoń D., Worsztynowicz A., 2008, *What affects the nitrogen retention in Tatra Mountains lakes' catchments in Poland?*, Hydrology and Earth System Science, 12, 415–424.
- Siwek J., Siwek J.P., Żelazny M., 2009, *Wpływ ścieków zrzucanych ze schronisk tatrzańskich na chemizm wód rzecznych TPN*, [w:] R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda (red.), *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 468–475.
- Skiba S. 2002, *Mapa gleb Tatrzańskiego Parku Narodowego*, [w:] W. Borowiec, A. Kotarba, A. Kownacki, Z. Krzan, Z. Mirek (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Tatr*, Wyd. TPN-PTPNoZ, Kraków–Zakopane, 21–26.
- Żelazny M., Wolanin A., Płaczkowska E., 2009, *Przestrzenne zróżnicowanie i sezonowe zmiany cech fizyczno-chemicznych wód potoków Kościeliskiego i Chochołowskiego w Tatrach Zachodnich*, [w:] R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda (red.), *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, 461–467.

Żelazny M., Wolanin A., Płaczkowska E., 2013, *Hypsometric factors for differences in chemical composition of spring waters of the Tatra National Park*, Polish Journal of Environmental Studies, 22 (1), 289–299.

Badania częściowo zrealizowano w ramach projektu pod nazwą *Doctus – Małopolski fundusz stypendialny dla doktorantów* oraz *Czynniki warunkujące zróżnicowanie przestrzenne i dynamikę chemizmu wód w Tatrzańskim Parku Narodowym*.

Anna Wolanin
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
e-mail: anna.wolanin@uj.edu.pl