

Ocena stopnia zakwaszenia wód powierzchniowych w Paśmie Łysogór w Górach Świętokrzyskich w następstwie roztopów

Assessment of episodic acidification intensity in streams during
snowmelt in the Łysogóry Range (Świętokrzyskie Mts.)

MAREK JÓŹWIAK, KRZYSZTOF JARZYNA, MIROSŁAW SZWED

Summary. Monitoring of the dynamics of the snow cover chemistry was undertaken in the Łysogóry Range (Świętokrzyskie Mts.) in winters 2007/2008 and 2008/2009. An episodic acidification of the stream waters during snowmelt episodes was discovered. The acidification episodes were similar to these observed in the Scandinavia, New England mountains and the Rocky Mountains. An intensity of the process was dependent on the load of the analyzed ions in the snow cover and the course of the snowmelt.

Key words: episodic acidification, snow melt, Łysogóry Range.

Prof. UJK dr hab. Marek Józwiak, Katedra Ochrony Środowiska Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego w Kielcach, marjo@ujk.edu.pl

Krzysztof Jarzyna, Instytut Geografii Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego w Kielcach, jarzynak@ujk.kielce.pl

Mirosław Szwed, Katedra Ochrony Środowiska Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego w Kielcach, mireneusz@ujk.edu.pl

WSTĘP

Pokrywa śnieżna traktowana jest, zwłaszcza w badaniach hydrologicznych, jako forma retencji wody, która po uwolnieniu w rezultacie roztopów może stworzyć zagrożenie powodziowe (Kupczyk, 1997). Z kolei dla specjalistów z zakresu

agronomii stanowi ona m.in. cenny zapas wody potrzebnej dla rozwoju roślin na początku wiosny (Radomski, 1980).

W ostatnich kilku dekadach wskazuje się na rolę pokrywy śnieżnej w retencjonowaniu nie tylko wody, ale również substancji w niej rozpuszczonych i zawieszonych. W następstwie roztopów są one uwalniane do wód płynących i stojących, powodując zmiany ich właściwości chemicznych, w tym zwłaszcza epizodyczne zakwaszenie (Schaefer i wsp., 1990; Laudon i wsp., 2004; Błaś i wsp., 2008).

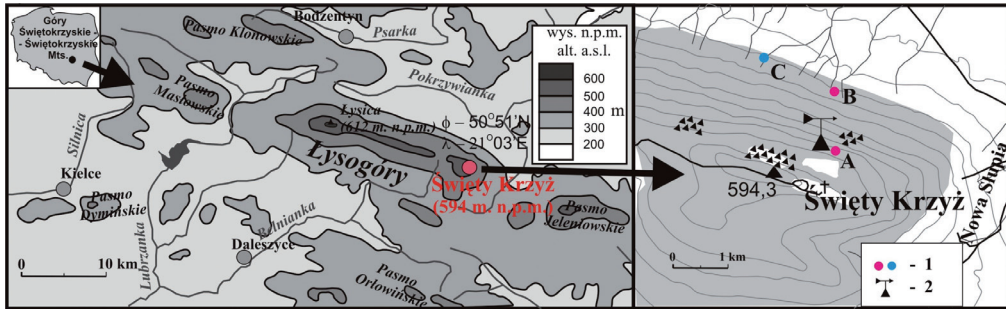
Celem niniejszego opracowania jest określenie charakteru zmian chemizmu wód powierzchniowych odwadniających Pasma Łysogórskie w powiązaniu ze zmianami chemizmu pokrywy śnieżnej, zachodzącymi w trakcie epizodów roztopowych. Podjęto też próbę określenia, w jakim stopniu zjawisko epizodycznego zakwaszania wód płynących w rezultacie topnienia śniegu dotyka cieków Pasma Łysogórskiego.

MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Materiały wykorzystane w opracowaniu pochodzą z badań terenowych prowadzonych w dwóch sezonach zimowych – 2007/2008 i 2008/2009.

Pomiary właściwości fizycznych pokrywy śnieżnej i pobór prób śniegu do analiz chemicznych prowadzono na kilku stanowiskach położonych na północnym stoku wschodniej części Pasma Łysogórskiego. W niniejszej pracy posłużono się danymi z dwóch, położonych w lesie, stanowisk (ryc. 1). Pierwsze stanowisko znajdowało się na spłaszczeniu śródstokowym na wysokości 515 m n.p.m., w sąsiedztwie Polany Bielnik i Stacji Monitoringu Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach (A), drugie zaś u podnóża pasma, na wysokości ok. 330 m n.p.m., blisko granicy ŚPN (B).

Dodatkowo w celu przeprowadzenia analiz chemicznych pobierano próby wody z cieką C-5, w punkcie hydrometrycznym Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż (C). Z tego punktu pochodziły też dane przepływu wody, wykorzystane dla określenia ładunku wybranych jonów odprowadzanych ze zlewni.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań i stanowisk pomiarowych: 1 – stanowiska pomiaru charakterystyk pokrywy śnieżnej i poboru próbek śniegu (A i B – opis w tekście) oraz punkt hydrometryczny na cieku C-5, 2 – automatyczna stacja meteorologiczna Stacji Monitoringu UJK

Fig. 1. Study area and location of measurement points: 1 – measurement points of snow cover (A and B – description in the text) and water gauge on the C-5 stream, 2 – automatic meteorological station of the Monitoring Station JKU

Pomiary oraz pobór prób śniegu i wody odbywały się w cyklu tygodniowym od momentu pojawienia się pokrywy śnieżnej aż do jej ostatecznego zaniku.

Określano następujące fizyczne charakterystyki pokrywy śnieżnej: grubość pokrywy, zapas wody w śniegu i gęstość pokrywy śnieżnej. Pomiar wykonywano śniegierzem wagowym WS-43. Przedstawione w pracy wartości wymienionych charakterystyk są – zgodnie z metodyką IMiGW – średnimi z 4 pomiarów.

Dane meteorologiczne wykorzystane w interpretacji warunków akumulacji i zaniku pokrywy śnieżnej, a dotyczące temperatury powietrza i wysokości opadów, pochodziły ze stacji automatycznej Stacji Monitoringu UJK (ryc. 1).

Próbki śniegu do analiz chemicznych pobierano pionowo przez cały przekrój pokrywy. Z każdego stanowiska pobierano 3 próbki, które przewożono do laboratorium Instytutu Geografii UJK w pojemnikach polistyrenowych. Tam śnieg był roztapiany, po czym określano pH i przewodność elektrolityczną za pomocą pH-metru (CP-103) i konduktometru (CC-101) firmy *Elmetron*. W ocenie kwasowości wody zawartej w śniegu oraz jej przewodności elektrolitycznej wykorzystano metodykę stosowaną w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (Kostrzewski i wsp., 2006). Woda tworząca pokrywę śnieżną traktowana była jak woda opadowa.

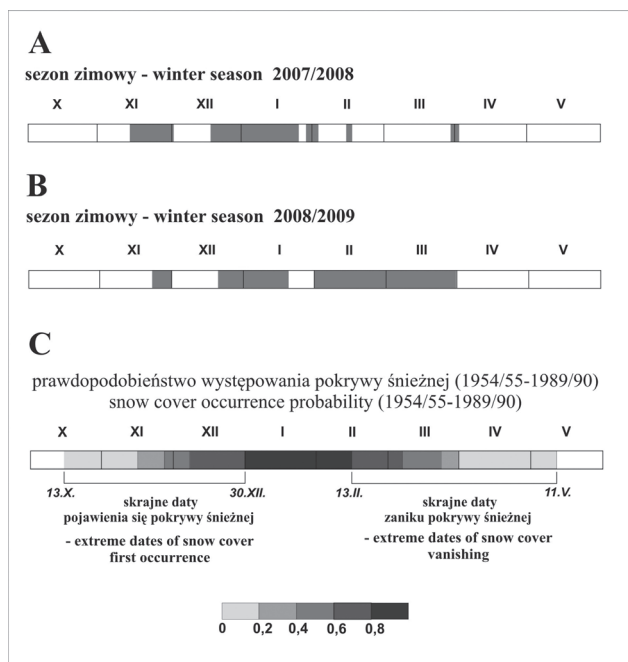
Następnie z „wód pośniegowych” pobierano próbki o objętości 150 ml, przesączano i zatężano 10-krotnie. W zatężonych próbkach określano koncentrację wybranych anionów (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) spektrofotometrem korelacyjnym

Spectronic Genesis 2 z wykorzystaniem testów firmy *Merck*. Oznaczone wartości stężeń dzielono przez 10. Wynikało to z małych – poniżej progu czułości metody – stężeń substancji rozpuszczonych w wodzie opadowej, tworzącej pokrywę śnieżną. Analizowane jony są najważniejszymi substancjami odpowiedzialnymi za zakwaszanie środowiska przyrodniczego obszaru badań.

Obliczono również wielkość chwilowego ładunku wymienionych jonów zawartych w pokrywie śnieżnej i w wodach cieku C-5. W przypadku cieku C-5 ładunek chwilowy określano mnożąc stężenie zawartych w nim jonów przez wielkość przepływu. Ładunek jonów w pokrywie śnieżnej obliczono wykorzystując zapas wody w śniegu (mm), który mnożono przez koncentrację analizowanych jonów w pokrywie śnieżnej. Uwzględniając fakt, że 1 mm warstwy wody odpowiada 1 l wody „rozlanemu” na powierzchni 1 m², uzyskano informację o ładunku jonów (mg), jaki znajdował się w kolumnie śniegu, której podstawa miała powierzchnię 1 m². W sytuacjach, w których pokrywa śnieżna występowała w postaci płatów określano stężenie badanych jonów, nie określając już ich chwilowego ładunku.

CHARAKTERYSTYKA POKRYWY ŚNIEŻNEJ W SEZONACH ZIMOWYCH 2007/2008 I 2008/2009

Wcześniejsze badania pokrywy śnieżnej w Łysogórach (Olszewski i wsp., 1993) wskazują, że prawdopodobieństwo wystąpienia pokrywy śnieżnej na Świętym Krzyżu jest największe w styczniu i pierwszej połowie lutego (ryc. 2C). Na początku lutego najczęściej obserwowana jest też największa grubość pokrywy śnieżnej, w wieloleciu 1954/55–1989/90 wynosząca średnio 50 cm. Równocześnie obserwowana jest duża zmienność długości oraz daty początku i końca okresu z pokrywą śnieżną pomiędzy kolejnymi latami.



Ryc. 2. Okres występowania pokrywy śnieżnej w wierzchwinowej partii Pasma Łysogórskiego w sezonach zimowych 2007/2008 i 2008/2009 (A i B) na tle prawdopodobieństwa jej wystąpienia (C) w wieloletniu 1954/55-1989/90 (Olszewski i wsp., 1993)

Fig. 2. Period of snow cover in the upper part of the Łysogóry Range during 2007/2008 and 2008/2009 winter seasons (A, B) as compared to snow cover occurrence probability (C) in 1954/55-1989/90 period (Olszewski et al., 1993)

W sezonie zimowym 2007/2008 pokrywa śnieżna pojawiła się w Paśmie Łysogórskim po raz pierwszy w połowie listopada (ryc. 2A), ale na stanowisku u podnóża pasma zaniknęła już po kilku dniach. Na stanowisku położonym w sąsiedztwie Stacji Monitoringu pokrywa śnieżna utrzymała się do końca miesiąca (ryc. 2A). Trwała pokrywa śnieżna ukształtowała się w połowie grudnia i zaniknęła w drugiej dekadzie stycznia w lesie u podnóża Pasma Łysogórskiego (238 m n.p.m.) i na początku trzeciej dekady stycznia w lesie w sąsiedztwie Polany Bielnik (513 m n.p.m.). W sezonie zimowym 2007/2008 pokrywa śnieżna tworzyła się w Paśmie Łysogórskim na krótko jeszcze trzykrotnie – na przełomie stycznia i lutego, w połowie lutego i na przełomie marca i kwietnia, kiedy zaniknęła ostatecznie (ryc. 2A). Grubość pokrywy śnieżnej w sezonie zimowym

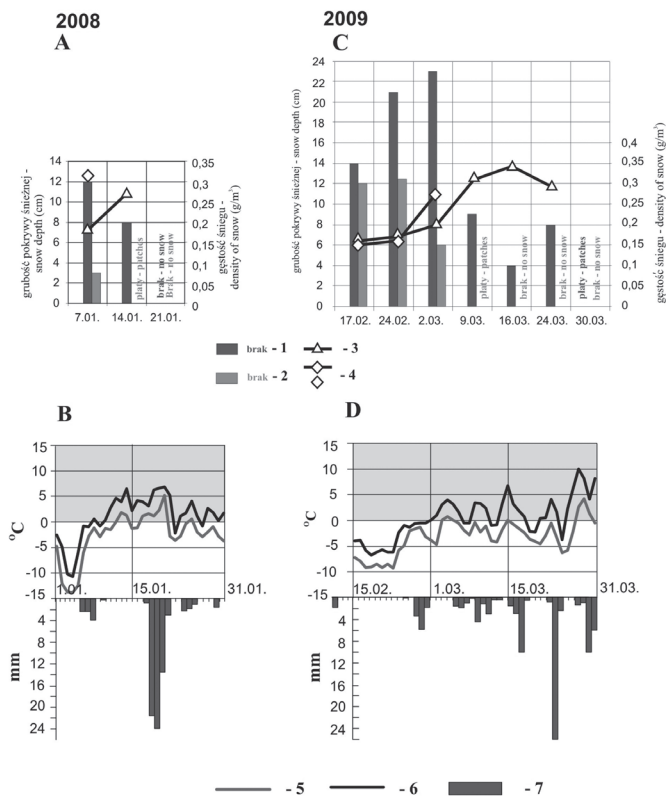
2007/2008 nie była duża, osiągnęła maksymalnie kilkanaście cm w sąsiedztwie Polany Bielnik i kilka cm u podnóża pasma.

W sezonie zimowym 2008/2009 pokrywa śnieżna w Łysogórach również pojawiła się w drugiej połowie listopada i podobnie jak rok wcześniej okazała się nietrwała (ryc. 2B). Następnie występowanie kilkucentymetrowej pokrywy śnieżnej było obserwowane w drugiej połowie grudnia, ale tylko w wierzchwinowej partii Pasma Łysogórskiego. U podnóża pasma pokrywa śnieżna pojawiła się na początku stycznia 2009 roku. Po przejściowych roztopach, które miały miejsce pod koniec stycznia, rozpoczął się ostatni, ale zarazem najdłuższy okres występowania pokrywy śnieżnej w sezonie zimowym 2008/2009. U podnóża pasma pokrywa śnieżna zaniknęła na początku marca, a w sąsiedztwie Polany Bielnik pod koniec marca 2009 roku (ryc. 2B). Właśnie w drugiej połowie lutego zanotowano największą grubość pokrywy śnieżnej w Łysogórach w tym sezonie zimowym – 24 cm na stanowisku górnym i 12 cm na stanowisku dolnym.

CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH I WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH W TRAKCIE WYBRANYCH EPIZODÓW ROZTOPOWYCH

Analizę zmian właściwości chemicznych wód potoku C-5, powiązanych ze zmianami chemizmu pokrywy śnieżnej, przeprowadzono tylko w części analizowanych sezonów zimowych. Były to okresy roztopów oraz poprzedzające je okresy, w których ukształtowała się trwała pokrywa śnieżna. W sezonie zimowym 2007/2008 były to okresy 7–21.01.2008, a w sezonie 2008/2009 – 7.02. – 30.03.2009.

Pogoda w drugiej połowie grudnia 2007 roku, kształtowana przez wyżowe układy baryczne, charakteryzowała się dużym zachmurzeniem podinewersyjnym, temperaturą powietrza zazwyczaj niewiele niższą od 0°C, ale też małą ilością opadów. W rezultacie tego początek zimy był mroźny, ale mało śnieżny. Grubość pokrywy śnieżnej nawet w wierzchwinowych partiach Łysogór wynosiła wówczas tylko kilka cm. Pod koniec grudnia miała jednak miejsce zmiana charakteru cyrkulacji atmosferycznej nad Polską, w rezultacie której pojawiły się opady marznącego deszczu, deszczu ze śniegiem i śniegu (<http://new.meteo.pl>).



Ryc. 3. Zmienność charakterystyk pokrywy śnieżnej (A, C) oraz warunków pogodowych (B, D) w trakcie 2 epizodów roztopowych w Paśmie Łysogórskim: grubość pokrywy śnieżnej (cm) na stanowisku górnym (1) i dolnym (2), gęstość śniegu (g/cm^3) na stanowisku górnym (3) i dolnym (4), minimalna (5) i maksymalna (6) dobowa temperatura powietrza, suma dobowa opadu (7)

Fig. 3. Changes of snow cover properties (A, C) and weather conditions (B, D) in the Łysogóry Range during 2 snow melt events: snow depth (cm) in the upper (1) and lower (2) measurement point, density of snow (g/cm^3) in the upper (3) and lower (4) measurement point, minimum (5) and maximum (6) daily air temperature, daily precipitation total (7)

Na Świętym Krzyżu początek stycznia charakteryzował się występowaniem bardzo niskich temperatur powietrza; maksymalna dobowa temperatura powietrza 4.01.2008 roku spadła tam poniżej -10°C . W kolejnych dniach obserwowaliśmy wzrost temperatury powietrza, z którym początkowo wiązały się kolejne opady śniegu (ryc. 3B). W rezultacie grubość pokrywy śnieżnej 7.01.2008 roku w lesie w sąsiedztwie Polany Bielnik wzrosła do 12 cm. Natomiast w lesie u podnóża pasma grubość pokrywy śnieżnej wynosiła tylko 3 cm (ryc. 3A). Gęstość

śniegu wynosiła $0,18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ na stanowisku górnym i $0,31 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ na stanowisku dolnym, gdzie śnieg był mokry i występował w formie dużych „ziaren”. W drugiej dekadzie stycznia 2008 roku wystąpił okres wyższych temperatur powietrza, w którym nawet minimalna dobowa temperatura powietrza często była dodatnia. Przyczyniło się to do zaniku pokrywy śnieżnej w Łysogórach, dodatkowo przyspieszonego przez opady deszczu w końcu drugiej dekady stycznia (ryc. 3B). U podnóża Łysogór 14.01.2008 roku występowały już tylko nieliczne płatki śniegu. Z kolei w sąsiedztwie Stacji Monitoringu UJK grubość pokrywy śnieżnej zmniejszyła się do 8 cm, chociaż zapas wody w śniegu spadł nieznacznie z racji jego transformacji, widocznej m.in. we wzroście gęstości śniegu do $0,27 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. W kolejnym dniu pomiarowym – 21.01.2008 roku, nie odnotowano występowania pokrywy śnieżnej na żadnym z analizowanych stanowisk. Nieliczne płatki śniegu występowały jedynie w lesie powyżej Polany Bielnik.

Pokrywa śnieżna pojawiała się w obszarze badań w sezonie zimowym 2007/2008 jeszcze trzykrotnie. Zanikała jednak bardzo szybko, tak że często w trakcie kolejnego dnia pomiarowego już jej nie obserwowano lub też obecna była jedynie w nielicznych płatach. Z tego powodu niemożliwe było wykorzystanie pozyskanego materiału pomiarowego do analizy zmienności właściwości chemicznych pokrywy śnieżnej i wód płynących.

W lutym 2009 roku po okresie wyższych temperatur, obserwowanych w pierwszej dekadzie miesiąca, powróciła łagodna, ale dość dokuczliwa – z racji intensywnych opadów śniegu – zima (<http://new.meteo.pl>). Na Świętym Krzyżu temperatura powietrza w drugiej połowie lutego 2009 roku była nieprzerwanie niższa niż 0°C , ale nie zaobserwowano w tym czasie spadków poniżej -10°C (ryc. 3D). Grubość pokrywy śnieżnej wzrosła z kilku cm w pierwszej dekadzie miesiąca do 15 cm na stanowisku w lesie obok Polany Bielnik i 12 cm w lesie u podnóża pasma 17.02.2009 roku. Śnieg był w niewielkim stopniu przetransformowany, stąd jego niewielka gęstość – ok. $0,15 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (ryc. 3C).

Wzrost temperatury w trzeciej dekadzie lutego 2009 roku i towarzyszące mu opady śniegu (ryc. 3D) spowodowały wzrost grubości pokrywy śnieżnej. Na stanowisku dolnym największa grubość pokrywy (12 cm) została zaobserwowana 24.02.2009 roku. Na stanowisku górnym maksimum grubości pokrywy śnieżnej (23 cm) zanotowano tydzień później, kiedy to u podnóża Pasma Łysogórskiego zmniejszyła się już ona do 6 cm. Na stanowisku dolnym spadkowi grubości pokrywy śnieżnej towarzyszyła jej transformacja widoczna we wzroście gęstości śniegu z $0,16 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ do $0,27 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (ryc. 3C). Tydzień później u podnóża Pasma Łysogórskiego występowały tylko płatki śniegu, które zniknęły w ciągu kilku dni. W sąsiedztwie Polany Bielnik grubość pokrywy też w tym czasie spadała

i po przejściowym zahamowaniu roztopów na początku trzeciej dekady marca 2009 roku pokrywa zaniknęła ostatecznie na początku kwietnia (ryc. 3C).

ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNYCH POKRYWY ŚNIEŻNEJ I WÓD PŁYNĄCYCH W TRAKCIE WYBRANYCH EPIZODÓW ROZTOPOWYCH

Właściwości chemiczne pokrywy śnieżnej – wyrażone wielkością pH i przewodności elektrolitycznej – znacznie różniły się pomiędzy sezonami zimowymi 2007/2008 i 2008/2009.

Odczyn wody zawartej w pokrywie śnieżnej w Paśmie Łysogórskim na początku stycznia 2008 roku charakteryzował się obniżonym pH i podwyższonymi wartościami przewodności elektrolitycznej. Odmienne wartości pH stwierdzono tylko na dolnym stanowisku 14.01.2008 roku, kiedy odczyn wody zawartej w śniegu był lekko alkaliczny, a przewodność elektrolityczna tylko nieco podwyższona (tab. 1). Tylko na tym stanowisku wyraźnie widoczna była synchroniczność procesu topnienia pokrywy śnieżnej oraz zmian jej chemizmu. Metamorfozie i topnieniu pokrywy śnieżnej (ryc. 3A) towarzyszył prawie dwukrotny spadek przewodności elektrolitycznej.

W lutym 2009 roku odczyn wody zawartej w pokrywie śnieżnej uległ zmianie z obojętnego na początku rozpatrywanego okresu na alkaliczny w trakcie późniejszych pomiarów. Zmianie tej towarzyszył wzrost grubości pokrywy śnieżnej. Odczyn wody „pośniegowej” wyrażony wartością pH spadał nieco, zbliżając się do obojętnego w trakcie nasilania się roztopów (ryc. 3C). Przewodność elektrolityczna wody tworzącej pokrywę śnieżną była dużo niższa niż we wcześniej opisanym epizodzie roztopowym z sezonu 2007/2008 – nieznaczna lub lekko podwyższona. Jej spadek w trakcie nasilających się roztopów był bardzo słabo wyrażony, chociaż pod koniec zalegania pokrywy śnieżnej na stanowisku górnym przewodność elektrolityczna wynosiła tylko $6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (tab. 1).

Wody potoku C-5 w obu sezonach charakteryzowały się podobnymi wartościami pH i przewodności elektrolitycznej. Odczyn wód płynących był wówczas kwaśny i zawierał się w granicach 4,18–5,26. W 2008 roku pomiędzy pomiarami z 14 i 21 stycznia w trakcie intensywnych roztopów widoczny był wzrost przewodności elektrolitycznej w wodach potoku odwadniającego pasmo (C-5) – ryc. 3A. W sezonie zimowym 2008/2009 obserwowano spadek pH i wzrost przewodności elektrolitycznej wód potoku w pierwszej dekadzie i pod koniec marca 2009 roku, w trakcie nasilania się roztopów (ryc. 3C).

Tabela 1. Zmiany właściwości chemicznych pokrywy śnieżnej i wód płynących Pasma Łysogórskiego w trakcie analizowanych epizodów roztopowych

Table 1. Changes of chemical properties of snow cover and stream water in the Łysogóry Range during two snow melt episodes

Data Date	pH			Przewodność elektrolityczna <i>Electrolytic conductivity</i> [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]		
	2007/2008					
	A	B	C	A	B	C
7.01.2008	4,57	4,54	4,78	60	64	84
14.01.2008	4,19	6,20	4,91	98	35	71
21.01.2008	–	–	4,90	–	–	103
2008/2009						
17.02.2009	5,00	5,51	4,18	16	13	48
24.02.2009	6,70	6,40	5,05	17	14	52
2.03.2009	6,12	7,07	5,26	16	19	72
9.03.2009	6,14	6,07	4,65	15	19	73
16.03.2009	6,31	–	5,02	10	–	64
24.03.2009	6,43	–	4,70	10	–	45
30.03.2009	5,59	–	4,65	6	–	82

A, B, C – stanowiska pomiarowe (patrz ryc. 1 i tekst) – measurement points (see fig. 1 and text)
 “–” – brak danych – no data

Wśród analizowanych anionów zawartych w pokrywie śnieżnej i wodach płynących Pasma Łysogórskiego największą koncentracją odznaczał się jon siarczanowy. W badanych próbkach ze stycznia 2008 roku było go nawet ponad 10 razy więcej niż jonu chlorkowego i azotanowego (tab. 2).

W trakcie epizodu roztopowego ze stycznia 2008 roku stwierdzono wyraźny spadek stężeń wszystkich trzech anionów w pokrywie śnieżnej na dolnym stanowisku pomiarowym. W przypadku jonu siarczanowego był on siedmiokrotny, w przypadku jonu chlorkowego czterokrotny, a jonu azotanowego dwukrotny.

Zarówno stężenia, jak i chwilowy ładunek badanych jonów (z wyjątkiem jonu azotanowego) w śniegu na stanowisku górnym nie zmieniały się pomiędzy pomiarami w dniach 7 i 14 stycznia 2008 roku. W wodach potoku C-5 zaobserwowano nieznaczny wzrost stężenia i ponadtrzykrotny wzrost ładunku jonu siarczanowego 21.01.2008 roku w porównaniu z poprzednim terminem pomiarowym (tab. 2).

Tabela 2. Zmiany stężenia (mg/l) i ładunku (mg/m², mg/s) wybranych jonów w pokrywie śnieżnej i wodach płynących Pasma Łysogórskiego w trakcie analizowanych epizodów roztopowych
Table 2. Changes of concentration (mg/l) and load (mg/m², mg/s) of given ions in the of snow cover and stream water in the Łysogóry Range during two snow melt episodes

Data Date	SO ₄ ²⁻			Cl ⁻			NO ₃ ²⁻		
	2007/2008								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
7.01.2008	a 9,6 b 211,2	a 7,7 b 77,0	a 15,7 b 22,0	a 0,6 b 13,2	a 0,8 b 8,0	a 1,6 b 1,5	a 1,3 b 28,6	a 1,0 b 10,0	a 2,5 b 3,5
14.01.2008	a 9,8 b 215,6	a 1,1 b -	a 14,3 b 20,0	a 0,8 b 17,6	a 0,2 b -	a 1,2 b 1,6	a 0,2 b 4,4	a 0,5 b -	a 2,7 b 3,8
21.01.2008	-	-	a 18,3 b 70,5	-	-	a 1,2 b 4,6	-	-	a 1,4 b 5,4
2008/2009									
17.02.2009	a 3,6 b 85,2	a 3,3 b 59,4	a 27,4 b 120,3	a 0,2 b 5,5	a 0,1 b 1,8	a 1,6 b 7,0	a 1,6 b 37,7	a 1,0 b 18,0	a 2,8 b 12,3
24.02.2009	a 5,9 b 206,8	-	a 27,9 b 126,4	a 0,2 b 5,2	a 0,1 b 2,4	a 1,3 b 5,9	a 1,7 b 58,8	a 1,4 b 27,4	a 2,7 b 12,2
2.03.2009	a 4,0 b 183,1	a 3,2 b 50,9	a 26,5 b 214,7	a 0,2 b 11,5	a 0,4 b 5,9	a 1,2 b 9,7	a 1,3 b 60,7	a 0,8 b 12,0	a 2,4 b 19,4
9.03.2009	a 4,1 b 115,9	a 5,6 b -	a 33,4 b 203,1	a 0,3 b 7,3	a 0,6 b -	a 2,2 b 13,4	a 1,1 b 31,6	a 0,8 b -	a 2,0 b 12,2
16.03.2009	a 0,8 b -	-	a 32,2 b 195,8	a 0,2 b -	-	a 1,6 b 9,8	a 0,3 b -	-	a 1,3 b 8,1
24.03.2009	a 3,0 b 69,0	-	a 33,3 b 19,4	a 0,8 b 17,2	-	a 1,7 b 11,3	a 0,7 b 16,6	-	a 1,2 b 8,1

30.03.2009	a	4,0	-	a	32,9	a	0,9	-	a	1,9	a	0,7	-	a	1,7
	b	-		b	228,7	b	-		b	12,2	b	-		b	11,7

A, B, C – stanowiska pomiarowe (patrz ryc. 1 i tekst) – measurement points (see fig. 1 and text)

a – stężenie badanych jonów – ion concentrations, b – ładunek badanych jonów w śniegu (mg/m^2) i wodzie płynącej (mg/s) – load of ions in the snow (mg/m^2) and stream water (mg/s)
 “-” – brak danych – no data

W badanej części sezonu zimowego 2008/2009 stężenie jonu siarczanowego w śniegu było niższe niż w styczniu 2008 roku i tylko około 2 razy wyższe od stężeń jonu chlorkowego i azotanowego. Stężenie analizowanych jonów w śniegu na obu stanowiskach zmniejszyło się w połowie marca 2009 roku w porównaniu z końcem lutego tego roku, w trakcie występujących wówczas roztopów. Jeszcze wyraźniej było to widoczne w odniesieniu do ładunków jonów (zwłaszcza SO_4^{2-} i NO_3^{2-}) w śniegu, które zmniejszyły się w tym czasie prawie dwukrotnie w rezultacie uwalniania jonów w trakcie metamorfozy i topnienia śniegu (tab. 2). Pewien wzrost stężeń i ładunków w pokrywie śnieżnej obserwowany był na początku trzeciej dekady marca 2009 roku, w związku z opadami śniegu i wzrostem grubości pokrywy śnieżnej (ryc. 3C). W wodach potoku C-5 można było zaobserwować wzrost koncentracji jonów siarczanowego i chlorkowego w pierwszej dekadzie marca 2009 roku, koincydujący z nasileniem topnienia śniegu. W tym czasie wystąpił też wyraźny wzrost chwilowego ładunku jonu siarczanowego (1,7-krotny), chlorkowego (ponad 2-krotny) i azotanowego (1,5-krotny). Pewien wzrost ładunków analizowanych jonów w wodzie potoku C-5 był też widoczny pod koniec marca 2009 roku, w trakcie ostatniego okresu roztopowego.

DYSKUSJA

Czas występowania okresów z najgrubszą i najbardziej trwałą pokrywą śnieżną w sezonach zimowych 2007/2008 i 2008/2009 pokrywa się z okresem, w którym – w świetle obserwacji wieloletnich – występowanie pokrywy śnieżnej jest najbardziej prawdopodobne (Olszewski i wsp., 1993). Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w badanych sezonach zimowych była jednak mniejsza od przeciętnej wartości z wielolecia 1954/1955–1989/1990, wynoszącej 50 cm. Taka wartość w ostatnich pięciu latach wystąpiła tylko w bardzo śnieżnych sezonach 2005/2006 (Jarzyna, 2007) i 2009/2010 (niepublikowane wyniki pomiarów

własnych). Jednak nawet wówczas daleko było do rekordowych 88 cm grubości pokrywy śnieżnej z sezonu zimowego 1969/1970 (Olszewski i wsp., 1993).

W rezultacie przeprowadzonych badań stwierdzono, że nasileniu roztopów towarzyszyło obniżenie pH i wzrost przewodności elektrolitycznej w wodach potoku odwadniającego północne stoki wschodniej części Pasma Łysogórskiego. Równocześnie obserwowano zmianę pH wód zawartych w pokrywie śnieżnej w kierunku odczynu bardziej obojętnego. W trakcie pomiarów prowadzonych w sezonach 2007/2008 i 2008/2009 słabo widoczny był spadek przewodności elektrolitycznej w topniejącej pokrywie śnieżnej, który tak silnie zaznaczył się pod koniec sezonu zimowego 2005/2006 (Jarzyna, 2007).

W trakcie analizowanych epizodów roztopowych dał się zauważyć spadek ładunków substancji zakwaszających środowisko w pokrywie śnieżnej oraz jednoczesny wzrost ładunków w wodach powierzchniowych (nawet kilkakrotnie). Nie ma w tym nic dziwnego, biorąc pod uwagę zmianę ilości nośnika substancji zakwaszających, wyrażoną z jednej strony spadkiem zapasu wody w śniegu, z drugiej – wzrostem stanu wód powierzchniowych. Również dotychczasowe badania obiegu materii w skali zlewni rzecznej, prowadzone w ramach ZMŚP, wyraźnie wskazują, że największe w przebiegu rocznym ładunki substancji rozpuszczonych odprowadzane są w trakcie wezbrań o charakterze roztopowym (m.in. Kruszyk, 2008).

Równocześnie można zauważyć stopniowy spadek stężeń analizowanych jonów w topniejącej pokrywie śnieżnej i równoczesny ich wzrost w wodach płynących, mimo wzrostu ilości „rozcieńczalnika”. Wskazuje to, że ilość zmagazynowanych w śniegu jonów, które są uwalniane do wód płynących, jest największa w pierwszej fazie procesu topnienia. Potwierdzają to badania Johannessena i Henriksena (1979) prowadzone w Górach Skandynawskich oraz Błasia i wsp. (2008) w Karkonoszach. Badacze norwescy stwierdzili na podstawie wyników eksperymentów laboratoryjnych i polowych, że 50–80% ładunku zanieczyszczeń zgromadzonych w pokrywie śnieżnej uwalnianego w trakcie roztopów zawarte jest w pierwszych 30% wody roztopowej. Z kolei P. Brimblecombe i wsp. (1986), analizując w warunkach laboratoryjnych topnienie prób śniegu pobranych w Górach Cairngorm w Szkocji (1986), stwierdzili, że tempo uwalniania różnych anionów nie jest równomierne. W początkowym etapie topnienia śniegu najszybsze jest tempo uwalniania jonów siarczanowych, najbardziej „oporne” zaś są jony chlorkowe, w rezultacie czego wody roztopowe w końcowej fazie ablacji są względnie wzbogacone właśnie tymi jonami.

Wśród analizowanych substancji największe znaczenie w zakwaszaniu wód powierzchniowych w następstwie roztopów ma jon siarczanowy.

Tygodniowy cykl pomiarowy zastosowany w badaniach chemizmu pokrywy śnieżnej i wód płynących w Łysogórach okazał się wystarczający, aby zarejestrować występowanie zjawiska zakwaszania wód płynących odwadniających pasmo w następstwie roztopów. Pomiarów było jednak zbyt rzadkich, żeby uzyskać równie jednoznaczne wyniki dotyczące dynamiki uwalniania anionów zawartych w pokrywie śnieżnej, jak w przypadku wyżej wspomnianych studiów badawczych.

Problem ten dotyczy zwłaszcza analizy chemizmu wód płynących, w których najwyższy przepływ i ładunek substancji rozpuszczonych w wodzie związane są z wezbraniem roztopowym i mogą wystąpić pomiędzy terminami pomiarowymi.

W przypadku analizy chemizmu pokrywy śnieżnej problemy wynikające ze zbyt małej częstości pomiarów są mniejsze. Chemizm pokrywy śnieżnej w danym momencie jest bowiem zapisem wszystkich zdarzeń, które zaszły pomiędzy nimi, mających wpływ na niego. Zbyt rzadkie pobieranie prób śniegu do analiz chemicznych może być problemem wówczas, gdy dynamika przyrostu i zaniku pokrywy jest duża, zwłaszcza w zimach z dużą częstością odwilży, takich jak zima 2007/2008. W niskich górach, jakimi są Góry Świętokrzyskie, zimy takie są dosyć częste. Problemy interpretacyjne mogą się też pojawić wówczas, gdy pomiędzy pomiarami dojdzie do wzbogacenia pokrywy śnieżnej w substancje w niej rozpuszczone, na skutek opadów śniegu lub topnienia okiści i szadzi. Ten drugi przypadek prawdopodobnie miał miejsce na początku drugiej dekady stycznia 2008 roku na górnym stanowisku pomiarowym. Podczas gdy intensywne roztopy spowodowały spadek stężenia badanych jonów w śniegu na stanowisku dolnym, w sąsiedztwie Polany Bielnik doszło do niewielkiego wzbogacenia pokrywy w jon siarczanowy i chlorkowy. Górna warstwa śniegu była tam wówczas przetopiona i zanieczyszczona na skutek opadu z drzew.

Analizy chemizmu pokrywy śnieżnej w okresie roztopów powinny być zatem częstsze, wykonywane dwa–trzy razy w tygodniu.

Stopień zakwaszenia wód płynących Łysogór w trakcie roztopów zależy od ładunku substancji zakwaszających, zawartego w pokrywie śnieżnej. Ten zaś w badanych sezonach zimowych zależał od zapasu wody w śniegu przed roztopami (śnieżności zimy) oraz stężenia zanieczyszczeń w wodzie tworzącej pokrywę. Wcześniejsze badania (Jarzyna, 2008) wykazały, że zarówno stężenie, jak i charakter zanieczyszczeń (kwaśne lub alkaliczne) wynikają z kierunku napływu mas powietrza przynoszących opady śniegu. To bowiem decyduje o tym, które emitory najsilniej zanieczyszczają składniki chmury. Badania Błasia

i wsp. (2008) wskazują, że na stopień zakwaszenia wód płynących ma też wpływ sam przebieg roztopów.

W dłuższej perspektywie czasowej duże znaczenie mają również zmiany wielkości emisji substancji odpowiedzialnych za zakwaszanie środowiska. Badania w północnej Szwecji wykazały, że redukcja o 65% wielkości depozycji związków siarki, która miała miejsce w okresie 1960–1990, spowodowała zmniejszenie obszaru dotkniętego przez silnie zakwaszone powódzie wiosenne o 75% (Laudon, Bishop, 2002). W Polsce największy spadek emisji substancji zakwaszających powietrze, a w szczególności SO_2 , miał miejsce na początku lat 90. poprzedniego stulecia. W obecnym dziesięcioleciu tempo redukcji emisji tych substancji jest już dużo mniejsze (<http://www.emep.int>). Stąd też nie należy się raczej spodziewać, aby w najbliższych latach zmiany emisji zanieczyszczeń przyczyniły się do zmniejszenia intensywności wiosennych epizodów zakwaszania wód płynących w Polsce, w tym także w Łysogórach.

Wydaje się, że obserwowane w trakcie roztopów zakwaszenie wód potoków odwadniających Pasma Łysogórskie jest mniejszym problemem niż epizodyczne zakwaszanie wód jezior górskich, obserwowane np. w: Skandynawii, Nowej Anglii i w górach Sierra Nevada (Schaefer i wsp., 1990; Stoddard, 1995). Wzrost stężeń i ładunków substancji zakwaszających w potokach Łysogór jest bowiem chwilowy, nawiązujący do wielkości przepływu wody w trakcie wezbrania roztopowego. W przyszłości wskazane byłoby jednak określenie, w jakim stopniu wody roztopowe przyczyniają się do zakwaszania zbiornika Wióry na Świślinie i okresowych niewielkich zbiorników wodnych tworzących się w obrębie śród-stokowych i podstokowych spłaszczeń Pasma Łysogórskiego. Jest to ciekawy problem badawczy, ponieważ stopień zakwaszenia zbiorników wodnych na wiosnę może wpływać na liczebność szeregu bezkręgowców (np. muchówek z rodziny Empididae) i płazów (np. amerykańskich salamander *Ambystoma tigrinum*), których wczesne stadia rozwojowe związane są z wodą (Wissinger, Whiteman, 1992; Lepori i wsp., 2003).

WNIOSKI

Stopień zakwaszenia wód powierzchniowych w Paśmie Łysogór w Górach Świętokrzyskich w trakcie roztopów zależy od zapasu wody w śniegu oraz ładunku substancji zakwaszających zawartych w pokrywie śnieżnej.

Analizowane epizody roztopowe pozwalają na stwierdzenie, że w pokrywie śnieżnej następuje spadek ładunków substancji zakwaszających i jednoczesny wzrost ładunków w wodach powierzchniowych. Jest to związane ze zmianą

ilości nośnika substancji zakwaszających, wyrażoną z jednej strony spadkiem zapasu wody w śniegu, z drugiej – wzrostem stanu wód powierzchniowych.

Ilość zmagazynowanych w śniegu jonów, które są uwalniane do wód płynących, jest największa w pierwszej fazie procesu topnienia. Wśród analizowanych substancji największe znaczenie w zakwaszaniu wód powierzchniowych ma jon siarczanowy.

Nasileniu roztopów towarzyszy obniżenie pH i wzrost przewodności elektrolitycznej w wodach potoku odwadniającego północne stoki wschodniej części Pasma Łysogórskiego.

Tygodniowy cykl pomiarowy zastosowany w badaniach chemizmu pokrywy śnieżnej i wód płynących jest wystarczający, aby zarejestrować występowanie zjawiska zakwaszania wód płynących w następstwie roztopów. Nie wystarczy jednak do oceny dynamiki uwalniania anionów zawartych w pokrywie śnieżnej. W tym przypadku częstotliwość pomiarów powinna wynosić 2–3 razy w tygodniu.

Literatura

- Błaś M., Sobik M., Polkowska Ż., 2008. Wpływ pokrywy śnieżnej na przebieg depozycji zanieczyszczeń w Sudetach Zachodnich. W: M. Ziułkiewicz (red.). Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych. Abstrakty wystąpień i prezentacji XV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego: 13.
- Brimblecombe P., Tranter M., Tsiouris S., Davies T.D., Vincent C.E., 1986. The chemical evolution of snow and meltwater. Modelling Snowmelt-Induced Processes. IAHS Publications. 155: 283, 295.
- <http://www.emep.int...> (data pozyskania: 15.09.20010).
- <http://new.meteo.pl/komentarze...> (data pozyskania: 15.09.20010).
- Jarzyna K., 2007. Monitoring pokrywy śnieżnej w Górach Świętokrzyskich. W: A. Kostrzewski, A. Andrzejewska (red.). Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego a zadania ochrony obszarów Natura 2000. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa: 311–318.
- Jarzyna K., 2008. Wpływ warunków meteorologicznych na chemizm pokrywy śnieżnej w Łysogórach w Górach Świętokrzyskich. W: E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Sekutnicki (red.). Polskie Towarzystwo Geofizyczne 1947–2007. Seria: Monografie IMiGW: 96–100.
- Johannessen M., Henriksen A., 1978. Chemistry of snow meltwater: Changes in concentration during melting. Water Resources Research. 14. 4: 615–619.

- Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Dokumenty ZMŚP. <http://www.staff.amu.edu.pl...> (data dostępu: 15.09.2010).
- Kruszyk R., 2008. Raport o stanie geoeosystemów Polski w roku 2008. Dokumenty i raport ZMŚP. <http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp...> (data dostępu: 15.09.2010).
- Kupczyk E., 1997. Akumulacja i topnienie pokrywy śnieżnej. W: U. Soczyńska (red.). Hydrologia dynamiczna. PWN. Warszawa.
- Laudon H., Bishop K.H., 2002. The rapid and extensive recovery from episodic acidification in northern Sweden due to declines in SO₄²⁻ deposition. *Geophysical Research Letters*. 29. 1594: 4s.
- Laudon H., Westling O., Bergquist A., Bishop K., 2004. Episodic acidification in northern Sweden: a regional assessment of the anthropogenic component. *Journal of Hydrology*. 297: 162–173.
- Lepori F., Barbieri A., Ormerod S.J., 2003. Effects of episodic acidification on macroinvertebrate assemblages in Swiss Alpine streams. *Freshwater Biology*. 48. 10: 1873–1885.
- Olszewski J.L., Żarnowiecki G., Chodurek J., 1993. Pokrywa śnieżna w partii szczytowej Łysogór według pomiarów na Świętym Krzyżu. *Studia Kieleckie*. 78. 2: 25–32.
- Radomski C., 1980: *Agrometeorologia*. PWN. Warszawa.
- Schaefer D.A., Driscoll C.T.Jr., van Dreason R., Yatsko C.P., 1990. The episodic acidification of Adirondack lakes during snowmelt. *Water Resources Research*. 26. 1639–1647.
- Stoddard J.L., 1995. Episodic acidification during snowmelt of high elevation lakes in the Sierra Nevada mountains of California. *Earth and Environmental Science. Water, Air & Soil Pollution*. 85. 2: 353–358.
- Wissinger S., Whiteman H., 1992. Fluctuation in a Rocky Mountain population of salamanders: anthropogenic acidification or natural variation?. *Journal of Herpetology*. 26. 4: 377–390.