

ZŁODZENIE HORNSUNDU I JEGO PRZEDPOLA (SW SPITSBERGEN) W SEZONIE ZIMOWYM 2007/2008

ICE CONDITION IN HORNSUND AND ITS FORESHORE (SW SPITSBERGEN)
DURING WINTER SEASON 2007/2008

Anna Styszyńska

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska
ul. Sędzickiego 19, 81–374 Gdynia
stysa@am.gdynia.pl

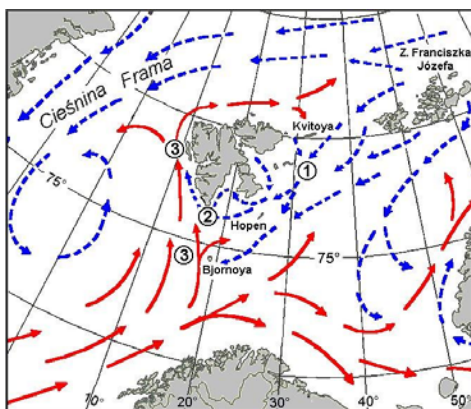
Zarys treści. W sezonie zimowym 2007/2008 przebieg zlodzenia Hornsundu był odmienny od przeciętnego. Od października do lutego średnia miesięczna temperatura powietrza była o 2,6–6,1 deg wyższa, a w marcu o 2,5 deg niższa od średniej klimatycznej (1978-2006). Ujemna temperatura wody powierzchniowej przy brzegu Isbjornhamny występowała od 29 X 2007 do 20 V 2008 r. Najniższe ($-1,9^{\circ}\text{C}$) wartości temperatury wody mierzono od trzeciej dekady listopada 2007 r. do końca kwietnia 2008 r. Latem i jesienią (VIII-X) 2007 r. dochodziło do intensywnego oblamywania się lodu lodowcowego, który okresowo tworzył zwarte skupienia growlerów i gruzu lodowcowego wzdłuż brzegu. W Isbjornhamnie pierwszy okres tworzenia się lodu morskiego miał miejsce między 31 października a 12 grudnia 2007 r. (łepa lodowa, krążki lodowe), drugi – od 26 grudnia 2007 r. do 22 maja 2008 r. Na przedpolu Hornsundu dryfujący lód allochtoniczny pojawił się w pierwszych dniach grudnia 2007 r. Od połowy lutego do trzeciej dekady kwietnia prawie cała powierzchnia Hornsundu pokryta była lodem dryfującym o zmiennej zawartości. Na osiowej partii fiordu lód autochtoniczny zanikł po 28 kwietnia 2008 r. Maksymalna wysokość wału lodu nabrzeżowego w Isbjornhamnie osiągnęła 2,5 m.

Słowa kluczowe: lód morski, sezon lodowy, temperatura wody morskiej, Hornsund, Spitsbergen.

1. Wprowadzenie

Charakterystyczną cechą pokrywy lodowej występującej w rejonie Hornsundu jest jej dwoistość. Wewnątrz fiordu, zwłaszcza w zatokach pobocznych, dochodzi do powstawania autochtonicznego lodu morskiego, który zimą tworzy, głównie przy brzegu, pokrywę lodu stałego (przylepa, pripaj, ang. *fast ice*). Pod wpływem falowania wchodzącego do fiordu z otwartego morza i prądów pływowych oraz silnych wiatrów wiejących wzdłuż fiordu, lód ten może być okresowo łamany i jako kra dryfować po wodach Hornsundu oraz być wynoszony na wody otwarte. Poza lodem morskim, w obrębie poszczególnych partii fiordu, może dochodzić do okresowego gromadzenia się lodu lodowcowego z osypujących się klifów lodowców uchodzących do morza. Lód ten występuje w postaci gruzu (druzgotu) lodowcowego (ang. *brash glacier ice*), odłamków (ang. *growler*; wystających do 1 m ponad lustro wody) i odłamów gór lodowych (ang. *bergy bit*; wystających 1-5 m n.p.m.). Od niektórych klifów mogą się również odlamywać małe góry lodowe (ang. *small iceberg*; 5-15 m n.p.m.).

Lody morskie występujące na zewnątrz fiordu są w większości lodami allochtonicznymi, pochodzącymi z NW części Morza Barentsa lub z basenu arktycznego. Dryfują one wzdłuż brzegu SW Spitsbergenu w wodach Prądu Sorkapskiego (wcześniej Wschodniospitsbergeńskiego; ryc. 1). Lody te, z prądami pływowymi lub pod wpływem wiatru, mogą zdryfować do wnętrza fiordu i okresowo pokrywać znaczną część jego powierzchni. Dopiero gdy wody prądowe wychłodzą się do temperatury zamarzania ($-1,8^{\circ}\text{C}$), wzdłuż brzegu otwartego morza, zwłaszcza w strefach pływicznych, może tworzyć się lód *in situ*. Według Norwegian Meteorological Institute¹ pokrywa lodowa na przedpolu Hornsundu występuje przeciętnie przez 7 miesięcy (XII-VI) w roku, przy czym o większym zwarciu (4–7/10) – od stycznia do kwietnia. Sezon bezlodowy ogranicza się do końca lata i jesieni (VIII-X). W okresie największego rozwoju – w marcu – pokrywa lodowa (o zwartości $> 1/10$) może się rozciągać na odległość do 100 km od brzegu. Charakterystyczne cechy rozwoju pokrywy lodowej na przedpolu Hornsundu w latach 1993-2001 omawiają Styszyńska i Wiśniewska (2002), a obserwacje wykonywane w obrębie fiordu – Görlich i Stepko (1992), Rodzik i Wiktorowicz (1995), Styszyńska i Buchert (2004, 2005), Styszyńska i Kowalczyk (2007), Styszyńska i Rozwadowska (2008) oraz Rodzik i Zagórski (2009).



Ryc. 1. Prądy powierzchniowe w rejonie Svalbardu:

- 1 – Prąd Wschodniospitsbergeński,
- 2 – Prąd Sorkapski,
- 3 – Prąd Zachodniospitsbergeński

Fig 1. Surface currents in the Svalbard region:

- 1 – East Spitsbergen Current,
- 2 – Sorkapp Current,
- 3 – West Spitsbergen Current

W czasie XXX Wyprawy Polarnej PAN kontynuowano, rozpoczęty cztery lata wcześniej, monitoring zlodzenia zachodniej i środkowej części fiordu Hornsund. Według programu rejestracja obejmowała występowanie lodu morskiego (napływowego i tworzącego się *in situ*) oraz lodu lodowcowego i gór lodowych. Obserwacje wykonywano, gdy zauważono istotne zmiany w charakterze lodu morskiego (wplynięcie do zatoki lodu allochtonicznego; wyraźne zmiany koncentracji, rozmieszczenia pasm i pasów lodu; pojawienie się lodu nabrzeżowego w Isbjornhamnie; zmiany grubości i powierzchni lodu stałego) oraz pojawienia się gór lodowych i dużych ilości gruzu lodowcowego (z głębi fiordu, lokalnie – z Lodowca Hansa). W miarę możliwości określano rodzaj oraz stopień koncentracji lodu dryfującego. Przy wizualnej identyfikacji lodów posługiwano się opisami form i stadiów rozwojowych lodu zawartymi w terminologii lodów morskich WMO (1970, 1989).

W czasie trwania XXX Wyprawy jej uczestnicy, głównie meteorolog Jerzy Kwaczyński, wykonali 37 szkiców sytuacyjnych na wcześniej przygotowanych podkładach kartograficznych, z których jeden

¹ Mean ice concentration for 1976–2006; <http://polarview.met.no/clima.html>

obejmował rejon Isbjornhamny, a drugi – cały fiord Hornsund. W 2007 roku szkice wykonano: 9, 17, 27 i 29 lipca; 17 i 28 sierpnia; 4, 12 i 22 września; 6, 13, 19 i 27 października; 2, 8, 15 i 28 listopada oraz 8, 14 i 26 grudnia, a w 2008 roku: 8, 16 i 31 stycznia; 7, 14 i 20 lutego; 1, 8, 16 i 24 marca; 1, 9, 18 i 25 kwietnia; 3, 8, 15, 21 i 30 maja; 8, 17 i 26 czerwca oraz 1 lipca. Obserwacje prowadzono ze zboczy Fugleberget lub Arikammen oraz Półwyspu Wilczka. W okresie nocy polarnej oraz niesprzyjających warunków pogodowych, uniemożliwiających wspinaczkę na zbocza Fugleberget, obserwacje stanu zlodzenia osiowej i zachodniej partii fiordu nie były wykonywane. Na szkicach notowano również dane hydrometeorologiczne takie jak: temperatura wody i powietrza oraz kierunek i prędkość wiatru mierzone na Polskiej Stacji Polarnej im. S. Siedleckiego. Każdy szkic dokumentowano zdjęciami fotograficznymi. W okresie od 1 lipca 2007 r. do 30 czerwca 2008 r. wykonywano także codzienne pomiary temperatury wody morskiej w bezpośrednim pobliżu Polskiej Stacji Polarnej (w rejonie Banachówki) oraz określano stan zalodzenia zachodniego brzegu Isbjornhamny.

Obserwacje lodów prowadzone w rejonie stacji w Hornsundzie uzupełniono analizami map lodowych wydawanych dla rejonu Svalbardu przez Norweski Instytut Meteorologiczny² oraz dla NW części Morza Barentsa przez amerykański National Ice Center³. Mapy norweskie przedstawiają rozkład przestrzenny lodów o danej zwartości, a mapy amerykańskie także informacje o grubości i formach lodu morskiego. Mapy te opracowywane są na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych.

2. Warunki meteorologiczne i hydrologiczne w sezonie zimowym 2007/2008

Tempo tworzenia się lodu morskiego zależy od intensywności oddawania ciepła przez wodę do atmosfery, która jest tym większa, im niższa jest temperatura powietrza (dalej T_p) i większe prędkości wiatru. W Hornsundzie, przeciętnie (VII 1978 – VI 2006) już w październiku T_p osiąga wartości ujemne, w następnych miesiącach szybko się obniża, spadając w okresie od grudnia do marca poniżej -10°C (ryc. 2). Od marca rozpoczyna się szybki wzrost T_p , osiągający międzymiesięczne maksimum między kwietniem i majem (5,4 deg; Marsz 2007).

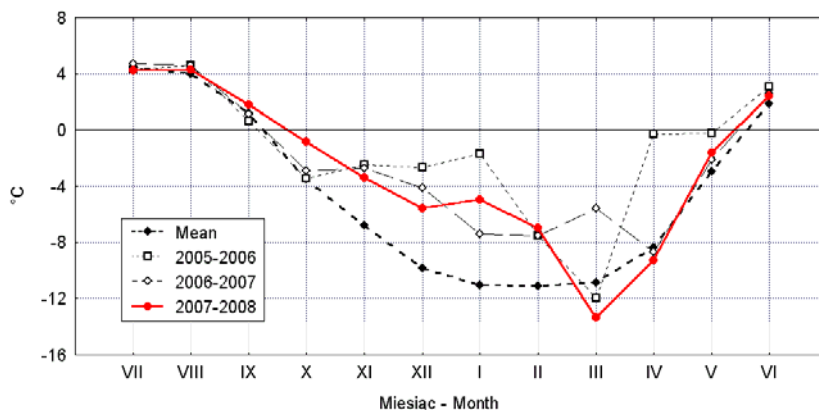
Warunki termiczne występujące w Hornsundzie w sezonie zimowym 2007/2008 miały, podobnie jak w pozostałych sezonach XXI wieku, przebieg wyraźnie odmienny od przeciętnego i były zbliżone do tych jakie panowały w sezonie 2000-2001. Od października do lutego włącznie średnia miesięczna T_p była wyższa o kilka stopni od średniej wieloletniej z lat 1978–2006 (w październiku o 2,6, listopadzie – 3,4, grudniu – 4,2, styczniu – 6,1 i lutym – 4,1 deg), natomiast w marcu o 2,5 deg niższa (ryc. 2). Przebieg średniej miesięcznej T_p w omawianym sezonie, zwłaszcza w jego II połowie, był również wyraźnie różny od tych, jakie miały miejsce w dwóch poprzednich sezonach zimowych (ryc. 2). Obserwowane w XXI wieku przesunięcie momentu wystąpienia minimum na koniec zimy wskazuje na bardzo dużą międzyroczną zmienność T_p w chłodnej porze roku i na znaczną w ostatnich latach oceanizację klimatu SW Spitsbergenu.

Jesienią 2007 r. średnie dobowe T_p poniżej 0°C wystąpiły stosunkowo późno, bo dopiero w październiku, a niższe od -5°C dopiero od drugiej dekady listopada. W okresie od grudnia do lutego, średnia dobowa T_p rzadko kiedy spadała poniżej -10°C (ryc. 3). W tych miesiącach kilkudniowe adwekcje bardzo mroźnego ($T_p < -10^{\circ}\text{C}$) powietrza przedzielane były ociepleniami, w czasie których średnia

² <http://polarview.met.no/>

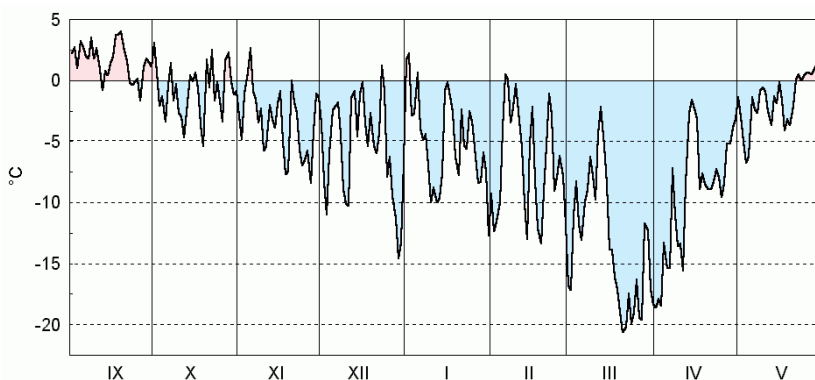
³ <http://www.natice.noaa.gov/products/arctic/index.htm>

dobowa T_p osiągała wartości dodatnie. Znaczące spadki średniej dobowej T_p (poniżej -15°C) miały miejsce dopiero pod koniec zimy, na przełomie marca i kwietnia (ryc. 3). W poszczególnych dekadach marca średnia dobowa T_p wynosiła w pierwszej $-10,4^{\circ}\text{C}$, drugiej $-12,1^{\circ}\text{C}$ i trzeciej $-19,1^{\circ}\text{C}$. Choć w pierwszej dekadzie kwietnia średnia dobowa T_p była również bardzo niska ($-14,4^{\circ}\text{C}$), to wobec wyraźnego wzrostu T_p w drugiej i trzeciej dekadzie (do $-6,8^{\circ}\text{C}$) średnia miesięczna T_p była w kwietniu bliska średniej wieloletniej.



Ryc. 2. Przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza w Hornsundzie w sezonie 2007/2008 na tle sezonów 2005/2006 i 2006/2007 oraz średniej wieloletniej (Mean) z okresu VII 1978 – VI 2006

Fig. 2. Course of mean monthly air temperature at Hornsund station during the season 2007/2008 as compared to 2005/2006 and 2006/2007 seasons and the multiyear (July 1978 – June 2006) mean



Ryc. 3. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w Hornsundzie w okresie od 1 września 2007 do 31 maja 2008 r.

Fig. 3. Mean daily air temperature at Hornsund station in the period 1 September 2007 – 31 May 2008

Wobec początkowo bardzo łagodnej pod względem termicznym zimy 2007-2008, odmienny przebieg miał również sezon lodowy. Jesienią, w październiku i listopadzie, kiedy T_p rzadko kiedy

spadała poniżej -5°C , jedynie w głębi fiordu, w warunkach spokojnej wody, na płytkich, osłoniętych od fali i prądów pływowych akwenach, mogło dojść do zamarznięcia powierzchniowej, wysłodzonej warstwy wody i powstania lodu świeżego (ang. *nilas*, do 10 cm grubości) lub szarego (ang. *grey ice*, 10-15 cm grubości). Oszacowana według formuły Zubova (za: Zakrzewski 1982), na podstawie sum stopniodni mrozu, grubość lodu stałego (bez pokrywy śnieżnej) mogła tam na koniec października osiągnąć 6 cm (tab. 1). Dalszy rozwój tego lodu na wewnętrznych, osłoniętych od fali akwenach fiordu (Brepollen, Burgerbukta, Samarinvagen), gdzie lód mógł tworzyć się w jednym cyklu, odbywał się bardzo powoli. Teoretycznie możliwa grubość lodu wyliczona na koniec listopada (17 cm) stanowiła tylko nieco ponad połowę jej wartości średniej wieloletniej (32 cm). Oszacowana według formuły Zubova grubość lodu stałego, powstałego w jednym cyklu, na koniec sezonu 2007-2008, wyniosła 84 cm. Choć stanowi to tylko 82% grubości przeciętnej (tab. 1), to w porównaniu do poprzedniego sezonu (2006-2007) końcowa grubość lodu mogła być o 4 cm większa (Styszyńska i Rozwadowska 2008), a w porównaniu do sezonu 2005-2006, w którym końcową grubość lodu stałego szacowano na 69 cm (Styszyńska i Kowalczyk 2007), aż o 15 cm.

Tabela 1 – Table 1

Miesięczne sumy stopnio-dni mrozu w Hornsundzie i przyrost grubości lodu stałego (bez pokrywy śnieżnej) obliczony według formuły Zubova, w sezonie 2007/2008 oraz w wieloletiu (1978-2006)

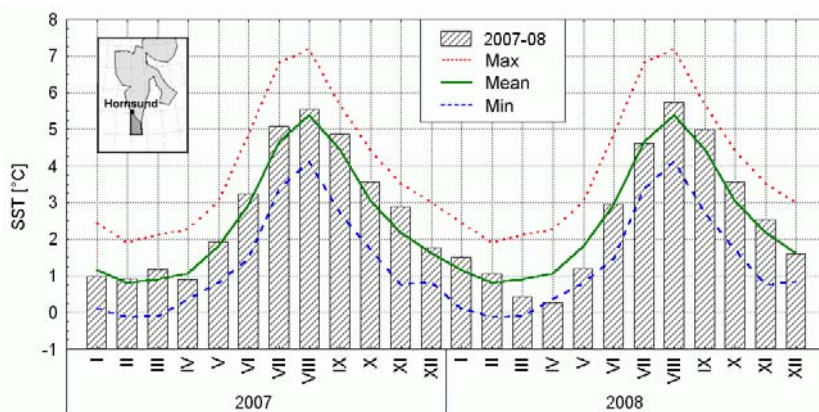
Monthly sums of frost degree-day and the increase in fast ice thickness (without snow cover) calculated with the Zubov formula during the season 2007/2008 and multiyear period (1978-2006)

Miesiąc Month	Sezon 2007/2008 – Season 2007/2008		Średnia wieloletnia – Multiyear average	
	Stopnio-dni mrozu [$^{\circ}\text{C}$] Frost degree-day [$^{\circ}\text{C}$]	Grubość lodu [cm] Ice thickness [cm]	Stopnio-dni mrozu [$^{\circ}\text{C}$] Frost degree-day [$^{\circ}\text{C}$]	Grubość lodu [cm] Ice thickness [cm]
IX	-3,2	-	-17,5	3
X	-40,7	6	-122,0	17
XI	-104,6	17	-185,0	32
XII	-174,2	31	-307,7	50
I	-158,0	41	-344,6	67
II	-203,1	52	-287,5	79
III	-416,2	71	-338,9	91
IV	-279,7	82	-254,1	100
V	-55,4	84	-97,0	103

Na przedpolu Hornsundu warunki do tworzenia się lodu morskiego były również niesprzyjające. Przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powierzchniowej warstwy wody (dalej T_w) w rejonie SW wybrzeża Spitsbergenu od Sorkappu po Hornsund – w gridzie $76-77^{\circ}\text{N}$, $15-17^{\circ}\text{E}$ ⁴, wskazuje (ryc. 4), że w całym sezonie zimowym 2007/2008 miała ona wartości dodatnie. Jesienią (IX-X) oraz na początku (XI-XII) i w środku zimy (I-II) temperatura wody była wyższa niż przeciętnie (1982-2006). Przyczyniała się do tego stosunkowo wysoka temperatura powietrza, przy której intensywność oddawania ciepła przez wodę do atmosfery była mocno ograniczona. Dopiero występujące w drugiej połowie marca i na początku kwietnia silne mrozy przyczyniły się do znaczącego spadku

⁴ Źródło danych: NOAA_OI_SST_V2, NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA; <http://www.cdc.noaa.gov/> (Reynolds i in. 2002).

temperatury wody, tak, że w obu tych miesiącach była ona niższa niż średnie wieloletnie (w marcu o 0,5, w kwietniu – o 0,8 deg; ryc. 4). Dodatkowo zarówno zasób ciepła w wodach podpowierzchniowych Prądu Zachodniospitsbergeńskiego jak i miąższość wód atlantyckich na szerokości Hornsundu były już znacznie niższe niż w latach 2004–2006 (Walczowski i Piechura 2007, Walczowski 2009). To spowodowało, że również w maju T_w była na przedpolu Hornsundu niższa od średniej wieloletniej (1982–2006; o 0,6 deg). Spadek T_w nie był jednak na tyle duży aby woda osiągnęła temperaturę zamarzania. W takich warunkach powstawanie lodu *in situ* na zewnątrz fiordu, u wybrzeży SW Spitsbergenu, było niemożliwe.



Ryc. 4. Przebieg średniej miesięcznej temperatury wody morskiej (SST) w gridzie (76–77°N, 15–17°E) w 2007 i 2008 r. na tle średniej (Mean), maksymalnej (Max) i minimalnej (Min) T_w z okresu 1982–2006 (dane: OI SST v.2)

Fig. 4. Course of mean monthly SST (T_w) in (76–77°N, 15–17°E) grid in 2007 and 2008 as compared to the mean, maximum (max) and minimum (min) SST from the period 1982–2006 (data: OI SST v.2)

W odróżnieniu od wód występujących na zewnątrz fiordu, pomiary temperatury wody w warstwie przypowierzchniowej prowadzone na zachodnim brzegu Isbjornhamny (przy Banachówce) wskazują, że stosunkowo szybko, bo już we wrześniu, T_w w strefie przybrzeżnej wewnątrz fiordu osiągnęła wartości ujemne (ryc. 5, tab. 2). Znaczący spadek temperatury wody powierzchniowej obserwowany w tym czasie w bezpośrednim pobliżu Polskiej Stacji Polarnej spowodowany był występowaniem na powierzchni Isbjornhamny wód lodowcowych oraz okresowo dużej ilości growlerów i gruzu lodowcowego pochodzących z pobliskiego Lodowca Hansa. We wrześniu, w sumie przez jedenaście dni przy zachodnim brzegu Isbjornhamny występowały growlery i gruz lodowcowy tworzące zwarte i bardzo zwarte pasy o zmiennej szerokości (od kilku do ponad 100 m). Im szersza była strefa zwanego lodu lodowcowego, tym bardziej spadała T_w . Na przykład gdy 7 września przy brzegu wystąpiło pasmo drobnych growlerów i gruzu o szerokości 2 m, T_w obniżyła się z 2,1 do 0,3°C, a gdy następnego dnia (8 IX) szerokość strefy zwanego druzgotu wzrosła do około 200 m T_w spadła do –1,4°C. Rozluźnienie lodu 10 września odbiło się wzrostem T_w do 0,1°C, a ponowne ich zwarcie przy brzegu w paśmie o szerokości około 10 m (11 IX) spadkiem T_w przy brzegu do –1,2°C (tab. 2, ryc. 5). Podobna sytuacja miała miejsce w dniach 15–19 września kiedy to przy zachodnim brzegu Isbjornhamny pasmo nagromadzonego zwanego druzgotu miał zmienną szerokość od 10 do 100 m.

Tabela 2 – Table 2

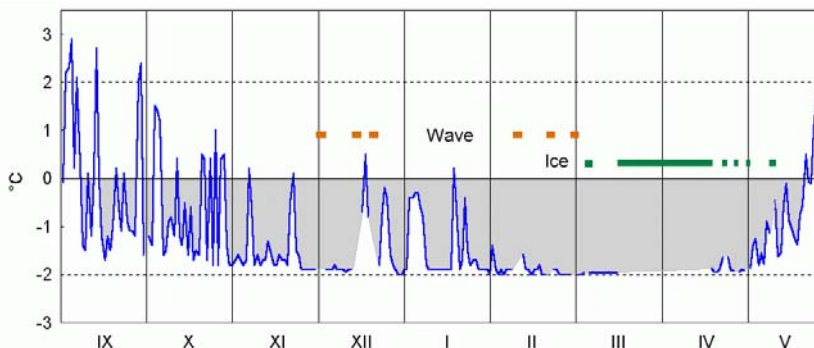
Temperatura wody powierzchniowej mierzonej na zachodnim brzegu Isbjornhamny w okresie od 1 lipca 2007 do 30 czerwca 2008. Brak obserwacji ze względu na występujący na brzegu lód lub duże falowanie oznaczono jako "ice" lub "wave"

Sea surface temperature measured on the western shore of Isbjornhamna in the period from 1 July 2007 to 30 June 2008. Lack of observation because of shore ice or big waves was marked as "ice" or "wave"

Dzień Day	2007						2008					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
1	2,1	-1,3	-0,1	-1,2	-1,7	-	-1,9	-1,4	-2,00	-1,97	-1,87	0,54
2	2,8	-1,5	2,2	-1,4	-1,6	ice	-0,4	-1,9	-2,00	ice	-1,41	1,22
3	4,2	-0,7	2,3	1,5	-1,7	-1,9	-0,4	-2,0	-1,96	ice	-1,26	0,19
4	4,1	-1,4	2,9	1,4	-1,8	-1,9	-0,3	-1,9	ice	ice	-1,81	3,30
5	4,0	-1,1	0,2	1,2	-1,7	-1,9	-0,3	-2,0	-1,96	ice	-1,55	4,12
6	5,4	-1,5	2,1	-1,6	0,2	-1,8	-0,6	-1,9	-1,95	ice	-1,79	4,70
7	5,0	-0,6	0,3	-1,5	-0,6	-1,9	-0,8	-1,9	-1,96	ice	-0,89	3,51
8	2,7	-1,1	-1,4	-0,9	-1,8	-1,9	-1,8	-1,9	-1,97	ice	-1,15	3,30
9	4,2	0,6	-1,5	-0,8	-1,6	-1,9	-1,9	ice	-1,97	-1,94	ice	3,46
10	4,1	3,7	0,1	-1,2	-1,8	-1,9	-1,9	ice	-1,97	ice	-0,45	6,28
11	4,0	1,2	-1,2	0,4	-1,7	-1,9	-1,9	wave	-1,96	ice	-1,62	2,71
12	5,2	2,5	0,1	-1,2	-1,7	-1,9	-1,9	-1,6	-1,95	ice	-1,53	3,53
13	5,0	3,9	2,7	-1,4	-1,3	wave	-1,9	-1,9	-1,96	ice	-0,53	3,61
14	4,7	4,9	0,0	-0,5	-1,6	-1,8	-1,9	-1,9	-1,96	ice	-0,11	3,97
15	4,0	5,1	-1,2	-1,6	-1,8	wave	-1,9	-2,0	-1,97	ice	-0,86	3,59
16	4,7	6,1	-1,7	-0,6	-1,8	0,2	-1,9	-1,9	ice	-1,93	-1,03	2,50
17	6,3	4,0	-1,2	-1,7	-1,6	0,5	-1,9	-1,9	ice	ice	-1,25	3,46
18	4,3	3,1	-1,5	-1,5	-1,7	-0,8	0,2	-1,8	ice	-1,88	-1,37	2,98
19	2,1	3,4	-1,0	-1,6	-1,7	wave	-0,6	-2,0	-1,96	-1,95	-0,73	3,53
20	2,9	4,3	0,2	0,5	-1,8	-0,7	-1,9	-2,0	ice	-1,94	-0,56	2,92
21	-0,2	4,2	-0,6	0,4	-0,5	wave	-1,7	ice	ice	-1,90	0,50	3,35
22	2,9	1,3	-1,1	-1,7	0,1	-1,8	-0,4	ice	ice	-1,65	-0,08	wave
23	3,0	2,5	0,1	0,4	-1,5	-0,8	-1,5	-1,9	ice	ice	-0,11	3,46
24	2,7	2,6	-0,9	-1,8	-1,6	-0,2	-1,8	-1,9	ice	-1,63	1,01	3,81
25	4,2	0,3	-1,1	1,0	-1,9	-0,4	-1,7	-2,0	-1,96	-1,90	1,81	2,21
26	4,7	2,9	-1,1	-1,8	-1,9	-1,6	-1,7	-2,0	ice	-1,93	0,62	wave
27	3,5	0,7	-1,2	0,4	-1,9	-1,8	-1,9	-2,0	ice	ice	0,54	2,47
28	3,8	-1,4	2,0	0,5	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	ice	-1,94	0,49	0,91
29	-1,4	-1,1	2,4	-1,4	-1,9	-2,0	-1,9	-2,0	-1,97	-1,90	0,96	0,45
30	-0,7	1,7	-1,6	-1,8	-1,9	-2,0	-1,9		ice	-1,92	0,91	1,72
31	-1,1	3,2		-1,8		-1,9	-2,0		ice		0,44	
Min	-1,1	-1,5	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,97	-1,87	0,19
Max	6,3	6,1	2,9	1,5	0,2	0,5	0,2	-1,4	-1,95	-1,63	1,81	6,28
Średnia Mean	3,30	1,63	-0,03	-0,69	-1,52	-1,44	-1,43	-1,90	-1,97	-1,88	-0,49	2,92

Ujemna temperatura wody powierzchniowej w okresach nagromadzenia się w pobliżu zachodniego brzegu Isbjornhamny znacznych ilości lodu lodowcowego obserwowana była także latem (21, 29, 30 i 31 lipca; 1-8, 28-29 sierpnia). W takich przypadkach Tw spadała z ponad 2°C gdy lodu nie było, do -0,2°C przy luźnym gruzie lodowym i poniżej -1°C przy dużej zawartości druzgotu lodowcowego. Od października 2007 r. do drugiej połowy maja 2008 r. włącznie temperatura wody mierzona w rejonie Banachówki miała na ogół wartości ujemne (tab. 2, ryc. 5). W tym okresie tylko w ciągu kilkunastu dni

(w X – 10, XI – 2, XII – 2, I – 1 dzień) T_w podnosiła się nieco powyżej zera (0,1-0,5°C). Miało to miejsce w czasie gdy zatoka wolna była od lodu i dochodziło do wymieszania w czasie silniejszego falowania wysłodzonej, powierzchniowej warstwy wody z cieplejszymi, bardziej zasolonymi wodami zalegającymi poniżej pynokliny. Najniższe wartości temperatury wody powierzchniowej (-1,8÷ -2,0°C) mierzono od trzeciej dekady stycznia do końca kwietnia 2009 r. (ryc. 5).

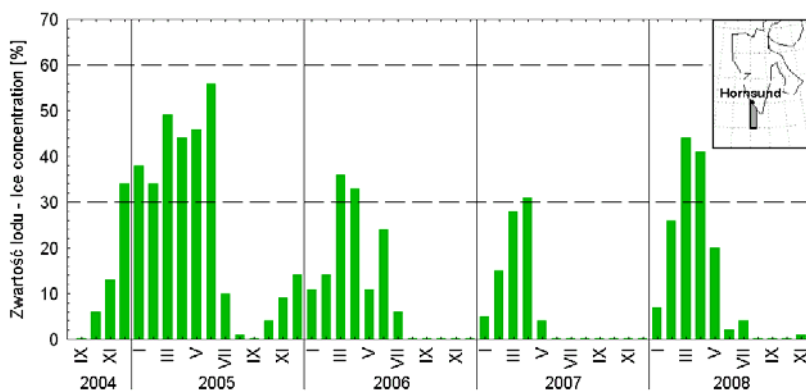


Ryc. 5. Przebieg temperatury wody powierzchniowej mierzonej na zachodnim brzegu Isbjornhamny w okresie od 1 września 2007 do 31 maja 2008 r. Brak obserwacji ze względu na występujący na brzegu lód lub duże falowanie oznaczono jako "Ice" lub "Wave"

Fig. 5. Course of sea surface temperature measured on the western shore of Isbjornhamna in the period 1 September 2007 – 31 May 2008. Lack of observation because of shore ice or waves was marked as "Ice" or "Wave"

W sezonie zimowym 2007-2008 pierwszy lód młody (ang. *young ice*, 10-30 cm grubości) na płycznach Sorkappu pojawił się nieco wcześniej niż w poprzednim sezonie, bo już pod koniec pierwszej dekady grudnia. Po połamaniu przez fale lód ten mógł w wodach Prądu Sorkapskiego dryfować na północ i pojawiać się u wejścia do Hornsundu. Jego ilość była jednak niewielka. Według NOAA NECP średnia koncentracja lodów na podejściu do Hornsundu, w gridzie 76-77°N i 15-16°E⁵, czyli w polu o rozmiarach 14 x 60 Mm, w styczniu nie przekraczała 7% i była tylko nieco (o 2%) wyższa od tej jaka była w tym czasie w sezonie 2006-2007. W marcu i kwietniu ilość lodów dryfujących w wodach Prądu Sorkapskiego wzrosła na tyle, że średnia miesięczna zawartość lodów szacowana w gridzie 76-77°N i 15-16°E, przekraczała 40% (ryc. 6). W świetle danych NOAA/OAR/ESRL PSD (zbiór: OI SST_v2 – ice field), w maju koncentracja lodów niesionych w wodach Prądu Sorkapskiego zmalała do 20%, w czerwcu do 2%, a od sierpnia do października 2008 r. wody na przedpolu Hornsundu wolne były od lodu morskiego. Według przytaczanych danych, na wodach rozciągających się wzdłuż SW wybrzeża Spitsbergenu, od Sorkappu po Hornsund, sezon lodowy 2007-2008 trwał o 2 miesiące dłużej niż sezon 2006-2007. Większa była też koncentracja lodów dryfujących na północ wzdłuż wybrzeża (ryc. 6). W świetle informacji podawanych na norweskich, codziennych mapach lodowych, w rejonie Palffyodden, czyli na wysokości południowego wejścia do fiordu Hornsund, w sezonie 2007-2008, lód o zawartości od 2 do 4/10 pierwszy raz pojawił się w okresie od 12 do 20 grudnia 2007 r.

⁵ Źródło danych: NOAA_OI_SST_V2 – ice field, NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA.



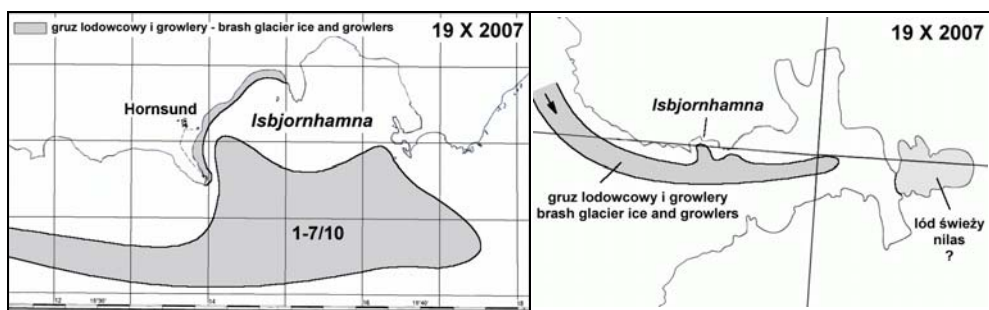
Ryc. 6. Średnia miesięczna koncentracja lodów morskich na podejściu do fiordu Hornsund (w gridzie 76-77°N, 15-16°E) w czterech ostatnich sezonach lodowych (dane: NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL)

Fig. 6. Mean monthly sea ice concentration at the approach to Hornsund Fjord (in 76-77°N, 15-16°E grid) in the four latest ice seasons (data: NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL)

3. Złodzenie Hornsundu i jego przedpola w sezonie 2007/2008

Latem i jesienią 2007 r. dochodziło do intensywnego obłamywania się lodu lodowcowego, który wypełniał poboczne zatoki fiordu, te do których uchodziły spływające lodowce. Mniejsze kawałki lodu tworzyły gruz lodowcowy (druzgot lodowy), większe – growlery i odłamy gór lodowych, które wraz z prądami pływowymi przemieszczane były po wodach fiordu i wynoszone na jego przedpole. W tym czasie gruz lodowcowy i growlery odłamujące się od Lodowca Hansa tworzyły okresowo bardzo zwarte skupienia rozciągające się wzdłuż brzegu Isbjornhamny. Przy zachodnim brzegu tej zatoki taki zwarty pas growlerów (7-8/10) o szerokości od 10 do 50 m, obserwowano od 29 lipca do 8 sierpnia, oraz 28-29 sierpnia. Podobne sytuacje miały miejsce 8-9 i 15-19 września kiedy to pasma zwarte go druzgotu nagromadzonego wzdłuż brzegu miały zmienną szerokość od 10 do 100 m, a od 30 września do 2 października od 10 do 200 m. W tym czasie po zatoce i fiordzie Hornsund dryfowały jedynie pojedyncze odłamy lodu i growlery.

W połowie października powierzchniowa warstwa wody pochodzenia lodowcowego pokrywająca Isbjornhamnę ochłodziła się do temperatury zamarzania wody wysłodzonej. Gdy 19 października wejściowa część zatoki pokryła się growlerami i gruzem lodowym (ryc. 7), a temperatura powietrza spadła poniżej -5°C , zaś temperatura minimalna osiągnęła -10°C , to między kawałkami lodu lodowcowego nagromadzonymi przy brzegu zaobserwowano zawieszinę kryształów lodu (ang. *frazil ice*). W tym samym dniu obserwowano z grani Arie wchodzące z północy do fiordu Hornsund pasma lodu lodowcowego (ryc. 7) o różnej zawartości, od 1 do 7/10. Większe kawałki lodu pokryte były śniegiem. Większość dryfujących kęsów lodu, które następnie obserwowano w pobliżu brzegu, miało dobrze obrobione krawędzie świadczące o zaawansowanym topieniu i dłuższym pobycie w wodzie. Zdarzenie ma dobrą dokumentację fotograficzną. Pochodzenie tego lodu napływowego nie jest jasne. Wzdłuż północnego brzegu Hornsundu funkcjonuje prąd odpływu wyprowadzający na zewnątrz fiordu lód pochodzący z osypujących się klifów lodowców zlokalizowanych w zatokach pobocznych. O tej porze roku wyprowadza on przede wszystkim lód obłamujący się na klifie Lodowca Paiarla w Burgerbukcie i w mniejszym stopniu z klifu Lodowca Hansa. 19 października 2007 roku kierunek prądu wzdłuż północnego brzegu



Ryc. 7. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie i Hornsundzie 19 października 2007 roku

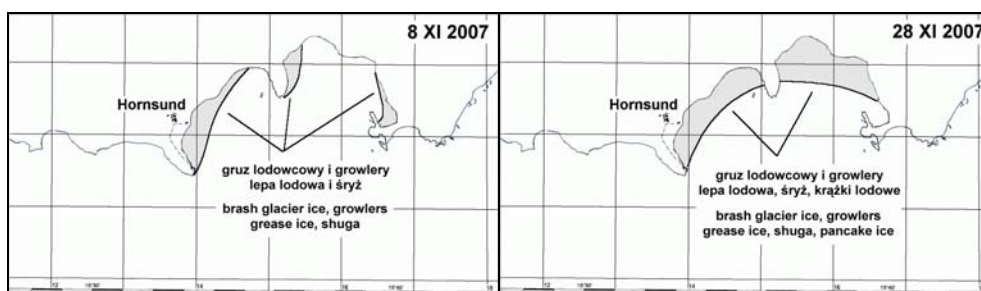
Fig. 7. Distribution of ice in Isbjornhamna and Hornsund on 19 October 2007

Hornsundu uległ odwróceniu. Analiza sytuacji synoptycznych 19 października i w kilku dniach poprzedzających nie wskazuje na wystąpienie procesów, które mogłyby tłumaczyć odwrócenie kierunku prądu i wprowadzanie dużych ilości lodu lodowcowego z północy do wnętrza Hornsundu. Jedynym źródłem lodu lodowcowego na północ od Hornsundu, skąd napływał lód, są klify Lodowca Torella. Obserwowany 19 października prąd wprowadzający lód do Hornsundu z północy, z zewnątrz fiordu, może wskazywać, że przypuszczalnie dzień – kilka (?) dni wcześniej doszło do wejścia na szelf Spitsbergenu, najprawdopodobniej między Bellsundem a Lodowcem Torella, mezoskalowego wiru Prądu Zachodniospitsbergeńskiego. Na możliwość występowania takich deformacji o małych promieniach (rzędu 11 km) prowadzących w odstępie kilkudziesięciu godzin do występowania prądów płynących w różnych kierunkach zwraca uwagę W. Walczowski (Walczowski i in. 2005, Walczowski 2009). Wejście wiru na szelf doprowadziło do podniesienia poziomu wody w strefie szelfu i powstania prądów wzdłużbrzegowych, rozpraszających wody na NW i SE. W prąd wzdłużbrzegowy skierowany na SE inkorporowane mogły zostać nie tylko te kawały lodu, które wcześniej z prądem pływowym zostały z Hornsundu wyniesione, ale również te, które po odłamaniu się z klifu Lodowca Torella dryfowały na jego przedpolu. W rezultacie, w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej, w pasmach dryfującego do wnętrza fiordu lodu lodowcowego obserwowano kęsy lodu o zarówno wygładzonych jak i ostrych krawędziach. Następnego dnia (20 X 2007) przed południem lód ten został wyniesiony z fiordu Hornsund na jego przedpole, a po południu, pod wpływem silnego wiatru z zachodu, doszło do rozproszenia zawiesiny oraz lodu lodowcowego zgromadzonego przy zachodnim brzegu Isbjornhamny i temperatura wody w zatoce wzrosła do dodatnich wartości.

19 października z grani Arie zauważono również, że Brepollen pokryte jest lodem. Ze względu na dużą odległość trudno było ocenić czy lód ten tworzy jednolitą powłokę. Biorąc pod uwagę wielkość sumy stopnio-dni mrozu w 1 i 2 dekadzie października, powstały w Brepollen lód mógł mieć 5-6 cm grubości (ryc. 7). W ostatniej dekadzie października zarówno na wodach fiordu jak i Isbjornhamny obserwowano już tylko nieliczne growlery. Zdaje się to wskazywać, że około połowy października wyhamowaniu uległy, do tej pory intensywne, procesy cielenia się lodowców spływających do osiowej części Hornsundu. Przy brzegu ich liczba zależała od kierunku wiatru. Przy występowaniu wiatrów zachodnich przy brzegu obserwowano tylko nieliczne growlery, wiatry wschodnie przyczyniały się do gromadzenia gruzu lodowcowego w strefie brzegu. Szczególnie dużo z nich zostało wyrzucone na brzeg w czasie sztormowego wiatru 31 października. Na początku listopada zaczęły one być spajane

śniegiem, lepą lodową i marznącymi bryzgami wody morskiej dając zaczątek lodu nabrzegowego (ang. *stranded ice*), który 21 listopada został zniszczony przez silny przybój.

Pierwszy okres tworzenia się lodu morskiego w Isbjornhamnie miał miejsce od 31 października do 12 grudnia 2007 r. W tym czasie między kawałami lodu lodowcowego gromadzącymi się wzdłuż zachodniego brzegu zatoki obserwowano zawieszinę kryształów lodu, lepą lodową (ang. *grease ice*) i śryż (ang. *shuga*), a od 28 listopada również krążki lodowe (ang. *pancake ice*). Szerokość tego pasa na ogół nie przekraczała 30 m. Jedynie sporadycznie (3-4, 8, 27-30 listopada, 1-11 grudnia) stopień pokrycia lodem Hansbukty i Siedleckivika był większy (ryc. 8).



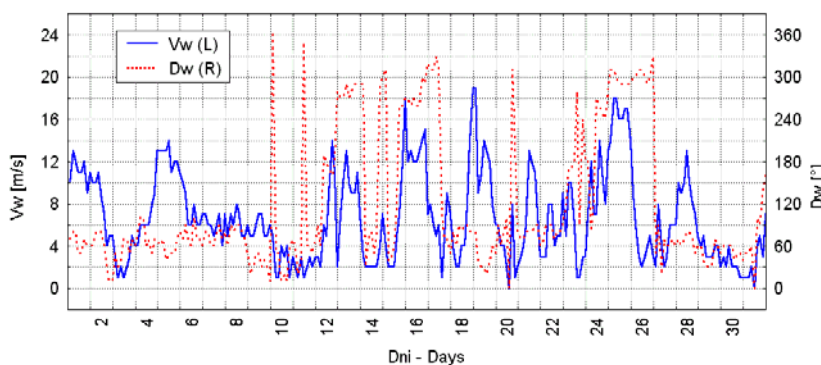
Ryc. 8. Rozmieszczenie gruzu lodowcowego i lodu morskiego w Isbjornhamnie 8 i 28 XI 2007 r.

Fig. 8. Distribution of brash glacier ice and sea ice in Isbjornhamna on 8 and 28 November 2007

Na początku grudnia, gdy minimalna temperatura powietrza zaczęła spadać poniżej -10°C , przy zachodnim brzegu Isbjornhamny zaczął tworzyć się świeży lód brzegowy (ang. *nilas, young coastal ice*). Jego zasięg nie był duży – nie przekraczał 10 m. Rozwój tego lodu został zahamowany przez występujące w 2 i 3 dekadzie grudnia silne wiatry (ryc. 9). Doprowadziły one do oczyszczenia Isbjornhamny z lodu. Dopiero w ostatnich dniach grudnia (26-31), gdy temperatura powietrza zaczęła szybko spadać (ryc. 3) zatoka bardzo szybko pokryła się śryżem i krążkami lodowymi z wmarzniętymi w nie growlerami i gruzem lodowcowym, a przy brzegu ponownie zaczął się tworzyć młody lód brzegowy (do 30 m od brzegu). Wschodni wiatr, wiejący 27 i 28 grudnia, przyczynił się do wyrzucenia na brzeg w strefie pływów znacznych ilości gruzu lodowego i growlerów, które spajane zamarzającymi bryzgami fal szybko utworzyły wał lodu nabrzegowego o wysokości około 50 cm.

Na przedpolu Hornsundu (rejon Palffyodden), dryfujący lód allochtoniczny pojawił się wcześniej niż w poprzednim sezonie, bo już w pierwszych dniach grudnia 2007 r. W świetle informacji podawanych na norweskich i amerykańskich mapach lodowych był to lód młody i początkowe postaci lodu o zwartości od 3-5/10 (1-3 grudnia) do 6-8/10 (10-11 grudnia). Pod koniec pierwszej dekady grudnia zaczął on wraz z prądami pływowymi wchodzić wzdłuż południowych wybrzeży do Hornsundu. Były to pasma bardzo drobnej kry lodu szarego (ang. *grey ice*, 10–15 cm) i szaro-białego (ang. *grey-white ice*, 15–30 cm), które z racji swojej niewielkiej grubości i ciemnej barwy mogły, w warunkach nocy polarniej, zostać niezauważone przez obserwatora. Zachodnie wiatry występujące w połowie miesiąca oraz od 24 do 28 grudnia (ryc. 9) doprowadziły do pokrycia tym lodem całej zewnętrznej i środkowej części fiordu. Pod wpływem silnych wiatrów (10-13 m/s) ze wschodu, wiejących 28 grudnia, lód ten został wypchnięty z fiordu, tak, że zarówno wody osiowej partii Hornsundu jak i jego przedpola były

na kilka dni uwolnione od lodu. Jednakże już na początku stycznia silne wiatry (10-14 m/s) z zachodu doprowadziły do ponownego wypełnienia na kilka dni osiowej partii fiordu lodem o zwartości 3-5/10, po czym (14-16 stycznia) silne wiatry wschodnie ponownie wypchnęły ten lód z fiordu. W tym samym czasie na wewnętrznych akwenach fiordu, które nie są eksponowane na działanie fal oceanicznych i falowania lokalnego oraz silnych prądów pływowych, lód stały mógł się tworzyć w jednym cyklu. Biorąc pod uwagę wielkość sumy stopnio-dni mrozu (tab. 1), już na końcu listopada powstały tam lód mógł mieć do 17 cm grubości, na końcu grudnia – 31 cm, a na końcu stycznia – 41 cm.



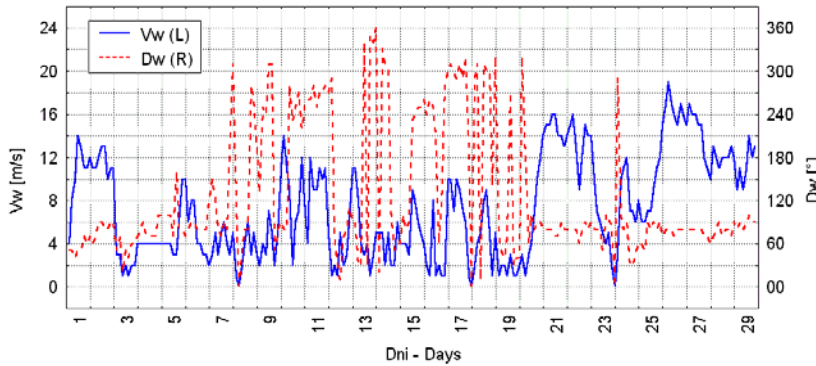
Ryc. 9. Zmiany prędkości (Vw) i kierunku (Dw) wiatru na stacji w Hornsundzie w grudniu 2007 r.

Fig. 9. Plot of wind velocity (Vw) and direction (Dw) at Hornsund station in December 2007

Również na Isbjornhamnie sytuacja lodowa była w styczniu bardzo zmienna. Od 2 do 7 oraz od 18 do 26 stycznia poza lodem brzegowym zatoka praktycznie wolna była od lodu. W pozostałych dniach od 40 do 90% powierzchni zatoki pokrywał gęsty śryż, krążki lodowe i gruz lodowcowy. W ostatnich dniach stycznia i pierwszych (1-5) dniach lutego, wraz z nadejściem fali silnego mrozu (do -15°C), lód wypełniający zatokę zaczął bardzo szybko zmarzać (ryc. 10), nastąpił też szybki rozrost lodu nabrzeżowego, którego grubość na czole osiągnęła 2 m.

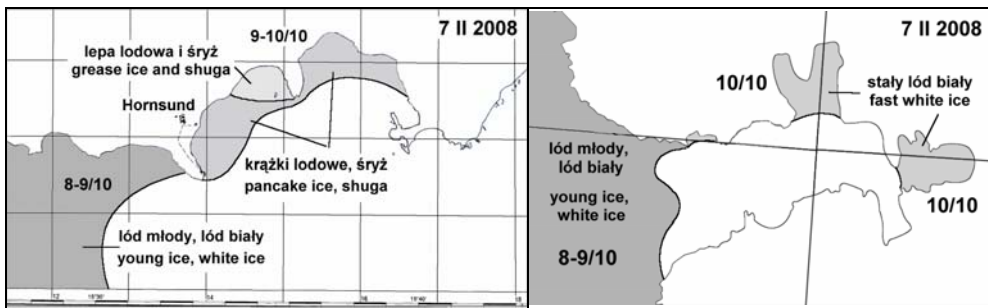
W lutym, podobnie jak w styczniu, w rejonie Spitsbergenu dominowały układy niskiego ciśnienia, z którymi związane były występujące na przemian adwekcje zimnego i ciepłego powietrza. Taka cyrkulacja atmosfery na stacji w Hornsundzie przejawiała się dużymi wahaniami temperatury (ryc. 3), z trzema falami znacznych ochłodzeń ($T_p < -10^{\circ}\text{C}$) i trzema okresami dużych ociepleń, kiedy to średnie dobowe T_p były bliskie 0°C . Luty cechował się również znacznymi zmianami kierunku i prędkości wiatru (ryc. 10). W rezultacie stan zlodzenia wód Hornsundu podlegał dużym wahanom (ryc. 11 i 12).

Na przełomie stycznia i lutego na przedpolu Hornsundu zaczęły docierać dryfujące w Prądzie Sorkapskim ławice zwartego i bardzo zwartego (8-9/10) lodu białego i młodego i powoli z prądami pływowymi wpływać do fiordu. Początkowo ich ruch w głąb fiordu blokowały silne wiatry wschodnie (ryc. 10). Gdy 7 lutego wiatr zmienił kierunek na zachodni, lód ten zaczął wkraczać w głąb fiordu (ryc. 11). Obserwacja wykonana 14 lutego z grzbietu Arie wskazuje, że całą osiową partię fiordu Hornsund i jego przedpole aż po horyzont pokrywały zwarte (8-9/10) i częściowo pozmarzane drobne i małe kry lodu młodego o zwartości 4/10, wśród którego dryfowały również kry lodu pierwszorocznego cienkiego (30-70 cm grubości) o zwartości 3/10.



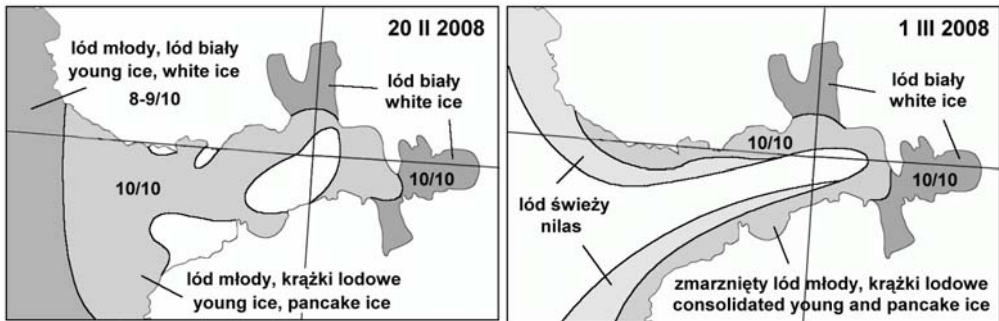
Ryc. 10. Zmiany prędkości (Vw) i kierunku (Dw) wiatru na stacji w Hornsundzie w lutym 2008 r.

Fig. 10. Plot of wind velocity (Vw) and direction (Dw) at Hornsund station in February 2008



Ryc. 11. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie i Hornsundzie 7 lutego 2008 roku

Fig. 11. Distribution of ice in Isbjornhamna and Hornsund on 7 February 2008



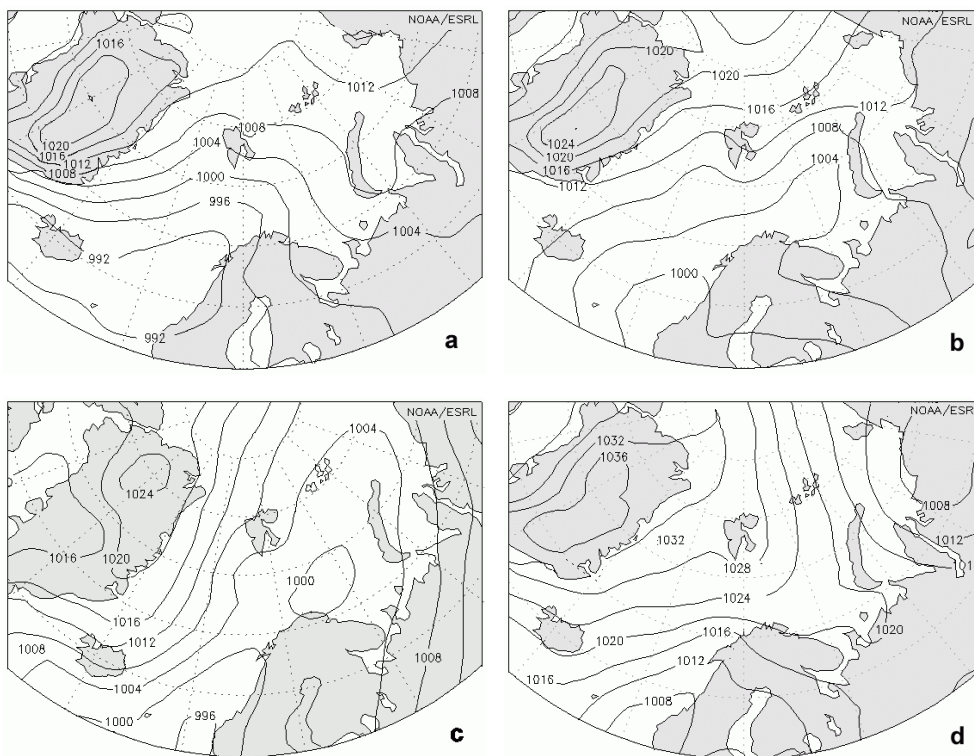
Ryc. 12. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 20 lutego i 1 marca 2008 roku

Fig. 12. Distribution of ice in Hornsund on 20 February and 1 March 2008

Długotrwałe, silne wiatry wschodnie występujące na początku trzeciej dekadzie lutego (ryc. 10) doprowadziły do połamania i rozproszenia lodu, tak, że osiowa partia fiordu wolna była od lodu allochtonicznego (ryc. 12). Gdy w połowie trzeciej dekady wiatr osłabł i nastąpiły silne mrozy (ryc. 3)

powierzchnia Hornsundu szybko pokryła się lodem świeżym (do 10 cm grubości), który w ostatnich dniach lutego został silnymi wiatrami wschodnimi połamany i z osiowej partii fiordu wyniesiony na zewnątrz (ryc. 12). Na powierzchni wód uwolnionych od lodu natychmiast rozpoczął się proces zamarzania i tworzenia lepy lodowej i następnych postaci lodu (śryż, lód świeży).

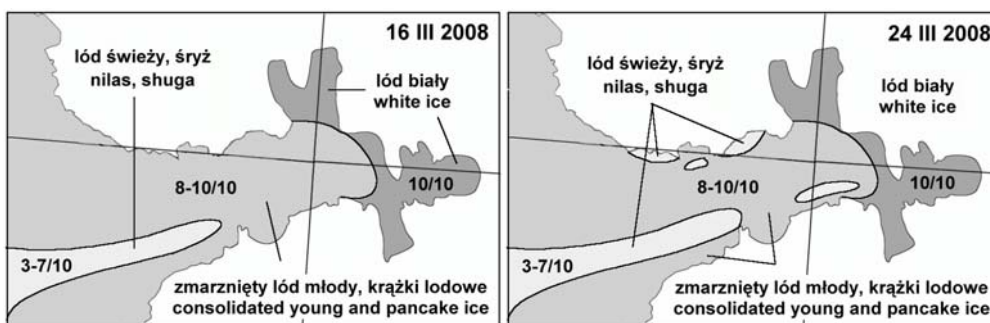
Od początku sezonu zimowego 2007-2008 do 2 dekady marca 2008 roku włącznie Spitsbergen znajdował się pod wpływem układów niskiego ciśnienia związanych z bruzdą islandzko-karską. Sprzyjało to napływowi nad południowy Spitsbergen niezbyt mroźnych mas powietrza ze wschodu. W marcu doszło do przestrojenia makrosynoptycznej cyrkulacji atmosfery. W 3 dekadzie marca i 1dekadzie kwietnia Spitsbergen znajdował się pod wpływem Wyżu Grenlandzkiego (ryc. 13), co powodowało napływ w rejon południowego Spitsbergenu bardzo mroźnych (ryc. 3) mas powietrza z NE i N, z okolic okołobiegunowych. W marcu 2008 r. liczba stopnio-dni mrozu była o 77 deg większa od średniej wieloletniej (tab. 1). W takich warunkach tempo tworzenia i rozwoju lodu uległo intensyfikacji, tak, że na koniec marca lód tworzący się w jednym cyklu (w zatokach osłoniętych od wiatru i falowania) mógł osiągnąć grubość 52 cm (tab. 1). W Isbjornhamnie 25 marca grubość lodu oszacowano na 40 cm.



Ryc. 13. Średnie pole ciśnienia na poziomie morza w 1 (a), 2 (b) i 3 (c) dekadzie marca oraz 1 (d) dekadzie kwietnia 2008 r. według NOAA/ESRL (Earth System Research Laboratory; <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>)

Fig. 13. The mean pressure field at the sea level from 1th (a), 2th (b) and 3th (c) decades in March and 1th (d) decade in April 2008. The map based on NOAA/ESRL (Earth System Research Laboratory; <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>)

Przez cały marzec i pierwszą połowę kwietnia wody zewnętrznej i środkowej części Hornsundu pokryte były lodem młodym (ryc. 14-15). Przeważały zwarte i bardzo zwarte, częściowo pozmarzane kry lodu szarego (ang. *grey ice*; 10-15 cm) i szarobiałego (ang. *grey-white ice*; 15-30 cm grubości), pomiędzy którymi występowały krążki lodu świeżego. W strefie przybrzeżnej, w pierwszej połowie kwietnia, grubość lodów wzrosła do 30-70 cm (lód biały, ang. *white ice*). W osiowej partii fiordu grubszy lód był zaśnieżony, cieńszy – bez śniegu. Lód ten nie mógł opuścić Hornsundu nawet w czasie występowania bardzo silnych wiatrów (12-18 m/s) ze wschodu (3-4, 9-14, 22 marca, 8 kwietnia) gdyż na przedpolu fiordu rozciągała się przez cały marzec i pierwszą połowę kwietnia szeroka na 30-70 km strefa, dryfującego w wodach Prądu Sorkapskiego, zwanego i bardzo zwanego, od 4-6 do 8-10/10, lodu allochtonicznego. W większości były to ławice i pasma drobnej kry (średnica poniżej 20 m) lodu młodego z niewielką domieszką lodu białego.



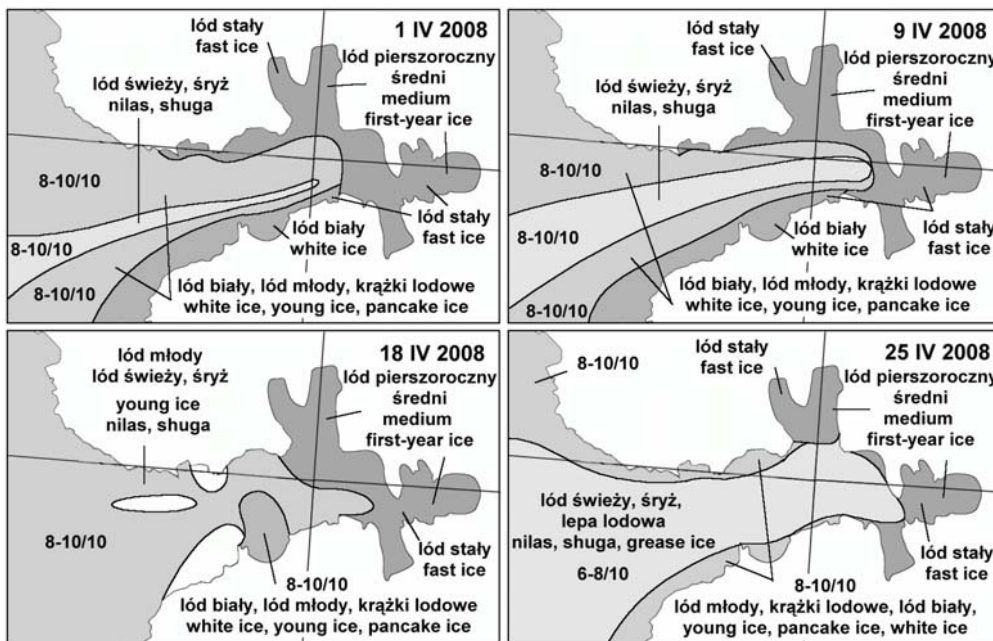
Ryc. 14. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 16 i 24 marca 2008 roku

Fig. 14. Distribution of ice in Hornsund on 16 and 24 March 2008

Po zaktywizowaniu się w drugiej połowie kwietnia Prądu Bjornoi zelżał widoczny wcześniej napór lodów allochtonicznych dryfujących w Prądzie Sorkapskim. W takiej sytuacji możliwe stało się rozluźnienie lodów w zewnętrznej i centralnej partii fiordu. Przyczyniały się do tego dominujące w tym czasie wiatry wschodnie. Jednakże utrzymująca się do 26 kwietnia niska temperatura powietrza (poniżej -7°C) i stosunkowo słabe wiatry (<10 m/s) sprzyjały ponownemu szybkiemu marznięciu wychłodzonej już w okresie zimowym wody i pokryciu dopiero co uwolnionych od lodu partii Hornsundu początkowymi postaciami lodu (lepa lodowa, śryż, lód świeży), a w następnych dniach również lodem młodym (lód szary, ang. *grey ice*). Występujący 27 i 28 kwietnia dość silny (10-12 m/s) wiatr ze wschodu przyczynił się do oczyszczenia z lodu dryfującego zewnętrznej i centralnej partii fiordu. Zamarznięta pozostała jedynie strefa przybrzeżna (np. między Wilczekodden a Worcesterpynten) i takie zatoki jak Isbjornhamna czy Gashamna, gdzie obserwowano pozmarzane krążki lodowe, bardzo drobne kry lodu młodego i osiadłe na szkieletach kry lodu białego. Gruby lód (70-80 cm) utrzymał się tylko w zatokach pobocznych Hornsundu (Brepollen, Burgerbukta, Samarinvagen). Był to przysypany śniegiem lód stały powstały w jednym cyklu (lód pierwszoroczny średni, ang. *medium first-year ice*; ryc. 15 - szkic z 25 kwietnia).

Na początku trzeciej dekady kwietnia 2008 r. Svalbard znajdował się na NW peryferiach niżu znad Morza Barentsa, a pod koniec 3 dekady kwietnia i na początku maja pod wpływem klina Wyżu

Arktycznego. Taka sytuacja synoptyczna doprowadziła do przyspieszenia wynosu lodów ze Storfjordu i dalszego ich ruchu na północ w wodach Prądu Sorkapskiego. Dryfujące w zwartych (5-7/10) ławicach drobne kry lodu młodego (10-30 cm) i białego (30-50 cm grubości) 5 maja dotarły na przedpole Hornsundu i w luźnych pasmach zaczęły wnikać do jego wnętrza. Wypełnianie fiordu lodem allochtonicznym przyspieszał występujący 6 i 7 maja wiatr z SW o umiarkowanej prędkości, tak, że 8 maja cała Isbjornhamna i widoczna z Ariekammen część fiordu pokryte były luźną krą (4-6/10). Już następnego dnia, przy silnym (11-14 m/s) wietrze ze wschodu, lód ten opuścił osiową partię fiordu i gromadził się przy zachodnim brzegu Isbjornhamny, gdzie od 11 do 13 maja występował pas drobnej kry o szerokości 30-50 m.

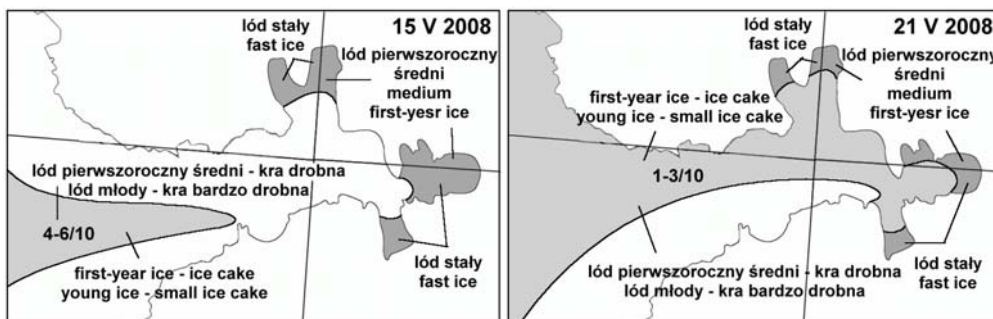


Ryc. 15. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 1, 9, 18 i 25 kwietnia 2008 roku

Fig. 15. Distribution of ice in Hornsund on 1, 9, 18 and 25 April 2008

Ponowne wejście lodu allochtonicznego do Hornsundu miało miejsce od 15 do 22 maja (ryc. 16). Po wodach fiordu i zatoki dryfowała pokryta śniegiem drobna kra pierwszorzocznego lodu cienkiego (30-70 cm grubości, ang. *thin first-year ice*) przemieszana z bardzo drobną krą lodu młodego. Tworzyła ona luźne i bardzo luźne pasma o zmiennej konfiguracji. Od 23 maja 2008 r. po wodach fiordu dryfowały z prądami pływowymi jedynie nieliczne kry pochodzące z łamania stałego lodu wypełniającego zatoki wewnętrzne: Brepollen, Burgerbukte i Samarinvagen. Były to coraz bardziej zmurszałe drobne i bardzo drobne kry lodu pierwszorzocznego średniego, w które wmarznięte były odłamy lodu lodowcowego. Po usunięciu ostatnich fragmentów lodu stałego w zatokach pobocznych, fiord do ostatnich dni czerwca wolny był od dryfującego lodu morskiego. Choć trzecia dekada maja charakteryzowała się bardzo dużym zachmurzeniem to praktycznie nie notowano opadów. Jednocześnie temperatura powietrza

tylko nieco przekraczała 0°C. W takich warunkach, mimo dnia polarnego, insolacja była mała. Ograniczało to procesy eksfoliacji lodu i dezintegracji blokowej na klifie Lodowca Hansa. W rezultacie na wodach Isbjornhamny obserwowano bardzo mało gruzu lodowcowego i tylko sporadycznie growlery.

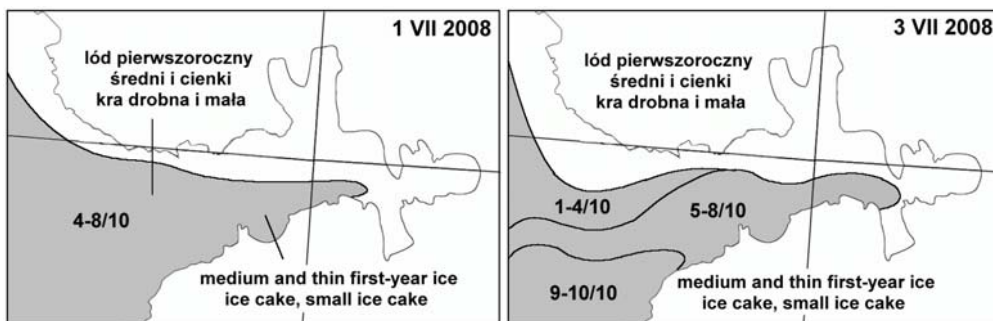


Ryc. 16. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 15 i 21 maja 2008 roku

Fig. 16. Distribution of ice in Hornsund on 15 and 21 April 2008

Na śledzonym fragmencie północnego brzegu Hornsundu, głównie na zachód od Wilczekodden, w ostatniej dekadzie maja i w czerwcu, zalegały wzdłuż brzegów resztki rozbitego lodu (ang. *rubble ice*), zwłaszcza w miejscach, gdzie wcześniej na mieliznach i przybrzeżnych skałach były zwaly lodowe. Choć w trzeciej dekadzie maja na stacji w Hornsundzie zaznaczył się wyraźny wzrost temperatury powietrza i osiągnęła ona wartości dodatnie (średnia dekadowa 0,4°C) to wobec jedynie śladowych opadów, wał zespolonego lodu osadzonego na zachodnim brzegu Isbjornhamny wykazywał słabe oznaki topnienia. Konserwacji lodu sprzyjać mogło utrzymujące się w tym czasie duże zachmurzenie w piętrze niskim. Wysokość wału wynosząca na początku drugiej dekady lutego 3 m, od 17 lutego do 24 maja szacowana była na 2 m, a w ostatnim dniu maja na 1,7 m. Dopiero w pierwszej połowie czerwca zanik tego wału stał się zauważalny. Wtedy to jego wysokość zmalała z 1,5 m do 0,5 m. W trzeciej dekadzie czerwca, kiedy temperatura powietrza przekroczyła 3°C, doszło do stopnienia większości lodu. W tym czasie utrzymywał się już tylko szczątkowy lód nabrzeżowy częściowo pogrzebany pod osadami plażowymi. Ostatecznie zanikł on w pierwszej dekadzie lipca. Od połowy czerwca wzdłuż zachodniego brzegu Isbjornhamny zaczął pojawiać się w większych ilościach gruz lodowcowy i nieliczne growlery osypujące się z pobliskiego Lodowca Hansa.

W świetle analizy map lodowych wydawanych przez Norweski Instytut Meteorologiczny i Narodowe Centrum Lodowe USA (National Ice Center) od 27 maja do 4 czerwca SW wybrzeże Spitsbergenu i rejon Sorkappu wolne były od lodu napływowego. Potem wzdłuż brzegu dryfowały niewielkie ilości (1-3/10) kier pochodzących ze środkowej części Storfjordu. Pod koniec pierwszej dekady czerwca do rejonu Sorkappu dotarł lód pochodzący z północnych partii Storfjordu. Był to pierwszoroczny lód cienki (30-70 cm) i średni (70-120 cm grubości), który dryfował w luźnych ławicach w wodach Prądu Wschodniospitsbergeńskiego. W ostatnich dniach czerwca lód ten zaczął w zwartych i bardzo zwartych (7-9/10) ławicach dryfować na zachód od Sorkappu i szybko przemieszczać się na północ wzdłuż SW wybrzeża Spitsbergenu, tak, że 30 czerwca pojawił się w rejonie Palffyodden, a 1 lipca – wraz z prądem przyływu – zaczął wkraczać do Hornsundu (ryc. 17 – szkic z 1 lipca).



Ryc. 17. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 1 i 3 lipca 2008 roku

Fig. 17. Distribution of ice in Hornsund on 1 and 3 July 2008

Występowanie tego lodu przyczyniło się do dużych trudności w dotarciu do Polskiej Stacji Polarnej statku *r/v "Horyzont II"* 3 lipca 2008 r. W czasie podejścia do fiordu, na statku obserwowano ciągnącą się wzdłuż SW wybrzeża Spitsbergenu szeroką na 28 Mm (52 km) strefę lodów o zmiennej zwartości (ryc. 17 – szkic z 3 lipca). Na skraju dryfującej ławicy lód miał zwartość od 1 do 4/10 i układał się w pasma. Jednakże w niewielkiej odległości od skraju koncentracja lodu szybko wzrosła do 5-8/10. Lód był tam mocno zmurszały (ang. *rotten ice*), na wielu krach znajdowały się kałuże (ang. *puddle*), w szereg z nich widać było przetliny (ang. *thaw holes*), a niektóre kry stanowił lód obeschły (ang. *dried ice*). W miarę zbliżania się do osiowej partii Prądu Sorkapskiego i środka ławicy zwartość lodu wzrosła do 8-10/10, zwiększyły się również rozmiary kier. Na wielu z nich obserwowano resztki wałów i zwalów (ang. *ridged ice*). Większość kier pokryta była grubą (15-20 cm) warstwą śniegu. W miarę wchodzenia w osiową partię fiordu Hornsund zwartość lodów szybko malała, tak, że na powierzchni lsbjornhamny dryfowały już tylko nieliczne kawały lodu.

Na szerokości geograficznej północnej granicy Hornsundu strefa lodów była odsunięta od brzegu, a szerokość ławicy lodów gwałtownie zmalała. Do 9 lipca lody te zdryfowały dalej na północ do 77,3°N. W tym czasie bardzo szybko postępował proces ich murszenia i topnienia co doprowadziło do gwałtownego zmniejszania ich koncentracji. Resztki tego lodu obserwowane były na pływaczach przed Lodowcem Torella 11 lipca.

4. Podsumowanie

Ze względu na długo utrzymującą się w okresie listopad 2007 – luty 2008 r. wysoką temperaturę powietrza, znacznie wyższą od średniej wieloletniej (od 2,6 do 6,1 deg w ujęciu średniej miesięcznej) oraz większy niż przeciętnie zasób ciepła w wodach Prądu Zachodniospitsbergeńskiego, sezon lodowy 2007-2008 na wodach fiordu Hornsund i na jego przedpolu miał, podobnie jak poprzedni, lekki przebieg. Na wybrzeżu SW Spitsbergenu nie doszło w czasie omawianej zimy do powstania lodu *in situ*. Na przedpolu Hornsundu występował jedynie lód allochtoniczny, dryfujący w wodach Prądu Sorkapskiego. Obszarem źródłowym tego lodu były wody Storfjordu. Od momentu powstania lodu na tym akwenie zależy czas jego pojawienia się na przedpolu Hornsundu. W omawianym sezonie lód morski na wodach Storfjordu zaczął tworzyć się w drugiej dekadzie listopada 2007 r., a więc o miesiąc wcześniej niż w sezonie poprzednim (2006-2007). W takiej sytuacji również w rejonie Palffyodden i wejściu do

Hornsundu lód pojawił się wcześniej, bo już w pierwszych dniach grudnia 2007 roku (w poprzednim sezonie na początku stycznia, a w sezonie 2005-2006 już w pierwszej dekadzie listopada).

W sezonie zimowym 2007-2008 pierwsze postaci lodu morskiego (lepę lodową, śryż i krążki lodowe) w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej, przy zachodnim brzegu Isbjornhamny, obserwowano trzy tygodnie później niż w sezonie poprzednim, bo dopiero między 31 października a 12 grudnia 2007 r. Drugi okres tworzenia się lodu morskiego również rozpoczął się o 2,5 tygodnia później niż w sezonie 2006-2007. Jednakże i ten okres, ze względu na występujące silne wiatry, był krótkotrwały. Dopiero w połowie stycznia, po nadejściu dużych mrozów, doszło do powstania bardziej trwałej pokrywy lodu młodego. W omawianym sezonie powłoka lodu stałego była większa niż w zimie 2006-2007, obejmowała nie tylko wody wewnętrzne Hornsundu (Brepollen, Burgerbukę i Samarinvagen), ale również leżącą na zachód od Treskelenu zatokę Arie.

W odróżnieniu od poprzedniego, w sezonie 2007-2008 doszło do powstania na wodach osiowej i zewnętrznej partii Hornsundu lodu autochtonicznego. Miało to miejsce w trzeciej dekadzie marca oraz w kwietniu. Był to lód młody i początkowe postaci lodu. W omawianym sezonie aż przez 9 tygodni prawie cała powierzchnia Hornsundu pokryta była lodem dryfującym o zmiennej zwartości (od połowy lutego do trzeciej dekady kwietnia). W pierwszej połowie kwietnia na znacznej powierzchni akwenu był to lód zespojony i przykryty śniegiem z dobrze wykształconymi smugami śnieżnymi. W poprzednich sezonach okres prawie całkowitego pokrycia wód Hornsundu lodem był znacznie krótszy. W sezonie 2006-2007 było to tylko kilka epizodów występujących od trzeciej dekady lutego do końca kwietnia (22 II – 5 III, 20-22 III, 24-28 III, 4-30 IV), a w sezonie 2005/2006 miało to miejsce jedynie w drugiej połowie marca.

Jedynie koniec okresu występowania lodu morskiego w Hornsundzie w sezonie 2007-2008 przypadał na podobny termin jak w poprzednich latach, czyli na koniec pierwszej dekady lipca. Wtedy to obserwowano ostatnie kawały mocno zmurszałego lodu morskiego z wmarzniętymi w nie bryłami lodu lodowcowego, które dryfowały z prądem odpływu z głębi fiordu (Brepollen) na jego przedpole.

Podziękowania

Autorka składa serdeczne podziękowania wszystkim członkom XXX Wyprawy Polarnej PAN prowadzącym pomiary temperatury wody morskiej, obserwacje lodowe i wykonującym szkice sytuacyjne oraz zdjęcia lodów.

Literatura

Görlich K., Stepko W., 1992. Hydrological phenomena related to sea-ice cover formation and presence in Hornsund, Spitsbergen. [w:] Landscape, Life world and Man in High Arctic. Institute of Ecology PAS Publishing Office: 83-92.

Marsz A., 2007. Temperatura powietrza. [w:] A. Marsz, A. Styszyńska (red.), Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie - stan, zmiany i ich przyczyny. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 115-174.

Reynolds R.W., Rayner N.A., Smith T.M., Stokes D.C., Wang W., 2002. An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate. *Journal of Climate*, 15: 1609-1625.

Rodzic J., Wiktorowicz S., 1995. Shore ice of Hornsund fiord in the areas of the Polish Polar Station in Spitsbergen during the 1992/1993 winter. *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen, UMCS Lublin*: 191-195.

Rodzic J., Zagórski P., 2009. Shore ice and its influence on development of the shores of south-western Spitsbergen. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, vol. XXXVIII, supplement 1: 163-180.

- Styszyńska A., Buchert L., 2004. Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola (SW Spitsbergen) w sezonie zimowym 2003/2004. Polish Polar Studies, XXX Międzynarodowe Sympozjum Polarne, Gdynia: 369-376.
- Styszyńska A., Buchert L., 2005. Warunki lodowe w Hornsundzie i na jego przedpolu w sezonie zimowym 2003/2004. Publications of the Institute of Geophysics Academy of Sciences D-66 (373): 93-105.
- Styszyńska A., Kowalczyk M., 2007. Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola (SW Spitsbergen) w sezonie zimowym 2005-2006. Problemy Klimatologii Polarnej, 17: 147-158.
- Styszyńska A., Rozwadowska A., 2008. Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola (SW Spitsbergen) w sezonie zimowym 2006/2007. Problemy Klimatologii Polarnej, 18: 141-160.
- Styszyńska A., Wiśniewska B., 2002. Zlodzenie Zatoki Nottingham (SW Spitsbergen) w latach 1993–2001 – przebieg i uwarunkowania. Polish Polar Studies, Funkcjonowanie i monitoring geosystemów obszarów polarnych. Poznań: 279-303.
- Walczowski W., Piechura J., Osiński R., Wieczorek P., 2005. The West Spitsbergen Current volume and heat transport from synoptic observations in summer (2005). Deep-Sea Research, Part I, 52: 1374-1391.
- Walczowski W., 2009. Woda Atlantycka w morzach nordyckich – właściwości, zmienność, znaczenie klimatyczne. Rozprawy i monografie, 22, Instytut Oceanologii PAN w Sopocie: 241 s
- Walczowski W., Piechura J., 2007. Pathways of the Greenland Sea warming. Geophysical Research Letters, 34, L10608, doi:10.1029/2007GL029974.
- WMO Sea-ice Nomenclature - WMO/OMM/BMO - No. 259, 1970; Suppl No. 5, 1989.
- Zakrzewski W., 1982. Lody na morzach. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk: 313 s.

Wpłynęło: 22 sierpnia 2009; poprawiono: 20 października 2009

Summary

This article presents the development of sea ice cover in the waters of central and western part of the Hornsund Fjord, as well as in its foreshore during winter season 2007-2008. Due to long lasting (November-February) high air temperatures (Fig. 2-3) the sea ice cover development of Hornsund was different from the average one. Significant decrease in air temperature was observed in March (mean monthly -13.4°C) and April (mean monthly -9.3°C). In such thermal conditions the maximum thickness of sea ice which might have been formed in the outer, sheltered from high seas areas of the fjord, estimated with the help of Zubov formula, could reach 41cm in January, 52cm in February, 71cm in March, up to 82–84cm in the period from April to May 2008 (Tab. 1).

In summer and autumn (August-October) 2007 only brash glacier ice and small icebergs broken off the glaciers endings on the sea in Hornsund drifted in the waters of the fjord. At this time brash glacier ice and growlers broken off the Hans Glacier periodically concentrated densely along the coast of Isbjornhamna.

The first forms of new ice (slush and grease ice as well as shuga) were observed close to the west coast of Isbjornhamna from 31st October till 12th December (Fig. 8). The second period of sea ice formation started on 26th December. Not sooner than in the middle of March when severe frost was noted, a permanent ice cover was formed (young ice). Fast ice was only observed in the internal waters of Hornsund, in the Brepollen, Burgerbukta, Samarinvagen, Adria and Isbjornhamna bays.

From the first decade of February till the 3th July the ice cover of Hornsund experienced large fluctuations (Fig. 11-12, 14-17). During that period the entire area of Hornsund was covered with sea

ice a few times. The first this phenomenon was noted from 7th till 20th February 2008 when the allochthonic ice drifting in the waters of the Sorkapp Current entered western and central part of the fjord and when the central and inner parts were covered with ice formed in situ (Fig. 11-12). The second this phenomenon was noted from the third decade of March till the end of April when the all surface of Hornsund were covered autochthonous ice. On the western and central part of the fjord this was young ice and nilas. In the internal waters of Hornsund was observed first-year ice (Fig. 14-15).

This sea ice cover was several times destroyed by very strong east winds causing that most of ice was moved outside the fjord. At the end of April strong E and SE winds caused ice removal from the axial part of Hornsund. Later, apart from three short episodes (5-8 May, 15-22 May and 1-9 July) when strips of allochthonic ice entered west and central part of the fjord (Fig. 16-17), only single floes of broken-off the fast ice from Brepollen, Burgerbukta and Samarinvagen drifted in the waters of Hornsund. The ice season 2007-2008 ended on 9th July when the last floes of very rotten ice were observed drifting from the inside of the fjord with the tidal stream to its foreshore.

Key words: sea ice, ice season, sea surface temperature, Hornsund, Spitsbergen.