

METAMORFOZA POKRYWY ŚNIEŻNEJ W REJONIE POŁUDNIOWEGO SPITSBERGENU W SEZONIE 1992/1993

Jan Leszkiewicz¹, Piotr Głowacki²

¹ Katedra Geomorfologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec
e-mail: leszkiewicz@us.edu.pl

² Zakład Badań Polarnych i Morskich, Instytut Geofizyki PAN, Warszawa
e-mail: glowacki@igf.edu.pl

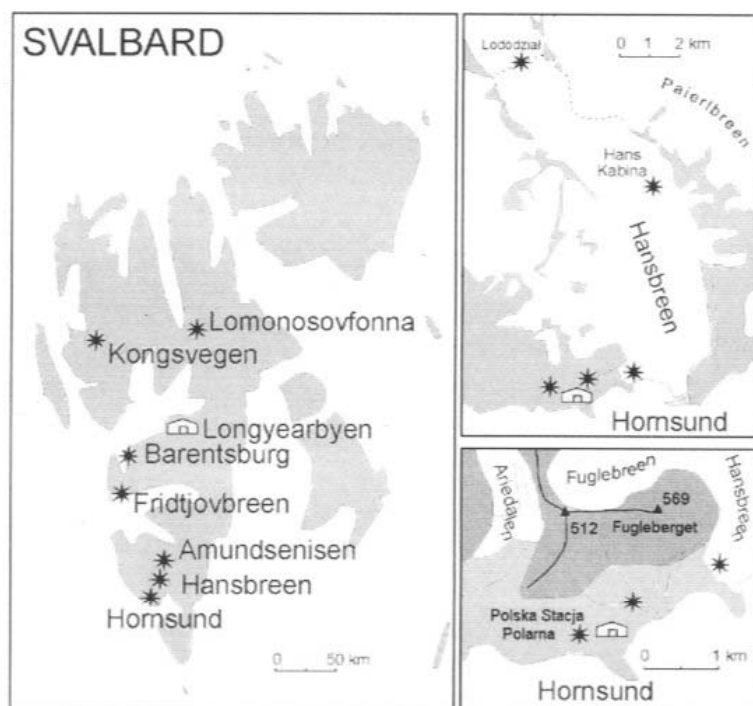
1. Wstęp

Badania pokrywy śnieżnej są podstawą do określenia bilansu lodowców i bilansu hydrologicznego ich zlewni. Istotnym jest więc odpowiednie wybranie punktów reperowych do określenia wielkości akumulacji zimowej. Problemem tym zajmowano się już w latach trzydziestych ubiegłego stulecia, wskazując na duże znaczenie czynnika lokalnego (Golubev 1976). Jednym z 65 reperowych lodowców na świecie jest lodowiec Hans położony w rejonie fiordu Hornsund na Spitsbergenie (Habberli, Frauenfelder i Hoelzle 2001). Dlatego w rejonie tym prowadzi się badania i doskonalą metody pozwalające określić z coraz większą dokładnością wielkość akumulacji zimowej na kilku wybranych lodowcach.

W pracy tej przedstawiono metamorfozę pokrywy śnieżnej na południowym Spitsbergenie w sezonie zimowym 1992/1993 w powiązaniu z kształtującymi ją warunkami meteorologicznymi. Uwzględniono odmienne środowiska zalegania śniegu jakimi są lodowce oraz obszary niezlodowczone podatne w różnym stopniu na wywiewanie śniegu. Nawiązując do wcześniejszych prac (Pereyma 1981, Leszkiewicz i Pulina 1999, Głowacki i Pulina 2000) szczególną uwagę zwrócono na własności fizyko-chemiczne pokrywy śnieżnej i ich znaczenie w identyfikacji poszczególnych warstw śniegu. Praca w dużej części proponuje nowe metodyczne wykorzystanie właściwości fizyko-chemicznych w powiązaniu ze stratygrafią rocznej pokrywy śnieżnej w zróżnicowanym przestrzennie i wysokościowo obszarze.

Badania śniegu przeprowadzono w rejonie Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie. Na lodowcach Hans i Amundsenisen wykopano liczne profile śnieżne. W sąsiedztwie Stacji Polarnej wykonano

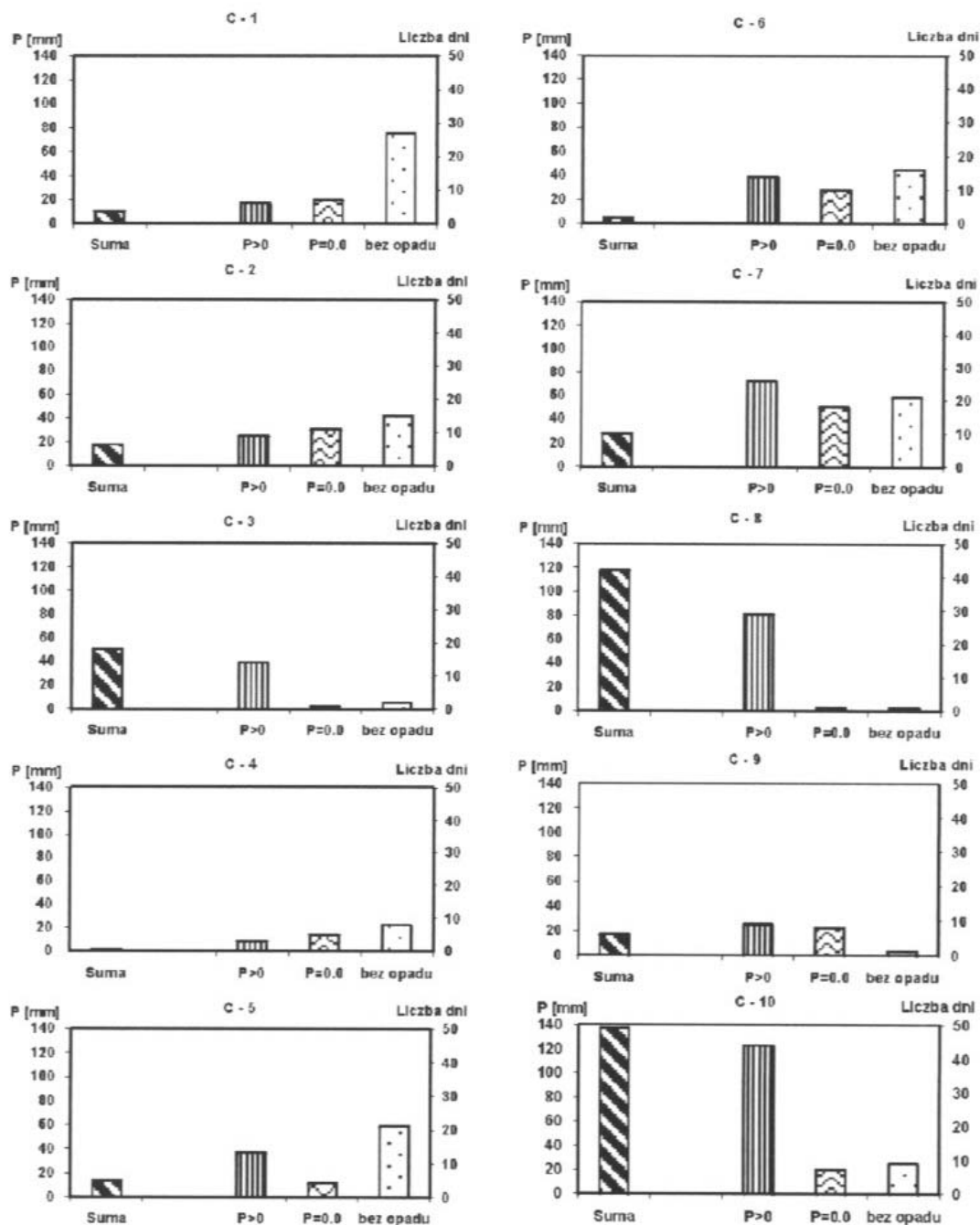
badania szczegółowe w dwóch punktach: na stanowisku Stacja i na stanowisku Fugle. Punkty te, położone blisko siebie (500m), są zlokalizowane niedaleko brzegu morskiego. Stanowisko Stacja jest reprezentatywne dla obszarów nisko położonych, silnie narażonych na znaczne wywiewanie śniegu (Leszkiewicz i Pulina 2000). Na stanowisku Fugle efekt wywiewania jest mniejszy, natomiast u podnóża stoków Fugleberget efekt ten nie występuje – ma tam miejsce nawiewanie śniegu. Lokalizację badań śniegu przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Lokalizacja miejsca badań

Zimowa pokrywa śnieżna na południowym Spitsbergenie kształtowana jest przez trzy główne czynniki: opady atmosferyczne występujące w postaci śniegu, silne wiatry wywiewające dużą ilość śniegu (lokalnie następuje depozycja śniegu) oraz krótkotrwałe odwilże zimowe. Niewielkie topnienie śniegu w czasie odwilży prowadzi do tworzenia się charakterystycznych warstw lodoszreni w przemarzniętej pokrywie śnieżnej. Lodoszreń chroni pokrywę śnieżną przed wywiewaniem. Ponadto warstwy lodoszreni ułatwiają analizę stratygraficzną śniegu.

Występowanie opadu atmosferycznego jest silnie powiązane z typem cyrkulacji atmosferycznej w rejonie południowego Spitsbergenu (ryc. 2). W analizie związków statystycznych pomiędzy cyrkulacją i opadem wykorzystano typologię cyrkulacji Niedźwiedzia (1993, 1997). W okresie od czerwca 1992 do maja 1993 aż 74% sumy rocznej opadu atmosferycznego, było związane z występowaniem trzech typów cyrkulacji (C-10, C-8 i C-3). Nad południowy Spitsbergen napływało wówczas powietrze z sektora południowo-zachodniego. Natomiast napływ powietrza z północy związany z typami cyrkulacji C-4, C-6 i C-1 dał tylko 4% rocznej sumy opadów.

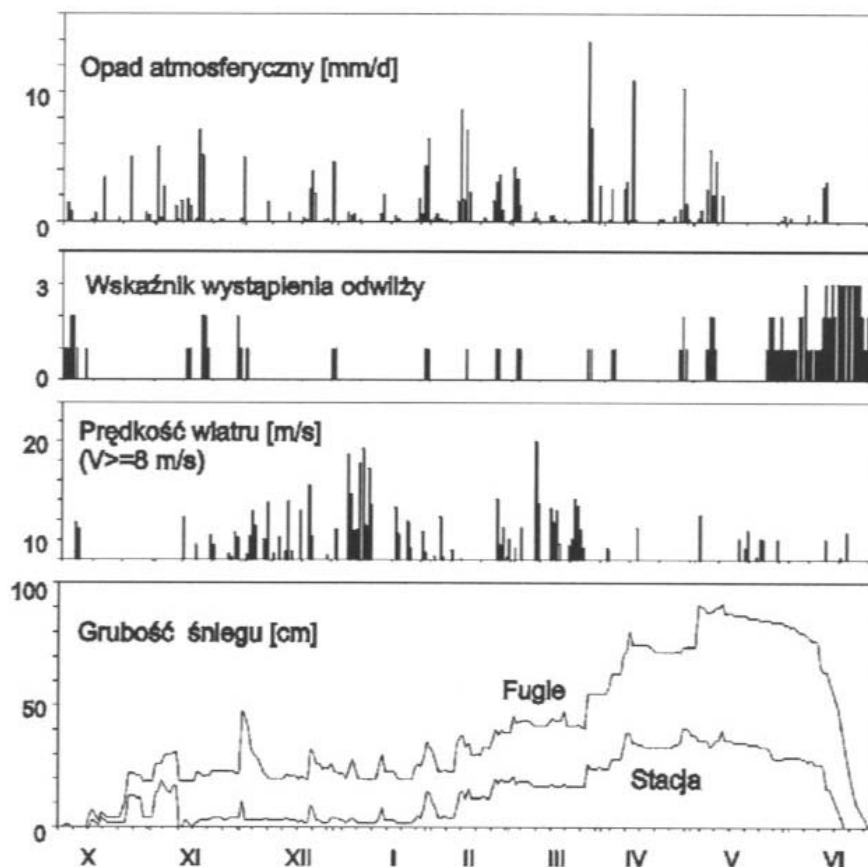


Ryc. 2. Zależność opadów atmosferycznych w rejonie Południowego Spitsbergenu od cyrkulacji atmosferycznej w sezonie 1992/1993, (typy cyrkulacji wg Niedźwiedzia)

2. Warunki meteorologiczne kształtujące pokrywę śnieżną w sezonie zimowym 1992/1993

Sezon zimowy 1992/1993 w stacji w Hornsundzie był zbliżony do typowych pod względem warunków meteorologicznych w tej części południowego Spitsbergenu. Rycina 3 i tabela 1 przedstawiają wybrane elementy meteorologiczne, które mają największy wpływ na procesy metamorfizacji

pokrywy śnieżnej¹. Czas trwania zimy 1992/1993 (247 dni) tylko nieznacznie różnił się od średniej wieloletniej (249 dni), temperatura zimowa (-9.4°C) była niższa od średniej (-7.8°C). Wartości pozostałych elementów meteorologicznych były niekorzystne dla wykształcenia się grubej pokrywy śnieżnej na stacji w Hornsundzie. Zimowy opad atmosferyczny (199.3 mm) był niższy od średniej wieloletniej (230.6 mm), prędkość wiatru natomiast (6.6 m/s) wyższa od średniej (6.0 m/s). Ponadto suma stopniodni z dodatnią temperaturą powietrza (PDD = 7.4), wskazująca na potencjał wystąpienia odwilży była znacząco niższa od średniej wieloletniej (PDD = 21.1). Wystąpiło więc stosunkowo niewiele odwilży zimowych sprzyjających rozwojowi lodoszreni, chroniących pokrywę śnieżną przed wywiewaniem. Wyższa od średniej suma usłonecznienia (593.8 godz. w porównaniu z 559.2 godz.) sprzyjała tworzeniu lodoszreni radiacyjnych, ale dopiero po zakończeniu nocy polarnej (marzec-maj). Wymienione warunki meteorologiczne ukształtowały na Stacji Hornsundzie w końcu zimy pokrywę śnieżną o grubości tylko 34 cm.



Ryc. 3. Zmiany grubości pokrywy śnieżnej na tle najważniejszych elementów meteorologicznych w rejonie Polskiej Stacji Polarnej, Hornsund - Spitsbegen w sezonie zimowym 1992/1993.

Stacja - Polska Stacja Polarna. Fugle - stanowisko Uniwersytetu Śląskiego w zlewni Fugleberget.

¹ Dane meteorologiczne ze stacji w Hornsundzie (tab. 1) zestawiono w sezonach rocznych zgodnych z przebiegiem polskich wypraw polarnych. Sezon 1992/1993 porównano z wynikami ze wszystkich wypraw zimujących w sezonach 1978/1979-2000/2001, nazywanymi w dalszej części artykułu średnimi z wielolecia.

Tabela 1

Porównanie wybranych elementów meteorologicznych sezonu 1992/1993 na tle średnich i sum z lat 1978/1979 - 2000/2001:
 (PDD – suma stopniodni z temperaturą powietrza dodatnią; NDD – suma stopniodni z temperaturą powietrza ujemną; Vw - prędkość wiatru;
 wyprawa zimą obejmuje okres 1 lipca do 30 czerwca; wyprawa I - 1978/1979; XXIII – 2000/2001)

a) - wyniki polskich wypraw zimujących w Hornsundzie (SW Spitsbergen)

Lata	Wyprawa	Temperatura powietrza					Opad atmosferyczny					Prędkość wiatru		Ustionez. Suma [h]
		Średnia [°C]	Max. [°C]	Min. [°C]	PDD [°C]	NDD [°C]	Średnia [mm/d]	Max. [mm/d]	Suma [mm/y]	Średnia [m/s]	Max. [m/s]			
1992-1993	XV	-5.3	8.0	-26.6	411.0	-2327.7	1.4	13.9	320.0	5.8	20.0	1063.1		
Średnia	I-XXIII	-4.7	7.7	-25.9	386.6	-2108.1	1.7	28.3	425.7	5.4	18.6	1039.2		
Maks.	I-XXIII	-2.8	10.8	-20.5	538.7	-1470.4	2.4	58.3	583.2	6.3	23.5	1346.4		
Min.	I-XXIII	-7.0	5.9	-32.5	171.7	-2910.3	0.9	12.6	290.7	4.4	15.6	727.7		

b) – sezony letnie

Lata	Wyprawa	Czas trwania [dny]	Okres [dni]	Temperatura powietrza					Opad atmosf. [mm/y]	Vw Średnia [m/s]	Ustionez. Suma [h]
				Średnia [°C]	Max. [°C]	Min. [°C]	PDD [°C]	NDD [°C]			
1992	XV	02.06 - 29.09	120	3.6	8.0	-0.4	427.6	-0.4	196.0	4.4	540.0
Średnia	I-XXIII	03.06 - 29.09	119	3.1	7.9	-1.6	382.3	-6.3	203.3	4.2	521.3
Maks.	I-XXIII	29.05 - 24.10	149	4.0	10.8	0.8	527.2	0.0	384.3	5.5	705.4
Min.	I-XXIII	10.06 - 30.08	82	2.5	6.1	-4.2	298.2	-20.5	60.0	2.8	256.0

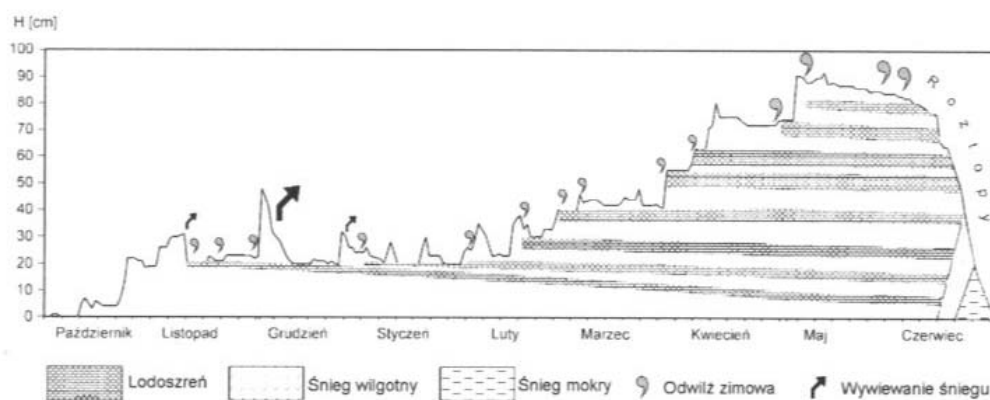
c) – sezony zimowe

Lata	Wyprawa	Czas trwania [dny]	Okres [dni]	Temperatura powietrza					Opad atmosf. [mm/y]	Vw Średnia [m/s]	Ustionez. Suma [h]
				Średnia [°C]	Max. [°C]	Min. [°C]	PDD [°C]	NDD [°C]			
1992/93	XV	30.09 - 03.06	247	-9.4	1.3	-26.6	7.4	-2324.9	199.3	6.6	593.8
Średnia	I-XXIII	29.09 - 02.06	249	-7.8	2.3	-26.1	21.1	-2119.9	230.6	6.0	559.2
Maks.	I-XXIII	31.08 - 09.06	283	-7.3	3.4	-20.5	49.5	-1467.1	349.1	7.1	710.6
Min.	I-XXIII	11.10 - 16.05	218	-11.5	1.3	-32.5	4.5	-2903.5	157.8	4.8	396.8

3. Pokrywa śnieżna w otoczeniu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie

W rejonie Polskiej Stacji Polarnej wyróżniono cztery fazy rozwoju i degradacji pokrywy śnieżnej (ryc. 3 i 4), które porównano z przebiegiem tego zjawiska w okresie zim 1988/1989 i 1989/1990:

- faza intensywnego wywiewanie śniegu (październik - styczeń).
Jest to zjawisko typowe dla początku zimy, świeży śnieg bywa całkowicie wywiewany dopóki po odwilży zimowej nie ukształtuje się chroniąca go przed wywiewaniem warstwa lodoszreni. Podwilżowa lodoszreni staje się powierzchnią graniczną w kolejnym cyklu wywiewania. Po czterech miesiącach od początku zimy, 30 stycznia, grubość pokrywy śnieżnej na stanowisku Stacja wyniosła tylko 4 cm, na stanowisku Fugle 25 cm;
- faza niewielkiego przyrostu grubości pokrywy śnieżnej (luty - marzec).
W okresie dwóch kolejnych miesięcy zimowych grubość pokrywy śnieżnej na stanowisku Stacja wzrosła od 4 do 17 cm. Przyczyna tak słabego przyrostu grubości śniegu była niewielka liczba odwilży zimowych, umożliwiającą dalsze intensywne wywiewanie śniegu;
- faza znacznego przyrostu grubości pokrywy śnieżnej (27 marzec - 24 maj).
Zjawisko przyrostu grubości śniegu wystąpiło na stanowisku Fugle (do 91 cm). Na stanowisku Stacja podobnie jak w sezonie 1988/1989 grubość pokrywy nie przekroczyła 40 cm;
- faza roztopów (25 maj - 28 czerwiec), opóźnione prawie o miesiąc w stosunku do poprzednich zim.

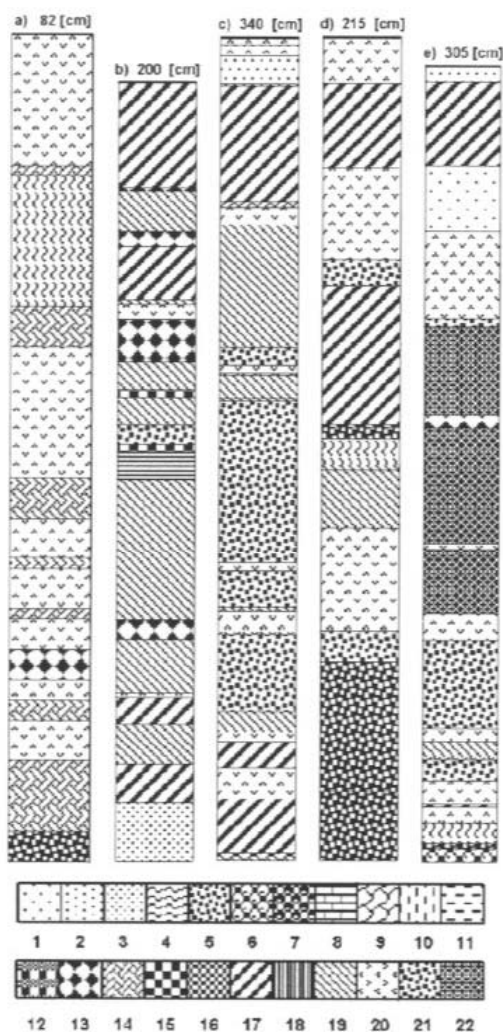


Ryc. 4. Metamorfoza pokrywy śnieżnej na stanowisku Fugle w rejonie Polskiej Stacji Polarnej Hornsund w okresie zimy 1992/1993.

Zima 1992/1993 na stanowisku Stacja należała do ubogich w śnieg podobnie jak zima 1988-1989. Jednak pogląd ten dotyczy wyłącznie obszarów podatnych na wywiewanie śniegu. Na stanowisku Fugle w tym sezonie ukształtowała się gruba (91 cm) pokrywa śnieżna, w której stwierdzono osiem warstw lodoszreni podwilżowych (ryc. 4). Niektóre z tych warstw, wyraźnie niejednorodne, zbudowane były z cienkich, milimetrowej grubości, warstewek lodu przedzielonych mniej zwartą lodoszrenią.

4. Zróżnicowanie pionowe i lokalne grubości śniegu

Ekwiwalent wodny pokrywy śnieżnej w końcu zimy w Polskiej Stacji Polarnej (8 m n.p.m.) wynosił tylko 150 mm, podczas gdy na stanowisku Fugle (5 m n.p.m.) był 2,5 krotnie wyższy (378 mm). Na lodowcach wartości te były znacznie wyższe. Na Lodowcu Hansa wynosiły one w strefie równowagi (300 m n.p.m.) – 726 mm a w strefie akumulacji (450 m n.p.m.) – 1459 mm; natomiast na Kopule Amundsenisen (700 m n.p.m.) – 1293 mm.



Ryc. 5. Wybrane profile (szurfy) pokrywy śnieżnej w rejonie Hornsundu w końcu sezonu zimowego 1992/1993, (poszczególne warstwy stanowią % udziału głębokości wkopu):

- a) zlewnia Fuglebekken 5 m n.p.m;
- b) lodowiec Hans - strefa ablacyjna 300 m n.p.m.;
- c) lodowiec Hans - strefa akumulacyjna 400 m n.p.m.;
- d) lododział Hansbreen-Vrengpeisbreen 500 m n.p.m.;
- e) Amundsenisen 700 m n.p.m.

Legenda warstw:

- 1 – świeży puch; 2 – śnieg drobnogranulowany, luźny;
- 3 – śnieg średniogranulowany, luźny;
- 4 – śnieg częściowo przekryształizowany, luźny;
- 5 – śnieg średnio i gruboziarnisty z odznakami sfirnowania;
- 6 – firn średnioziarnisty; 7 – firn gruboziarnisty;
- 8 – lód lodowcowy; 9 – firn z lodem; 10 – śnieg wilgotny;
- 11 – śnieg mokry; 12 – slush; 13 – lodoszeń luźna (warstwy lodu ze sfirnowanym śniegiem); 14 - lodoszeń zwarta;
- 15 – lodoszeń zbita; 16 – lód nałożony; 17 – śnieg przewiany; 18 – śnieg uwarstwiony; 19 – śnieg zwarty;
- 20 – śnieg zbity; 21 – śnieg mocno zbity (gips); 22 – śnieg bardzo mocno zbity (beton).

Oprócz przedstawionych wcześniej warunków meteorologicznych, w czasie zimy 1992/1993 grubość pokrywy śnieżnej zależała przede wszystkim od wysokości nad poziomem morza oraz od warunków lokalnych. Zmianę sum opadów zimowych w funkcji wysokości nad poziom morza obserwowanych w czasie zim 1988/89 - 1992/93, opisuje równanie w postaci wielomianu drugiego stopnia (Leszkiewicz i Pulina, 1999):

$$P_w(H) = -0,0012 \cdot H^2 + 2,2829 \cdot H + 247,2 \quad N = 37, \quad R^2 = 0,71$$

gdzie:

P_w - wysokość opadów zimowych [mm]

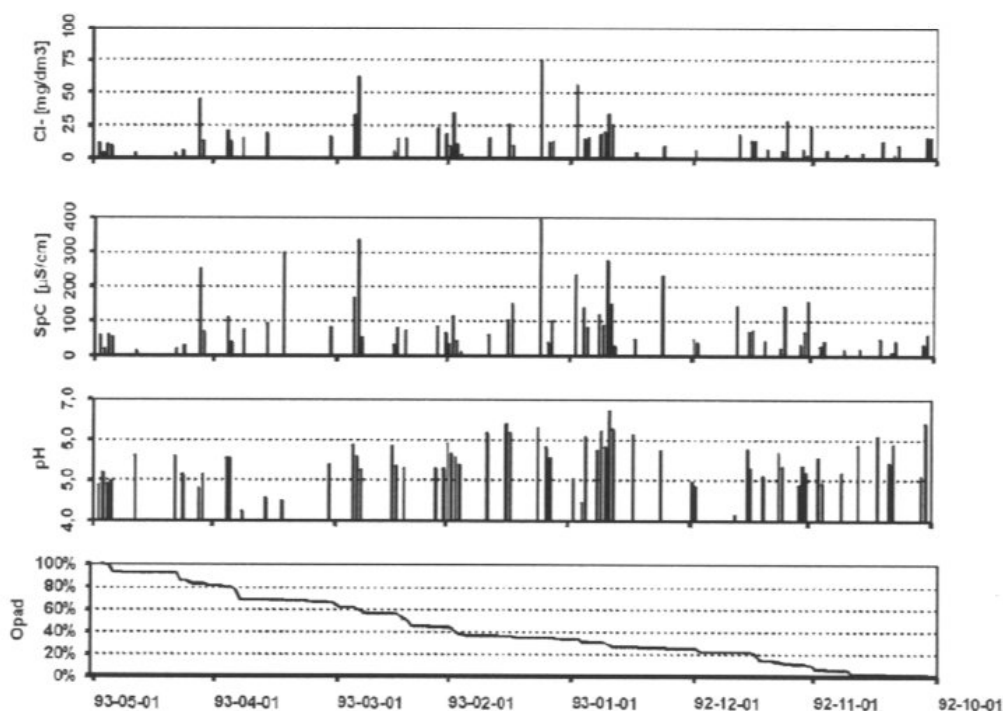
H - wysokość terenu [m n.p.m.]

Powyższe równanie, pomimo ograniczeń wynikających z natury równań statystycznych, wykorzystane zostało do oszacowania warunków lokalnych na Lodowcu Hans. Warunki lokalne na lodowcach to przede wszystkim podatność na wywiewanie i nawiewanie śniegu. Miejscem szczególnie podatnym na wywiewanie okazał się lododział Hansbreen-Vrangpeisbreen, skąd śnieg został wywiany do strefy akumulacji.

Wybrane profile śnieżne charakterystyczne dla różnych wysokości przedstawia rycina 5. Interpretacja profili zestawionych do porównania nie jest łatwa, ze względu na różny stopień metamorfizacji warstw pochodzących z tego samego opadu atmosferycznego.

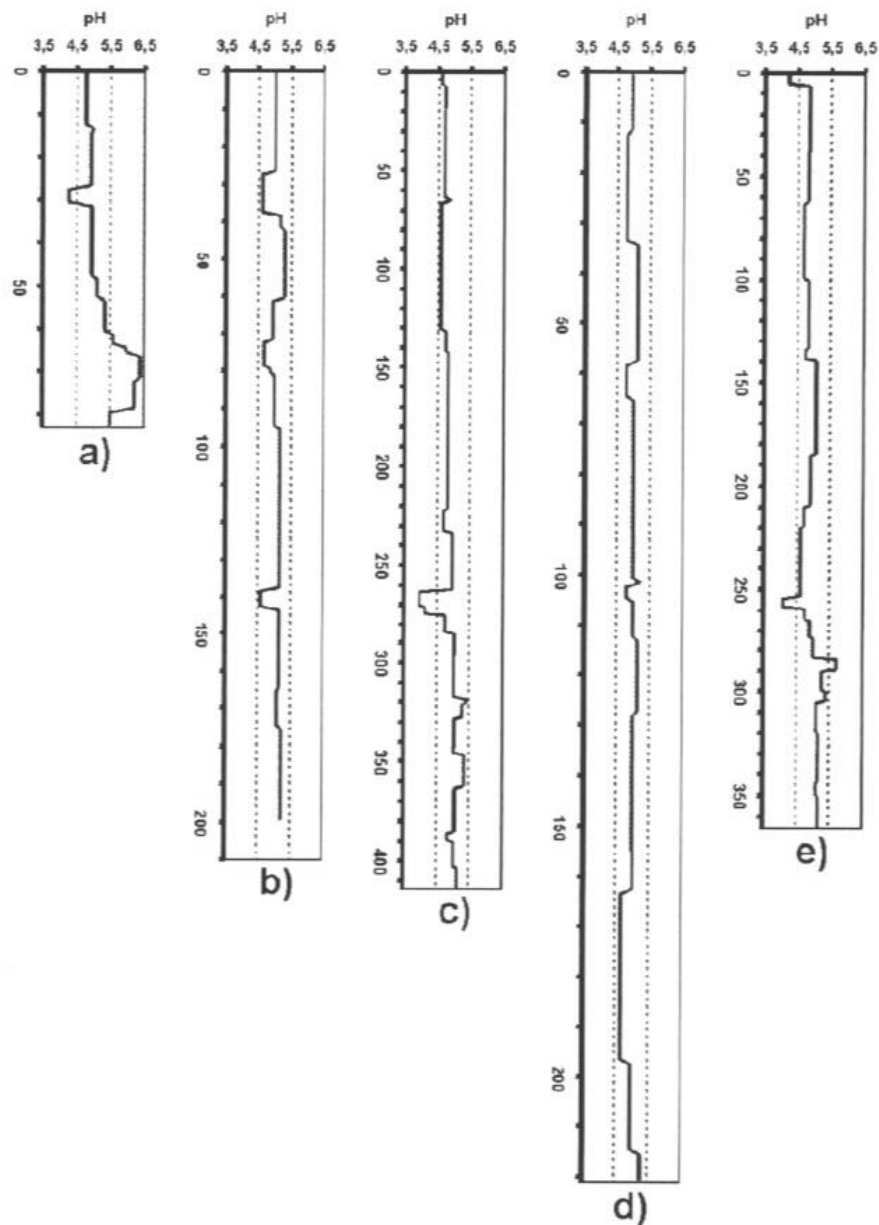
5. Właściwości fizyko-chemiczne jako indentyfikatory warstw śniegu

Do identyfikacji miejsc, gdzie śnieg jest wywiewany, lub nawiewany, pomocne są badania fizyko-chemiczne kolejnych warstw śniegu. W okresie zimy 1992/1993 poszczególne opady atmosferyczne były mocno zróżnicowane pod względem chemicznym (zmineralizowanie, zakwaszenie i stężenie jonów chlorkowych) co pokazuje rycina 6.



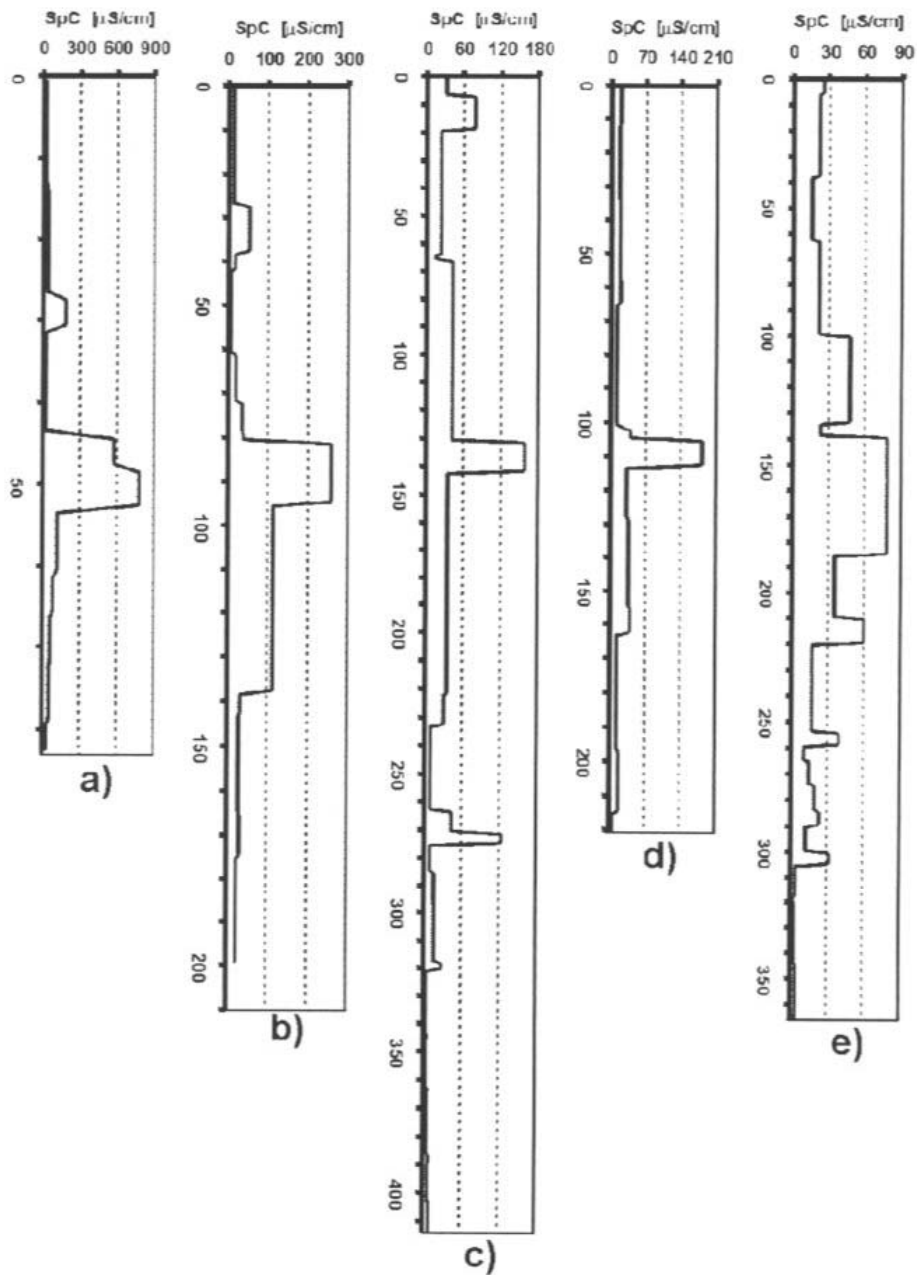
Ryc. 6. Właściwości fizyko-chemiczne opadów atmosferycznych w rejonie Hornsundu (Spitsbergen) w sezonie zimowym 1992/1993

Opady i poszczególne warstwy śniegu, ze względu na zakres wartości pH, przewodności elektrycznej właściwej i stężenia jonów chlorkowych podzielono na odpowiednie przedziały (Jansen i in. 1988, Leśniak 1996), przedstawiono je na rycinach 7 i 8. Pozwoliło to na wyróżnienie charakterystycznych warstw w pokrywie śnieżnej zalegającej na dużych obszarach i na różnych wysokościach.



Ryc. 7. Rozkład pionowy pH dla wybranych profili pokrywy śnieżnej w rejonie Hornsundu w końcu sezonu zimowego 1992/1993:

- a) zlewnia Fuglebekken 5 m n.p.m.; b) lodowiec Hans - strefa ablacyjna 300 m n.p.m.;
- c) lodowiec Hans - strefa akumulacyjna - 400 m n.p.m.; d) lododział Hansbreen-Vrengpeisbreen 500 m n.p.m.; e) Amundsenisen 700 m n.p.m.



Ryc. 8. Rozkład pionowy przewodności elektrycznej właściwej w wybranych profilach pokrywy śnieżnej w rejonie Hornsundu w maju 1993 r:

- a) zlewnia Fuglebekken 5 m n.p.m.; b) lodowiec Hans - strefa ablacyjna 300 m n.p.m.;
 c) lodowiec Hans - strefa akumulacyjna - 400 m n.p.m.; d) lododział Hansbreen-Vrengpeisbreen 500 m n.p.m.;
 e) Amundsenisen 700 m n.p.m.

W okresie silnych wiatrów, a szczególnie sztormów wystąpiły opady o podwyższonym przewodnictwie elektrycznym (SpC) dochodzącym do $393 \mu\text{S}/\text{cm}$. W opadach tych chlorki stanowiły 40-50% wielkości zmineralizowania. Opady te wystąpiły przede wszystkim w końcu grudnia i na

początku stycznia. W rejon Południowego Spitsbergenu docierały niekiedy opady silnie zakwaszone, wystąpiły one głównie w drugiej połowie marca 1993 oraz 19 listopada i 28 grudnia 1992. Najbardziej zakwaszony z nich z listopada o pH = 4,15 zaznaczył się w czterech profilach śnieżnych zlokalizowanych na lodowcach (ryc. 7: b, c, d, e). Nie jest on zaznaczony w profilu na stanowisku Fugle, ponieważ po tym opadzie zanotowano odwilże. Perkolacja wody w głąb pokrywy śnieżnej w czasie odwilży, przemieszcza zanieczyszczenia i zmienia pionowy rozkład, podwyższając wartość pH powyżej 6. Brak takich wartości pH w profilach śnieżnych na lodowcach świadczy jednoznacznie, że odwilże tam nie dotarły.

We wszystkich badanych profilach śnieżnych zaznaczyła się warstwa silnie zmineralizowanego opadu jaki wystąpił 8 stycznia 1993 roku (ryc. 8). Jak widać z rysunku kolejne opady o podwyższonej mineralizacji (z dnia 23 lutego i 14 marca) nie zaznaczyły się wyraźnie w profilach, co należy tłumaczyć przemieszczeniem i wymieszaniem eolicznym warstw śniegu. 4 kwietnia wystąpił kolejny silnie zmineralizowany opad, wyraźnie widoczny na trzech najniższych zlokalizowanych profilach (ryc. 8: a, b, c). Brak tej warstwy na lododziale pomiędzy lodowcami Hans i Vrangpeis oraz kopule lodowej Amundsenisen świadczy o silnych wiejących tam wiatrach, których nie zanotowano na wybrzeżu obok stacji polarnej.

Analiza warstw śniegu wyróżniających się wysokim stopniem zmineralizowania, lub silnym zakwaszeniem pozwala na określenie wielkości poszczególnych opadów atmosferycznych. Zróżnicowanie regionalne, przestrzenne i wysokościowe pokrywy śnieżnej, może być określone na podstawie zaburzeń w strigrafii układu tych warstw oraz zmienności pionowego profilu chemicznego. Pozwala to również wnioskować o wywiewaniu i redepozycji śniegu. Odczyn śniegu dla rejonu badań zwykle wykazuje słabe (pH = 4.1+5.1), lub silne zakwaszenie (pH < 4.1). Odwilże powodują zmianę odczynu śniegu na normalny (pH = 5.1+6.1). Obserwowane zmiany pH dają między innymi informację o zasięgu wystąpienia odwilży w profilu wysokościowym.

Tabela 2

Charakterystyka fizyko-chemiczna opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej w rejonie Hornsundu (Spitsbergen) w sezonie zimowym 1992/1993

Stanowisko	Wysokość	Zapas wody	Ładunki			Współczynniki		% udział chlorków
			soli	jonów Cl-	jonów H+	zmineralizowania	zakwaszenia	
	m n.p.m.	mm	g/m ²	g/m ²	mg/m ²	mg/m ² x mm e.w.	µg/m ² x mm e.w.	
Stacja	8	180.4	6.5	2.9	1.8	36	10	44
Fuglebeken	5	367.1	20.3	8.9	4.0	55	11	44
Hans (ablac.)	300	725.9	28.7	9.6	6.5	40	9	33
Hans (akum.)	400	1459.3	23.0	11.6	29.3	16	20	50
Hans-Vrangpeis	500	819.1	10.2	5.2	10.3	12	13	51
Amundsenisen	700	1293.5	20.7	10.0	21.3	16	16	48

Warto podkreślić, że ładunki zdeponowanych soli w pokrywie śnieżnej w tym rejonie wynosiły około 20 ton/km², zależały one tylko nieznacznie od jej grubości (tab. 2).

6. Wnioski

Praca oprócz walorów poznawczych, zawiera propozycje nowej metody badawczej. Analiza pokrywy śnieżnej wykorzystuje naturalne i antropogeniczne markery chemiczne.

Głównymi czynnikami kształtującymi zimową pokrywę śnieżną są dla Południowego Spitsbergenu opady atmosferyczne związane z napływem mas powietrza z kierunku południowo-zachodniego i krótkotrwałe odwilże zimowe. Znaczna metamorfizacja eoliczna pokrywy śnieżnej wywołana jest przez silne wiatry, które przemieszczają duże ilości śniegu.

Pionowy rozkład sum opadów zimowych można opisać wielomianem drugiego stopnia, a istotne odstępstwa w poszczególnych punktach na lodowcach, od wyliczonych z równania wartości, świadczą o dużym wpływie czynnika lokalnego – głównie transportu eolicznego śniegu. Punkty takie nie mogą być podstawą do badań modelowych.

Lodoszrenie oraz warstwy podwyższonej mineralizacji i silnie zakwaszone pozwalają:

- zidentyfikować warstwy utworzone przez ten sam opad atmosferyczny,
- zweryfikować wybór punktów badań będących podstawą do modelowania pokrywy śnieżnej na dużych obszarach,
- odtworzyć ewolucję pokrywy śnieżnej w rozkładzie przestrzennym i czasowym.

Podziękowanie

Praca została wykonana podczas XV Wyprawy Polarnej Instytutu Geofizyki PAN na Spitsbergen, kierowanej przez Krzysztofa Makowskiego. Prace terenowe zostały wykonane w znacznej mierze z pomocą pozostałych uczestników ekipy zimującej i grupy wiosennej Uniwersytetu Śląskiego.

Literatura

- Głowacki P., Pulina M., 2000. The physico-chemical properties of the snow cover of Spitsbergen (Svalbard) based on investigations during the winter season 1990/1991. *Polish Polar Research*, 21: 65-88.
- Golubev G. N., 1976. *Gidrologia lednikov*. Gidrometeoizdat, Leningrad, ss. 247.
- Haberli W., Frauenfelder R., Hoelzle M., 2001. *Glacier Mass Balance Bulletin*. IAHS (ICS) – UNEP – UNESCO – WMO, ss. 93.
- Jansen W., Brock A., Knack J., 1988. Kwaśne deszcze, historia, powstanie, skutki. *Aura* 4.
- Leszkiewicz J., Pulina M., 1999. Snowfall phases in analysis of a snow cover in Hornsund, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 20: 3-24.
- Leśniok M., 1996. Zanieczyszczenie wód opadowych w obrębie Wyżyny Śląsko – Krakowskiej. *Wyd. Uniw. Śląskiego, Katowice*, ss. 124.
- Niedźwiedz T., 1993. The main Factors Forming the Climate of the Hornsund (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe UJ Kraków – Prace Geograficzne*, 94: 49-63.

- Niedźwiedz T., 1997a. Częstość występowania typów cyrkulacji nad Spitsbergenem (1951-1995). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 9-18.
- Niedźwiedz T., 1997b. Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem i ich rola w kształtowaniu temperatury powietrza. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 19-40.
- Pereyma J., 1981. Pokrywa śnieżna w rejonie fiordu Hornsund na Spitsbergenie. [w:] VII Sympozjum Polarne. Materiały 1. Instytut Geografii Uniwersytet Śląski, Klub Polarny Polskie Towarzystwo Geograficzne, Sosnowiec: 7-20.

Metamorphosis of the snow cover in South Spitsbergen in the season 1992/1993

Summary

Winter snow cover in south Spitsbergen is modelled by three main factors: snow precipitation, strong winds which blow out large amounts of snow (locally snow deposition occurs) and winter thaws of short duration. Slight snow melting during thaws causes development of ice-crust layers in a frozen snow cover. The ice-crust protects snow cover from blowing out. Moreover, ice-crust layers are very important in the investigations of snow stratigraphy. In the winter snow cover of 1992/1993, eight layers of ice-crust were observed.

The occurrence of atmospheric precipitation is highly associated with the type of atmospheric circulation in the area of south Spitsbergen. In the analysis of statistic relations between circulation and precipitation, circulation typology of Niedźwiedz (1997) was applied. In the period June 1992 - May 1993, as many as 74% of annual solid precipitation was associated with the occurrence of three types of circulation (C-10, C-8 and C-3). The circulations C-4, C-6 and C-1 gave only 4% of annual precipitation.

The winter season 1992/1993 is connected with typical meteorological conditions that occur in the south part of Spitsbergen.

In the area of Polish Polar Station, four phases of development and degradation of snow cover were distinguished:

- intensive blowing out of snow (October – January),
- small increase of snow cover thickness (February – March),
- considerable increase of snow cover thickness (March – May),
- thaws (May, 25th – June, 28th).

The thickness of snow cover depended on the altitude and local conditions. Considerable differences were determined in snow thickness at two sites located in small distance from each other (500 m), both close to the seacoast (Fig. 1). Water equivalent of the snow cover at Polish Polar Station (8 m a.s.l.) at the end of winter was only 150 mm, whereas at Fugle site (5 m a.s.l.) it was 2.5 times higher (378 mm). These values were much higher on the glaciers; Hans Glacier in the ELA zone (300 m a.s.l.) – 276 mm and in the accumulation zone (450 m a.s.l.) – 1459 mm; Amundsenisen Plateau (700 m a.s.l.) – 1293 mm.

It should be noted, that precipitation was much differentiated in terms of their chemical composition (mineralization, acidity, concentration of chloride ions). This made it possible to distinguish characteristic layers in the snow cover, which occurred on large areas and at different heights.

The analysis of snow layers which showed high mineralization or acidity enabled to estimate the amount of precipitation. Regional, spatial and altitude differentiation of snow cover may also be determined basing on dislocations of layers stratigraphy and changes of vertical chemical profile. This may suggest snow redeposition or blowing out. The snow reaction in the area studied usually shows low acidity (pH = 4.1-5.1) or significant acidity (pH < 4.1). Thaws cause changes of snow reaction into values typical for snow (pH = 5.1-6.1). The observed pH changes give information on the range of thaws in a vertical profile. Loads of salt deposited in the snow cover in this area were about 20 t/km² and only slightly they depended on snow cover thickness.