

ZŁODZENIE HORNSUNDU W SEZONIE ZIMOWYM 2009-2010 (SW SPITSBERGEN)

ICE CONDITIONS IN HORNSUND DURING WINTER SEASON 2009-2010 (SW SPITSBERGEN)

Grzegorz Kruszewski

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

Zarys treści. Sezon lodowy 2009/2010 zaczął się pod koniec października. Pierwsze postacie autochtonicznego lodu morskiego zaobserwowano w strefie brzegowej Isbjornhamny dopiero 26 października. Spadki dobowej temperatury powietrza poniżej zera sporadycznie notowano od połowy września, jednak dopiero w końcu października obniżyła się ona do poziomu temperatury zamarzania wody morskiej. Wyraźnie wyższe od średnich wieloletnich wartości temperatury powietrza okresu październik – luty nie sprzyjały tworzeniu się lodu. Wyjątkowo łagodne warunki lodowe w rejonie południowego Spitsbergenu uniemożliwiały napływ lodu z zewnątrz aż do początków stycznia 2010. Lód morski o większej zwartości pojawił się w Hornsundzie w zasadzie dopiero po wyraźnym spadku temperatury w marcu. Dochodziło wtedy do całkowitego pokrycia fiordu lodem, włącznie z tworzeniem się w zatokach wewnętrznych lodu stałego. Pokrywa lodu stałego utrzymywała się we wschodniej części fiordu, w fazie maksymalnego rozwoju (od połowy marca do połowy kwietnia) pokrywając od połowy do blisko całej jego powierzchni. W skrajnie wschodniej partii fiordu pod Brepollen przetrwała do końca czerwca.

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

1. Wprowadzenie

Warunki lodowe w rejonie Hornsundu opisane zostały w szeregu prac: Görlich i Stepko (1992), Styszyńska i Buchert (2004, 2005), Styszyńska i Kowalczyk (2007), Styszyńska i Rozwadowska (2008), Styszyńska (2009), Kruszewski (2010), w których można się zapoznać szczegółowo z prawidłowościami rozwoju i zaniku pokrywy lodowej w poszczególnych latach. Najważniejsze wnioski płynące z dotychczasowych opracowań to charakterystyczna dwoistość pokrywy lodowej, będąca efektem tworzenia się lodu autochtonicznego w głębi fiordu oraz dryfu lodu z akwenów przyległych do osiowych partii Hornsundu. W pierwszym przypadku podstawową rolę odgrywają warunki termiczne, w drugim – sytuacja lodowa na przedpolu fiordu i warunki dynamiczne (wiatr i prądy). Poza lodem morskim w Hornsundzie w sposób ciągły mamy do czynienia z lodem pochodzenia lodowcowego – pochodzącym głównie z lokalnych klifów lodowych. W okresie lipiec – październik jest to zazwyczaj jedyny rodzaj lodu spotykany w fiordzie.

W sezonie wyprawowym 2009/2010 kontynuowano obserwacje zjawisk lodowych występujących na wodach Hornsundu oraz pomiary temperatury wody morskiej. Podczas XXXII Wyprawy Polarnej PAN obserwacje lodowe w Hornsundzie były prowadzone przez Jakuba Sorokę. W strefie brzegowej Isbjornhamny dokonywano także codziennych pomiarów temperatury wody morskiej. Pomiary prowadzono termometrem wodoszczelnym PT-401 na głębokości nie więcej niż 0.5 metra w rejonie Banachówki, w terminie zbliżonym do 12 UTC. W przypadku występowania przybrzeżnych zjawisk lodowych, pomiary starano się wykonywać na wodzie stosunkowo najmniej pokrytej lodem lub w największych przerwach w lodzie. W sytuacjach występowania bardzo zwartej i stałej pokrywy lodowej lub silnego falowania pomiarów nie robiono. Dodatkowo określano w sposób opisowy codzienny stan zlodzenia Isbjornhamny i w miarę możliwości sporządzano na podkładach kartograficznych szkice sytuacji lodowej w Isbjornhamnie i Hornsundzie, zawierające informacje o położeniu i zwartości lodu oraz jego stadiach rozwojowych według terminologii lodów morskich WMO (1970, 1989).

W okresie lipiec 2009 – czerwiec 2010 sporządzono 38 szkiców sytuacji lodowej w Isbjornhamnie i 11 szkiców w Hornsundzie. Szkice uzupełniano dokumentacją fotograficzną. W roku 2009 szkice sytuacji w Isbjornhamnie wykonano: 10, 18 i 24 lipca; 1, 11, 17, 22 i 31 sierpnia; 10, 17 i 28 września; 5, 12, 20 i 27 października oraz 5 i 11 listopada. Wykonano także jeden szkic dla Hornsundu (17 sierpnia). Po skończeniu się nocy polarnej obserwacje kontynuowano od lutego 2010. Tym razem materiał obejmuje szkice Isbjornhamny wykonane w dniach: 4, 16 i 23 lutego; 2, 4, 13, 22 i 27 marca; 4, 13, 23 i 28 kwietnia; 1, 6, 19 i 25 maja oraz 5, 12, 21, 26 i 30 czerwca oraz szkice całego fiordu z dni: 14 lutego; 4, 18 i 27 marca; 20 kwietnia; 10 i 12 maja oraz 2, 17 i 27 czerwca.

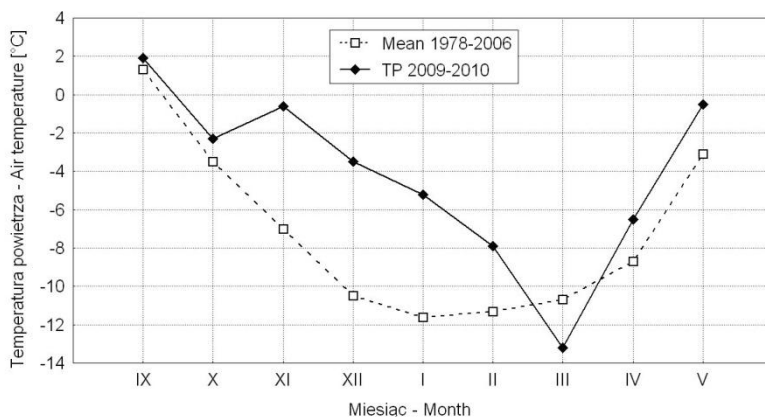
W związku z brakami obserwacji z okresu nocy polarnej i w celu uzupełnienia charakterystyki warunków lodowych tego okresu w pracy wykorzystano dodatkowo materiały (mapy lodowe) wydawane przez Norweski Instytut Meteorologiczny (<http://polarview.met.no/>) oraz amerykański National Ice Center (<http://www.natice.noaa.gov/products/arctic/index.htm>). Materiały te nadają się przede wszystkim do interpretacji położenia skraju lodu, zwłaszcza w wejściu do fiordu, ale też weryfikacji obserwacji wizualnych przy określaniu zwartości lodu z większej odległości.

2. Warunki meteorologiczne i hydrologiczne w sezonie 2009/2010

W drugiej połowie roku 2009 spadki średniej dobowej temperatury powietrza poniżej zera odnotowano dość wcześnie, bo już w połowie września. Średnia temperatura miesięczna utrzymywała się poniżej zera w okresie od października do maja (ryc. 1). Wrzesień był nieznacznie cieplejszy w stosunku do średniej wieloletniej. Od października do lutego oraz w kwietniu i maju temperatura była wyraźnie wyższa od normy z lat 1978-2006. Najmniejsze odstępstwo odnotowano w październiku (+1.2), a największe w grudniu (+7.0 deg). Jedynie marzec charakteryzował się średnią temperaturą o 2.5 deg niższą niż wieloletnia. Znaczące (powyżej +5 deg) dodatnie anomalie temperatury w trzech kolejnych miesiącach (listopad – styczeń) odbiły się wyraźnie na warunkach lodowych tego okresu, które były nadzwyczaj łagodne.

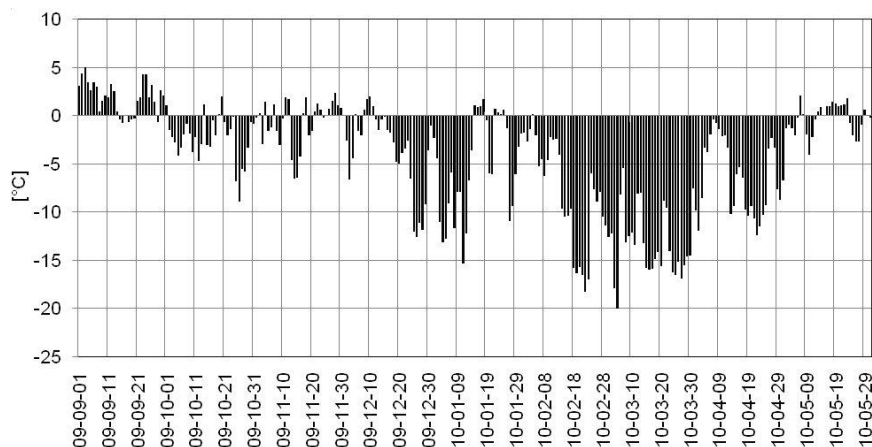
W przebiegach dobowych dopiero w ostatniej dekadzie października wystąpiły dni z temperaturą poniżej -5°C. Ponownie takie spadki pojawiły się w drugiej dekadzie listopada. Od połowy grudnia przez około miesiąc temperatura dobowa utrzymywała się w sposób ciągły na ujemnym poziomie. Jednak dopiero w ostatnich dniach grudnia i pierwszej połowie stycznia odnotowano kilkudniowe okresy ze spadkiem temperatury do wartości poniżej -10°C. Sprzyjało to wychładzaniu się wody także

na otwartych akwenach i tworzeniu się lodu poza strefą brzegową. Ponowne ocieplenie trwające od połowy stycznia do połowy lutego w zasadzie zahamowało ten proces, ograniczając zjawiska lodowe do strefy płytkowodnej. Sprzyjające rozwojowi pokrywy lodowej warunki pojawiły się znów dopiero w drugiej połowie lutego, kiedy temperatura spadła do poziomu $-10\pm-15^{\circ}\text{C}$ (ryc. 2) i utrzymywała się w tym przedziale praktycznie nieprzerwanie do końca marca.



Ryc. 1. Przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza (TP) okresu wrzesień – maj w Hornsundzie w sezonie 2009/2010 na tle wartości średnich wieloletnich (Mean 1978-2006)

Fig. 1. Course of mean monthly air temperature (TP) at Hornsund station (September to May) during season 2009/2010 as compared to multiyear condition (Mean 1978-2006)



Ryc. 2. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w Hornsundzie w okresie 01.09.2009 – 31.05.2010

Fig. 2. Course of mean daily air temperature at Hornsund station in the period 01.09.2009 – 31.05.2010

O grubości lodu autochtonicznego decyduje przede wszystkim suma ujemnych średnich dobowych wartości temperatury powietrza (stopnio-dni mrozu). Pewne znaczenie ma również występująca na nim pokrywa śnieżna, pełniąca rolę izolatora. Szacowanie przyrostu grubości pokrywy lodu stałego

jest zatem obarczone błędami wynikającymi z założenia, że śniegu na lodzie nie było. Dane zawierające miesięczne sumy stopnio-dni mrozu w sezonie 2009/2010 i wieloleciu oraz odpowiadającą im skumulowaną grubość lodu na koniec kolejnych miesięcy zawiera tabela 1. Wynika z niej, że w końcu października lód mógł osiągać co najwyżej grubość 10 cm (tzw. lód świeży – nilas). Na koniec roku 2009 teoretyczna grubość lodu autochtonicznego nie powinna była przekraczać 24 cm. Obserwacje z rejonu Isbjornhamny dla tego okresu wskazują na brak lodu poza jego stadiami inicjalnymi. Z kolei mapy wydawane przez Norweski Instytut Meteorologiczny dopiero w drugiej połowie stycznia sygnalizują utworzenie się form lodu stałego w końcu fiordu, co potwierdzają obserwacje w Isbjornhamnie, gdzie w tym samym czasie tworzyły się krążki lodu młodego (10-30 cm grubości). Warunki termiczne poszczególnych miesięcy 2010 roku wskazują, że gdyby za początek tworzenia się lodu przyjąć początek roku, to w końcu stycznia grubość lodu mogła osiągać 20 cm, w końcu lutego 35 i prawie 60 cm w końcu marca. Ostatnia wartość różni się zaledwie o około 10 cm od teoretycznej grubości liczonej dla całego okresu wrzesień-marzec, a niewielka różnica wynika z faktu coraz to wolniejszego przyrostu lodu na grubość w miarę wzrostu jego miąższości. Grubość lodu w końcowym stadium rozwoju mogła osiągać blisko 80 cm (lód pierwszoroczny średni), a więc o około 25 cm mniej niż dla warunków wieloletnich i ponad 15 cm mniej niż w sezonie poprzednim (Kruszewski 2010).

Tabela 1 – Table 1

Miesięczne sumy stopnio-dni mrozu w Hornsundzie i teoretyczny przyrost grubości lodu stałego (bez pokrywy śnieżnej) obliczony według formuły Zubova, w sezonie 2009/2010 oraz wieloleciu (1978-2006)

Monthly sums of Frost degree-day and theoretical increase in fast ice thickness (without snow cover) calculated with the Zubov formula, during the season 2009/2010 and multiyear period (1978-2006)

Miesiąc Month	Sezon 2009-2010 – Season 2009-2010		Średnia wieloletnia – Many-year average	
	Stopnio-dni mrozu [°C] Frost degree-day [°C]	Grubość lodu [cm] Ice thickness [cm]	Stopnio-dni mrozu [°C] Frost degree-day [°C]	Grubość lodu [cm] Ice thickness [cm]
IX	-3.0	1	-17.5	3
X	-76.5	10	-122.0	17
XI	-36.3	14	-185.0	32
XII	-113.1	24	-307.7	50
I	-169.2	37	-344.6	67
II	-220.0	50	-287.5	79
III	-409.5	69	-338.9	91
IV	-195.4	77	-254.1	100
V	-30.1	78	-97.0	103

Pomiary temperatury powierzchniowej wody morskiej prowadzone były w strefie brzegowej Isbjornhamny. W przypadkach zlodzenia strefy brzegowej uniemożliwiającego dotarcie do wody pomiarów nie wykonywano. Także silny przybój i obecność przy brzegu bardzo gęstej lępy lodowej uniemożliwiały czasem wykonanie pomiaru temperatury (w ostatnim przypadku czujnik termometru utrzymywał się na powierzchni).

Obecność w strefie brzegowej growlerów i druzgotu lodowcowego była przyczyną wyraźnego obniżania się temperatury wody poniżej 0°C także w okresach, gdy temperatura powietrza była dodatnia (lipiec, sierpień, wrzesień). Nawet niewielka ilość lodu w pobliżu miejsca pomiarowego powodowała czasem znaczne obniżenie temperatury (np. 21 czerwca – tab. 2). Stąd interpretacja

wyników nie może być jednoznaczna. Według obserwatora wykonującego pomiary temperatura wody była zależna od fazy pływu i od wielkości fali przybojowej. Wartości wyższe notowano raczej przy słabym falowaniu i odpływie, natomiast po rozpoczęciu przyprływu temperatura wody obniżała się. Podobne zależności obserwował autor podczas własnych pomiarów w Zatoce Admiralicji na Sztetlandach Południowych (Antarktyka).

Tabela 2 – Table 2

Temperatura wody powierzchniowej mierzona przy zachodnim brzegu Isbjornhamny. Braki obserwacji ze względu na silne falowanie lub występujący w strefie brzegowej lód oznaczone „-”

Sea surface temperature measured on the western shore of Isbjornhamna. Lack of observation because of big waves or ice existence in coastal zone marked „-”

Dzień Day	2009						2010					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
1	-	0.4	-1.4	1.1	-1.1	-1.8	-1.9	-	-	-	-	0.3
2	-	3.7	-1.2	-0.6	-1.6	-1.9	-1.8	-	-	-	-	2.1
3	-	2.6	-1.4	-1.7	-1.4	-1.9	-1.9	-	-	-	-	-
4	5.2	3.1	0.4	-1.7	-1.7	-1.9	-1.9	-	-	-	-	-0.8
5	6.0	4.6	2.0	-1.5	-1.7	-1.8	-1.9	-	-	-	-1.1	-0.8
6	6.8	2.9	2.6	-0.7	-1.6	-1.7	-	-	-	-	-0.6	-0.3
7	5.8	4.1	2.3	-0.2	-1.8	-1.8	-1.5	-	-	-1.9	-1.8	0.6
8	2.9	3.3	2.2	-0.8	-1.8	-1.8	-1.8	-	-	-1.9	-0.2	0.9
9	2.8	3.6	-1.3	-1.0	-1.7	-1.7	-1.9	-	-	-1.9	-	1.0
10	4.9	4.1	-0.4	-0.9	-1.8	-1.6	-1.9	-	-	-1.9	-	2.7
11	5.2	4.6	1.9	-1.7	-1.8	-1.3	-1.9	-	-	-1.9	-1.7	3.1
12	3.9	4.8	1.3	-1.8	-1.1	-1.8	-1.9	-	-	-	-1.5	2.5
13	4.4	2.9	2.4	-1.8	-1.7	-1.9	-	-	-	-	-1.4	4.3
14	0.4	3.6	2.1	-1.7	-1.9	-1.8	-	-	-	-	-0.8	1.2
15	3.2	4.1	-0.7	0.4	-1.9	-1.8	-	-2.0	-	-	-1.1	2.2
16	3.8	2.3	-0.3	-0.2	-1.9	-1.4	-1.8	-	-	-	-1.0	4.5
17	3.6	3.2	0.8	-1.0	-1.8	-1.6	-	-2.0	-	-	-1.1	1.8
18	2.8	0.7	0.7	-0.3	-1.4	-1.9	-	-2.0	-	-	-0.6	1.7
19	3.2	0.1	-1.7	-1.8	-1.8	-1.9	-	-	-	-	-0.2	1.4
20	4.3	1.4	-1.7	-0.5	-1.8	-1.9	-1.4	-	-	-	-0.4	2.2
21	2.1	1.3	-1.7	-1.4	-1.8	-	-	-	-	-	0.8	-1.0
22	1.3	2.4	-1.7	0.2	-1.8	-	-1.3	-	-	-	0.1	2.1
23	0.2	3.0	-1.3	-1.8	-1.7	-	-1.3	-	-	-	-0.2	3.3
24	1.9	3.3	-0.9	-0.2	-1.8	-1.9	-1.2	-	-	-	-0.3	1.7
25	2.9	2.7	1.2	-1.5	-1.7	-1.9	-1.0	-	-	-	-0.4	1.5
26	3.0	3.0	1.0	-1.7	-1.8	-1.9	-0.6	-	-	-	-0.5	1.7
27	3.8	3.0	0.7	-1.8	-1.8	-1.9	-	-	-	-	-1.1	2.1
28	-1.4	1.7	0.7	-1.7	-1.7	-1.9	-	-	-	-	-1.0	2.2
29	-1.3	1.2	0.7	-1.8	-1.8	-	-	-	-	-	-1.0	3.5
30	2.4	-0.7	0.9	-1.8	-1.8	-	-	-	-	-	-1.0	0.7
31	3.6	-1.2	-	-1.8	-	-	-	-	-	-	-0.9	-
Min	-1.4	-1.2	-1.7	-1.8	-1.9	-1.9	-1.9	-2.0	-	-1.9	-1.8	-1.0
Max	6.8	4.8	2.6	1.1	-1.1	-1.3	-0.6	-2.0	-	-1.9	0.8	4.5
Srednia Mean	3.13	2.57	0.27	-1.09	-1.70	-1.79	-1.61	-2.00	-	-1.90	-0.76	1.67

Od października do maja miesięczne wartości temperatury wody morskiej były ujemne. W listopadzie, grudniu i pierwszej połowie stycznia utrzymywały się na poziomie zbliżonym do temperatury krzepnięcia, umożliwiając tworzenie się w strefie brzegowej początkowych postaci lodu. W okresie lutego, marca i kwietnia udało się wykonać zaledwie kilka pomiarów w przerwach w lodzie, a temperatura wody utrzymywała się na poziomie -1,8 do -2,0°C. Wyraźny wzrost temperatury wody zaczął się w drugiej połowie maja. Od tego momentu ani razu nie zbliżyła się ona już do temperatury zamarzania, a od początku czerwca osiągała wartości dodatnie.

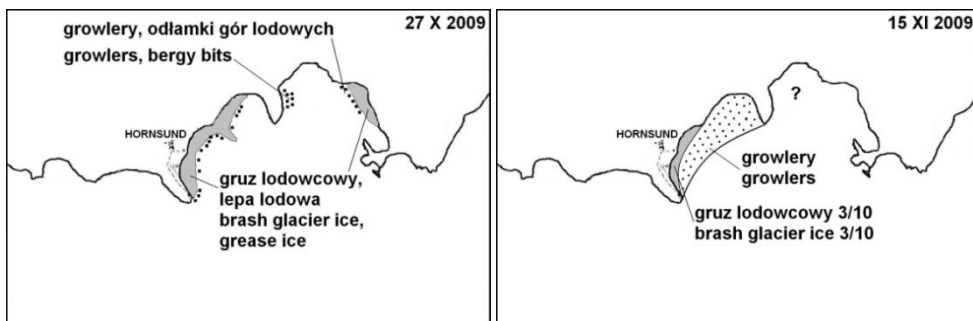
3. Złodzenie

3.1. Warunki lodowe w Isbjornhamnie

W okresie przed 26 października 2009 roku nie odnotowano w zatoce form lodu morskiego. W strefie brzegowej pojawiał się w tym czasie jedynie lód pochodzenia lądowego. Podobnie jak w latach ubiegłych obserwowano dużą zmienność przestrzenną i czasową w występowaniu form lodu pochodzenia lądowego. Lód ten w postaci gruzu lodowcowego, growlerów lub odłamów gór lodowych dryfuje z wiatrem wzdłuż zachodniego brzegu zatoki, w rejonie od Wilczekodden do Baranowskiodden, co spowodowane jest przewagą cyrkulacji wschodniej. Skupiska druzgotu lodowcowego najczęściej układają się w pasma o szerokości kilkudziesięciu metrów. W strefie bardziej oddalonej od brzegu zwiększa się ilość growlerów, a sporadycznie pojawiają się odłamki gór lodowych. Okresy bez lodu w strefie brzegowej Isbjornhamny występują sporadycznie. W okresie wykonywania obserwacji (od 3 lipca 2009) jedynie w dniach 4 i 6 do 9 lipca; 23 do 25 sierpnia; 13 i 14 września i 17 października nie odnotowano form lodu lodowcowego.

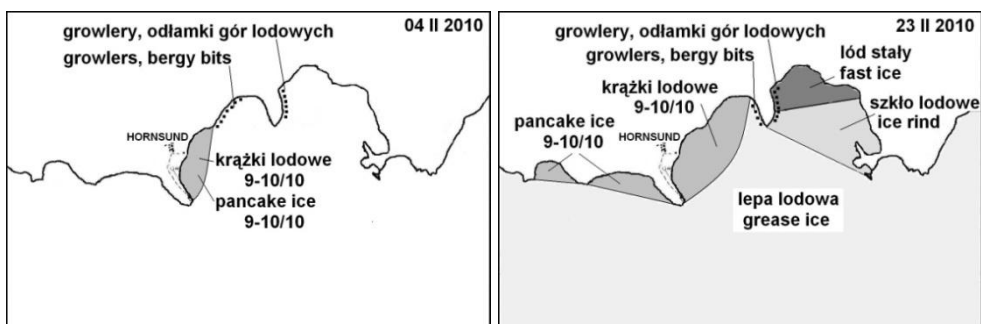
Pierwsze postacie lodu morskiego pojawiły się dopiero 26 października. Do tej pory w okresie większego nagromadzenia lodu lodowcowego w strefie brzegowej Isbjornhamny (1 do 3 i 19 do 22 września; 2 do 5 i 10 do 14 października) temperatura wody spadała do bliskiej krzepnięcia. W dniach 26 i 27 października między bryłami gruzu lodowcowego pojawiły się kryształy lodu morskiego i lepa lodowa (ryc. 3). Do końca grudnia 2009 nie odnotowano innych form lodu morskiego niż jego stadia inicjalne (lepa lodowa, lepa śnieżna, sryż). W tym czasie w zatoce (zwłaszcza jej zachodniej części) wielokrotnie obserwowane są większe skupiska lodu lodowcowego, którym zazwyczaj towarzyszą początkowe postacie lodu morskiego. Większe spadki temperatury powietrza w pierwszej dekadzie stycznia doprowadziły do formowania się na większych powierzchniach lodu świeżego (nilasu, do 10 cm grubości). W końcu stycznia w Isbjornhamnie zaczęły formować się z niego krążki lodowe (pancake ice), które utrzymywały się w zasadzie do maja. Podlegały one transformacji zarówno w wyniku zwykłego przyrastania na grubość jak i akumulacji śniegu czy pływów. Część krążków na skutek przymarzania do dna i namarzania kolejnych warstw wody na powierzchni ale też i pod spodem wyraźnie zwiększała grubość. W skrajnych przypadkach powstały z nich bryły o wysokości nawet 2 metrów i średnicy, tak jak krążków lodowych 2-4 metrów. Pomimo wyglądu niezgodnego z definicją krążków lodowych nadal stosowano tę nazwę. Z kolei większa część krążków pozostała stosunkowo cienka (do 20 cm), pomiędzy nimi przy ruchach pływowych tworzyły się szczeliny, którymi okresowo wydostawała się na powierzchnię woda morska. Woda ta miejscami zamarzając na powierzchni, tworzyła tafle lodu z widocznym zarysem pierwotnych krążków lodowych. Tafle te z kolei często pękały przy falowaniu i podlegały ponownemu spajaniu. Pomędzy tafle dostawały się gruz i growlery,

wmarzając w tę pokrywę. Ostatnie swobodnie pływające na granicy tej strefy growlery i gruz lodowcowy obserwowano jeszcze pod koniec stycznia. W okresie lutego strefa krążków stopniowo zwiększała zasięg, sięgając na odległość do 300 m od brzegu. W drugiej połowie lutego doszło także do pokrycia pozostałej części Isbjornhamny lodem świeżym (ryc. 4). Przez pierwszą dekadę marca lód utrzymywał się na całej powierzchni zatoki. Potem kilkakrotnie (13-15 marca, 20-22 marca) ulegał częściowemu połamaniu i rozluźnieniu w części centralnej. Zachodnie i wschodnie partie Isbjornhamny pokrywał lód zespojony lub stały. W pierwszych dniach kwietnia doszło do połamania i wyniesienia lodu z większej części zatoki. Ocalała tylko pokrywa w strefie brzegowej z granicą od Wilczekodden na północ oraz lód stały na północnej połowie Siedleckivikka. Grubość tego ostatniego lodu stwierdzona w odwiertach wynosiła od 40 do 70-80 cm. W końcu pierwszej i w drugiej dekadzie kwietnia doszło do ponownego zwarcia i częściowego zespojenia lodu, tak, że 23 kwietnia pokrywał całą zatokę. 27 kwietnia lód ten poza wąską strefą brzegową został połamany i wywiany na zewnątrz. Ostatni raz do formowania się lodu doszło między 28 kwietnia a 1 maja. Większa część Isbjornhamny pokryła się wtedy utworzonym na miejscu lodem świeżym ciemnym. Do końca pierwszej dekady maja dezintegracji uległa także resztkę lodu stałego w północnej części Siedleckivikka. Po tym terminie na wodach zatoki obserwowano już tylko nieliczne szczątki z rozpadu pokrywy lodu w innych częściach fiordu lub lód allochtoniczny. Pierwszy materiał pochodzenia lodowcowego (druzgot i growlery) był widziany w drugiej połowie maja.



Ryc. 3. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie 27 października i 15 listopada 2009 r.

Fig. 3. Distribution of ice in Isbjornhamna on 27 October and 15 November 2009



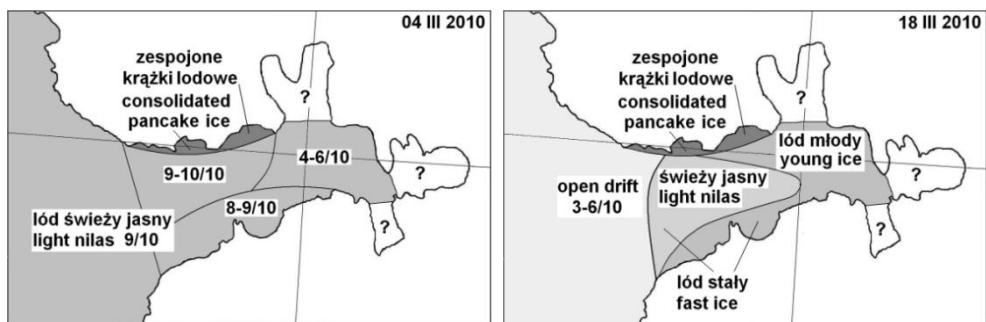
Ryc. 4. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie 4 i 23 lutego 2010 r.

Fig. 4. Distribution of ice in Isbjornhamna on 4 and 23 February 2010

Od początku stycznia obserwowano także tworzenie się na brzegu wału lodowego z druzgotu lodowcowego wyniesionego i osadzonego na brzegu w czasie wysokiej wody pływowej oraz z lepy lodowej i bryzgów wody morskiej które okresowo to zalewały. Padający śnieg, nadbudowywał tę formę, a ponownie docierające bryzgi pozmrażały w jedną całość. W drugiej połowie lutego od strony morza wykształcił się na tym wale wskutek ruchów pływowych „klif” opadający pionowo do wody. Maksymalna wysokość wału wynosiła około 1.2 m. Intensywny napływ wód roztopowych w drugiej połowie maja umożliwił silną erozję tej formy. Wał ten zanikł ostatecznie dopiero w drugiej połowie czerwca.

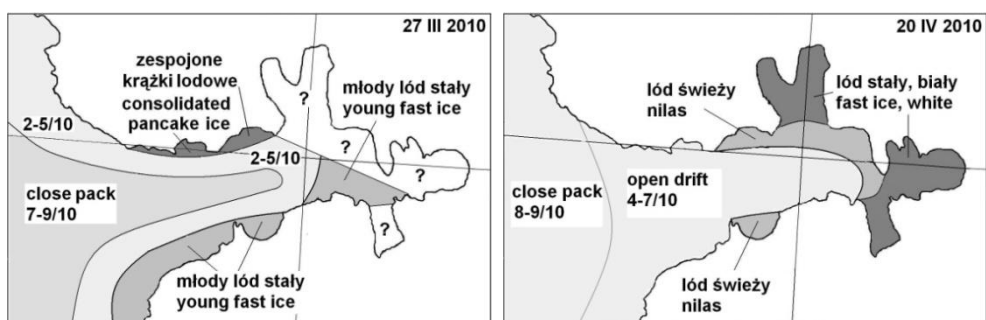
3.2. Warunki lodowe w Hornsundzie

W czasie początków tworzenia się lodu morskiego, ze względu na panujące ciemności szkieców sytuacyjnych dla całego fiordu nie wykonywano. Informacje dostępne z norweskich i amerykańskich map lodowych wskazują, że dopiero w ostatniej dekadzie października na wodach wokół południowego Spitsbergenu zaczął pojawiać się lód, prawdopodobnie autochtoniczny o zwartości powyżej 1/10. Pomiędzy 27 a 30 października wody Hornsundu pokryte były lodem o zwarcu 1-4/10, a we wschodnich partiach chwilowo nawet większym. Podobna sytuacja utrzymywała się przez cały listopad i grudzień. W tym okresie na wodach Hornsundu i przyległych zwartości lodu wahały się praktycznie od zera do 4/10. Dopiero w końcu drugiej dekady grudnia lód dryfujący u SW wybrzeży Spitsbergenu zaczął osiągać większą koncentrację i rozprzestrzeniać się na północ, w kierunku przedpoła fiordu. W Hornsundzie pierwsze wejście lodu z zewnątrz zaobserwowano 4 stycznia. Do końca drugiej dekady stycznia koncentracja lodów na przedpołu i w fiordzie osiągała maksymalne wartości nawet powyżej 7/10. Według map wysokiej rozdzielczości od 16 stycznia w skrajnie wschodniej części fiordu występował lód stały lub całkowicie zwarty. Zajmował on północną część Brepollen. Pomiędzy 18 a 22.01 koncentracja lodu w fiordzie i na przedpołu wyraźnie zmalała. Ponownie większe ilości lodu z zewnątrz napłynęły po 23.01. Pierwsze dni lutego to ponowne rozrzedzenie lodów w północnej i całkowite oczyszczenie południowej części Hornsundu, a w kolejnych dniach praktycznie całego fiordu. Utrzymała się jedynie częściowa pokrywa lodu w Brepollen. Obserwacja z dnia 14.02 wskazuje na zupełny brak lodu poza strefami krązków lodowych w wąskiej strefie brzegowej. Do końca lutego na otwartych przestrzeniach fiordu zwartość lodu nie przekroczyła 1-4/10. Z początkiem marca zaobserwowano intensywny napływ lodu morskiego z zewnątrz. W tym czasie wody wokół Sorkappu pokryte były lodem o zwartości 9-10/10 a lód ten dryfował na północ przy zachowaniu dużej zwartości. Według obserwatora był to w większości lód świeży jasny (10 cm) podlegający konsolidacji. Sytuację z 4.03 prezentuje ryc. 5. Przez kolejne kilkanaście dni lód ten przyrastał na grubość, podlegając niewielkim przesunięciom jedynie w osiowej części fiordu. Identyfikację stadium rozwojowego utrudniała świeża pokrywa śnieżna utrzymująca się na lodzie. Według stanu z 18.03 (ryc. 5) lód stały wypełniał cały fiord. W wejściu do Hornsundu występowało pasmo lodu o zwartości 3-6/10, a dalej ciągnęła się strefa lodów zwartych i bardzo zwartych (7-9/10). Po 20.03 silne wschodnie wiatry doprowadziły do spadku zwarcia lodów na przedpołu i częściowego połamania go we fiordzie (ryc. 6). Pokrywa stała utrzymała się z niewielkimi zmianami nadal w osi wschodniej połowy Hornsundu i zatokach bocznych do przelomu pierwszej i drugiej dekady kwietnia. Potem była częściowo niszczone, po 20.04 występując już niemal wyłącznie w bocznych zatokach (Burgerbukta, Brepollen, Samarinvagen). Kolejne stadia cofania się pokrywy lodu stałego prezentuje ryc. 7. Warto zauważyć, że lód stały biały (30-70 cm) praktycznie nie



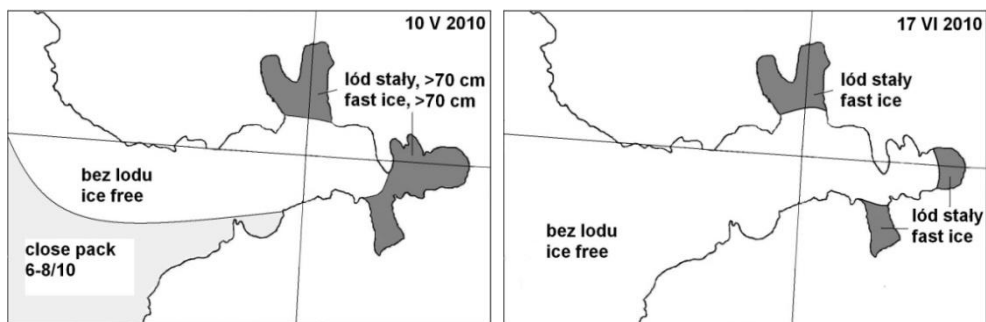
Ryc. 5. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 4 i 18 marca 2010 r.

Fig. 5. Distribution of ice in Hornsund on 4 and 18 March 2010



Ryc. 6. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 27 marca i 20 kwietnia 2010 r.

Fig. 6. Distribution of ice in Hornsund on 27 March and 20 April 2009



Ryc. 7. Rozmieszczenie lodu w Hornsundzie 10 maja i 17 czerwca 2010 r.

Fig. 7. Distribution of ice in Hornsund on 10 May and 17 June 2010

zmienił położenia pomiędzy 20.04 a 10.05. W tym dniu obserwowano krawędź lodu z bliska podczas rejsu r/v „Jan Mayen”, a jego grubość oszacowano na około 70-80 cm. Faktycznie krawędź lodu stałego utrzymała się na tej granicy do około 10 czerwca, a przez kolejny tydzień (do 17.06) wyraźne

przesunięcie granicy zasięgu na wschód odnotowano w Brepollen. Po tej dacie resztki częściowo podtopionego lub zmurszałego lodu podlegały niszczeniu, najdłużej utrzymując się w NE części Brepollen, przed Hornbreen (do pierwszych dni lipca 2010).

W trzeciej dekadzie marca i kwietniu na wodach wokół SW brzegów Spitsbergenu lód dryfujący osiągał zwarcie 7-9/10. Utrzymująca się jednak w tym okresie cyrkulacja wschodnia powodowała, że w osiowej części Hornsundu zawartość lodu rzadko przekraczała 4-6/10. Kilkundniowe zmiany kierunku wiatru na zachodni lub też osłabienie cyrkulacji wschodniej natychmiast powodowały wnoszenie lodu do fiordu i wzrost jego koncentracji. Sytuacje takie miały miejsce 25 i 26 marca; od 9 do 13 kwietnia; 20-25 kwietnia i po raz ostatni 12 maja. Po tej dacie w zasadzie nie obserwowano lodu o zawartości powyżej 4/10 nawet u wejścia do fiordu.

4. Podsumowanie

Sezon lodowy 2009/2010 w Hornsundzie należy uznać, podobnie jak poprzedni, za łagodny. Wpłynęły na to przede wszystkim wzmiankowane warunki termiczne, zwłaszcza wyjątkowo ciepłe listopad, grudzień i styczeń. Pod tym względem omawiany sezon był bardzo podobny do sezonów 2005/2006 oraz 2007/2008, w których zimowe minimum temperatury także przypadało na marzec. Przesunięcie momentu występowania minimum na koniec zimy jest charakterystyczne dla XXI wieku i wskazuje na utrzymującą się, również w badanym sezonie, dużą oceanizację klimatu SW Spitsbergenu.

W rejonie Isbjornhamny tworzenie się inicjalnych postaci lodu morskiego obserwowano w końcu października, jednak proces ten był w zasadzie ograniczony do wąskiej strefy brzegowej. Do napływu do Hornsundu lodu z zewnątrz doszło w omawianym sezonie bardzo późno, po raz pierwszy w wejściu do fiordu był on obserwowany dopiero w początkach stycznia 2010 (w sezonie 2008/2009 już w drugiej dekadzie listopada). Pod tym względem sezon 2009/2010 był bardzo podobny do sezonu 2006/2007.

Dopiero w końcu stycznia zaczęły powstawać krążki lodowe, a i to w ograniczonym zakresie. Poza strefą brzegową przypuszczalnie nie doszło do tworzenia się form lodu autochtonicznego aż do przełomu stycznia i lutego. O półtora miesiąca później niż w poprzednim sezonie zimowym, bo dopiero w drugiej połowie lutego, z krążków lodowych zaczął się formować lód brzegowy. Ostatecznie do uformowania się lodu stałego na większej powierzchni fiordu doszło w początkach marca, a był to w osiowej części fiordu lód allochtoniczny. W okresie swego maksymalnego rozwoju przez ponad 2 tygodnie pokrywał on całą powierzchnię Hornsundu. Lód autochtoniczny wytworzył się we wschodniej połowie fiordu i do początku lipca przetrwał na niewielkiej części Brepollen. Jego maksymalną grubość w tym rejonie szacowano na 70-80 cm (lód pierwszoroczny cienki / średni). Wody Hornsundu od końca marca przez około 6 tygodni pokrywał lód dryfujący o zawartości przeciętnie 4-6/10. Ostatnie większe wejście lodów dryfujących do fiordu miało miejsce w końcu pierwszej połowy maja, czyli w podobnym okresie jak w poprzednim sezonie lodowym.

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.
- Kruszewski G., 2010. Złodzenie Hornsundu (Spitsbergen) w sezonie zimowym 2008-2009. Problemy Klimatologii Polamej, 20: 187-196.

- 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 PAS 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., 2009. Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola (SW Spitsbergen) w sezonie zimowym 2007/2008. Problemy Klimatologii Polarnej, 19: 247–267.
- WMO Sea-ice Nomenclature – WMO/OMM/BMO – No. 259, 1970; Suppl. No. 5, 1989.

Wpłynęło: 17 października 2011, poprawiono: 10 listopada 2011

Summary

This article presents the sea ice development in the waters of Hornsund Fjord during winter season 2009/2010. Due to long lasting (November-February) high air temperatures (Fig. 1-2) during autumn 2009 mainly brash glacier ice, growlers and bergy bits were present in Hornsund, especially along the coast. Since end of October forms of new ice were observed in coastal zone of Isbjornhamna. In beginning of January first allochthonic drifting ice entered western part of the fjord. First "in situ" formed pancake ice was observed in coastal zone in February (Fig. 4). During this month young coastal ice was formed in inner bays of the fjord. Significant decrease in air temperature observed in March was connected with ice development (Fig. 5) on whole fjord area. In eastern part the "autochthonic" fast ice was formed, in western consolidation of drifting ice occurred. The whole area of Hornsund was covered with fast ice for about two weeks. In eastern part of the fjord (Brepollen, Burgerbukta, Samarinvagen) fast ice existed even in June, with maximum thickness 70-80 cm. Last forms of fast ice was destroyed in first days of July in NE part of Brepollen. In April and May close pack ice drifting outside the Hornsund entered few times the central parts of the fjord, but because of mild temperature conditions consolidation did not start. Usually concentration of ice in central part of the fjord was smaller than outside and do not exceed 4-6/10 (open drift), because of prevailing easterly winds, blowing the ice outside. Such a situation existed since end of March for next six weeks. The last short episode the strips of allochthonic ice entered central part of the fjord took place in beginning of May (Fig. 7).

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