

**INTENSYWNY DRYF LODU W REJONIE WYSPY WRANGLA,
ZJAWISKA Z NIM ZWIĄZANE
I KONSEKWENCJE DLA BEZPIECZEŃSTWA EGZPLUGI**

HEAVY DRIFT ICE IN THE VICINITY OF WRANGEL ISLAND,
THE PHENOMENA ASSOCIATED WITH IT
AND THE CONSEQUENCES FOR THE SAFETY OF NAVIGATION

Tadeusz Pastusiak¹, Anna Styszyńska²

¹ – Akademia Morska, Katedra Nawigacji WN
ul. Al. Jana Pawła II 3, 81–345 Gdynia
tadeusz.pastusiak@wp.pl

² – Akademia Morska, Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej WN
Sędzickiego 19, 82-374 Gdynia
stysa@am.gdynia.pl

Zarys treści. Praca omawia zjawiska hydrometeorologiczne towarzyszące intensywnemu dryfowi lodu w rejonie Wyspy Wrangla w dniach 19-30 marca 2012 roku. Rezultaty badania związków pomiędzy parametrami hydrologiczno-meteorologicznymi wykazały silne zależności pomiędzy prędkością wiatru, prędkością prądu morskiego, prędkością dryfu lodu i gradientem poziomu morza. Oszacowana długość „koryta” rzeki lodu wahała się od 100 do 580 Mm zaś jego szerokość od 30 do 180 Mm. Można przyjąć, że długość „koryta” rzeki lodu jest wprost proporcjonalna do prędkości dryfu tego lodu, a szerokość „koryta” jest odwrotnie proporcjonalna do prędkości dryfu tego lodu.

Słowa kluczowe: dryf lodu morskiego, rzeka lodu, Północna Droga Morska, dywergencja lodu, zmiany pokrywy lodowej.

1. Wprowadzenie

Literatura rosyjska (Mironov 2010, Sprawochnik po opasnym... 2011) wymienia liczne zjawiska niebezpieczne dla żeglugi w Arktyce, które należy omijać przy wyznaczaniu trasy statku. Występując osobno albo kompleksowo mogą one stanowić zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzi albo spowodować duże straty materialne. W przypadku zjawisk występujących kompleksowo przyjmuje się, że poszczególne zjawiska winny w swej intensywności, albo natężeniu, być bliskie kryteriom granicznym (kryterium niebezpieczności). Do takich zjawisk został zaliczony intensywny dryf lodu morskiego, który w ekstremalnych przypadkach nazywany jest „rzeką lodów” (ros. ледовая река, ang. ice jet).

Pod pojęciami intensywnego dryfu lodu i „rzeki lodów” przyjęto rozumieć dryf ławic lodu o rozmiarach nie mniejszych jak 500 metrów, z prędkością nie mniejszą niż 0,5 węzła (~1 km/godzinę). Prędkość „rzeki lodów” może dochodzić do 1-2 węzłów, a w ekstremalnych warunkach – nawet do 9 węzłów (Mironov 2010, Sprawochnik po opasnym... 2011, Marchenko 2012). Szybkie zmiany kierunku dryfu

lodu mogą w istotny sposób wpłynąć na kierunek wypadkowego ruchu statku w lodzie i w efekcie spowodować osadzenie statku na mieliźnie albo na skałach. Intensywny dryf lodu wskazuje przeważnie lokalizację miejsc zwierania lodu oraz prawdopodobne miejsca występowania luźniejszego lodu. Zjawisko intensywnego dryfu lodu i „rzeki lodów” może wywołać sytuacje awaryjne statków i lodołamaczy w związku z utratą ich zdolności manewrowych.

Z intensywnym dryfem lodu statki mogą się spotkać na wszystkich głównych szlakach żeglugowych Północnej Drogi Morskiej, zwłaszcza na morzach Karskim, Wschodniosyberyjskim i Czukockim (Kupetskiy 1983, Benzeman 1989, Mironov 2010, Marchenko 2012). Szczególnie często zjawisko to występuje w wąskich przejściach. Na Morzu Karskim są to cieśniny Karskie Wrota, Jugorski Szar i Wilkickiego oraz rejonu leżące na północ i zachód od wyspy Dikson, w północnej części Zatoki Obskiej, w Zalewie Jeniseja oraz cieśninach Matisena i Lenina w archipelagu Nordenskiolda. Drugim rejonem bardzo częstego występowania rzek lodu jest Cieśnina De Longa łącząca morza Wschodniosyberyjskie i Czukockie, akweny leżące wzdłuż wybrzeża Czukotki, a także zachodnie podejście do Cieśniny Beringa. Intensywny dryf lodu może występować w tych rejonach przez cały czas trwania sezonu nawigacyjnego.

Zjawisko „rzeki lodów” ze względu na lokalny charakter, często nie może być wykryte i ustalone za pomocą tradycyjnych map zwiadu lodowego ani też tą drogą obliczone. Powodowane jest to przede wszystkim małymi rozmiarami przestrzennymi i czasowymi tego zjawiska oraz dużymi zmianami prędkości dryfu lodu w funkcji czasu i przestrzeni.

W znanych w literaturze przedmiotu klasyfikacjach „rzek lodów” ze względu na ich rozmiary przestrzenne, mieszczą się one w przedziale od 1 x 0,1 km do 100 x 10 km. Rozmiar danej „rzeki lodów” związany jest z ograniczeniami przestrzennymi rejonów występowania, jakimi są konkretne cieśniny i zatoki oraz części mórz ograniczone przylepą lub skrajem dużych nieruchomych powierzchni lodów. W klasyfikacjach tych nie uwzględniono raportowanych przez załogi statków „rzek lodów” o długości rzędu setek kilometrów i szerokości rzędu dziesiątek kilometrów (Mironov 2010).

Zdaniem Mironova (2010) im „rzeka lodów” ma mniejsze rozmiary przestrzenne, tym charakteryzuje się większą złożonością zjawiska i prędkością dryfu lodu. Czas trwania intensywnego dryfu lodów jest przeważnie wprost proporcjonalny do rozmiarów przestrzennych i odwrotnie proporcjonalny do prędkości potoku w „rzece lodów”. Należy podkreślić, że średni dryf lodu na dużych przestrzeniach jest rzędu 0,1-0,2 m/s (0,2-0,4 węzła) zaś stwierdzona prędkość w strudze „rzeki lodów” dochodzi do 6-9 węzłów, czyli jest sto razy większa. W roku 1986, w rejonie Cieśniny Wilkickiego zaobserwowano „rzekę lodów” trwającą kilka godzin, w której głównym strumieniu o szerokości kilku kabli, prędkość dryfu lodu osiągała 2-3 węzły. W północnej części Zatoki Obskiej ekstremalny dryf lodu w roku 1967 osiągał prędkość 6,7-7,7 węzła, a w rejonie Archipelagu Nordenskiolda w 1967 roku – 9 węzłów. Potokowi lodu przemieszczającemu się z taką prędkością nawet lodołamacz nie był w stanie przeciwdziałać.

Lód dryfujący w takich lokalnych, szybko przemieszczających się potokach, znacznie utrudnia ruch statków i lodołamaczy przede wszystkim ze względu na pojawianie się dużej masy lodu przylegającej do burt statku. Występuje ona w postaci mieszaniny drobnej i bardzo drobnej kry podlegającej silnemu zwieraniu i napierającej na kadłub statku. W takich warunkach statki często są bezsilne i nie są w stanie przeciwdziałać katastrofalnym działaniom „rzeki lodów”. Stopień zagrożenia wynikającego z tego zjawiska należy rozpatrywać w zależności od prędkości strugi lodu, stopnia koncentracji kry oraz stopnia zwierania lodu.

Ekstremalny dryf lodów jest zjawiskiem złożonym (Benzeman 1989, 2008; Mironov 2010). Może wystąpić zarówno podczas nasilania się jak i zaniku wiatru. Lód może dryfować z wiatrem jak również w kierunku przeciwnym do kierunku wiatru (Kuznecov i Mironov 1986). Kierunek dryfu lodów jest zgodny z kierunkiem wiatru, gdy czas działania wiatru jest dłuższy, trwający co najmniej 1-6 godzin. Na akwenach ograniczonych, zwłaszcza w cieśninach, przyspieszeniu dryfu lodów sprzyja występowanie wzdłuż brzegu przylepy (lodu stałego) zawężającej potok powierzchniowego prądu morskiego. Do wzrostu prędkości dryfu lodu w wąskiej cieśninie przyczynia się także duża różnica poziomu morza na przeciwnych stronach cieśniny. Miejscowa różnica poziomu morza zawsze powstaje przy napierających wiatrach, zarówno przy brzegu, jak i przy skraju przylepy albo osiadłego masywu lodowego. Duże gradienty poziomu morza sprzyjają powstawaniu ekstremalnych prądów, które przy występowaniu dryfującego lodu doprowadzić mogą do powstania „rzeki lodów” i intensywnego, lokalnego zwierania kry lodowej.

Ponieważ występowanie ekstremalnego dryfu lodu zależy zarówno od niezmiennych w czasie i przestrzeni czynników morfometrycznych i batymetrycznych jak i od szybkozmiennych warunków hydro-fizycznych, meteorologicznych i lodowych, to jego prognozowanie jest bardzo trudne. Jak do tej pory oczekiwany czas i miejsce wystąpienia „rzeki lodów” można określić niezbyt precyzyjnie i tylko z określonym prawdopodobieństwem zdarzenia (Benzeman 2008, Mironov 2010).

Zjawisko „rzeki lodów” nie zostało jeszcze dobrze zbadane statystycznie. Do chwili obecnej zarejestrowano tylko około sto takich przypadków. Wykryciu tego zjawiska przez statki częstokroć towarzyszyło krytyczne i/lub awaryjne zdarzenie. Z tej przyczyny w samym tylko rejonie Wyspy Wrangla, Cieśniny De Longa i wybrzeża Czukotki zanotowano cztery przypadki zatonięcia statków: w roku 1929 – „*Elisif*”, 1947 – „*Mossovot*”, 1965 – „*Vitimles*” i 1983 – „*Nina Sagaydak*” (Mironov 2010, Marchenko 2011, 2012, 2013).

W związku z potencjalnie bardzo niebezpiecznymi skutkami intensywnego dryfu lodów dla statków i lodołamaczy Administracja Północnej Drogi Morskiej (APDM) zaleca omijać rejony, w których, w występujących warunkach meteorologicznych, hydrologicznych i lodowych, może dojść do powstania „rzeki lodów” (Sprawochnik po ledovym ... 2011). Biorąc pod uwagę rozwój pokrywy lodowej na morzach arktycznych w ostatnich kilku sezonach lodowych, najtrudniejsze warunki żeglugi w lodach na Północnej Drodze Morskiej, niezależnie od pory roku, występują w rejonie Wyspy Wrangla. Ponieważ w ostatnich latach wzrasta zainteresowanie różnych armatorów możliwością bezpiecznego przepłynięcia przez statki handlowe Północnej Drogi Morskiej nie tylko w sezonie nawigacyjnym, ale również w sezonie zimowym, w niniejszej pracy przeanalizowano przypadek wystąpienia intensywnego dryfu lodów w rejonie Wyspy Wrangla zimą i podjęto próbę zbadania związków między parametrami hydrologiczno-meteorologicznymi, a prędkością dryfu lodu oraz oszacowania szerokości i długości głównego nurtu rzeki lodów. Okres objęty analizą obejmuje kilkanaście dni od 19 do 30 marca 2012 roku.

2. Obszar badań

Wyspa Wrangla i oddzielająca ją od kontynentu Cieśnina De Longa leżą na pograniczu mórz Wschodniosyberyjskiego i Czukockiego. Cieśnina De Longa jest szeroka na 75 Mm i stosunkowo głęboka (40-50 m, minimalna 20 m). Niewielkie głębokości występują tylko w pobliżu brzegów. Z tego względu strefa lodu stałego występująca przy brzegach od października do lipca jest stosunkowo wąska i na ogół nie przekracza 5-11 Mm. Dalej na północ rozpościera się strefa zwartych lodów dry-

fujących. Latem są to bardzo zwarte lody zimowe i wieloletnie tworzące tzw. Ajoński Masyw Lodowy występujący na zachód od Wyspy Wrangla i Masyw Lodowy Wrangla występujący na wschód od tej wyspy (Marchenko 2012). Oba masywy często budowane są przez duże wały i zwały o wysokościach przekraczających 10-15 m, które gdy osiadą na mieliznach występujących wokół Wyspy Wrangla stabilizują położenie tych masywów. Strefa lodów dryfujących oddzielona jest od lodu stałego połynią podziału. Jest to akwen o szerokości 10-15 Mm pokryty lodem o mniejszej koncentracji rozciągający się wzdłuż granicy lodu stałego na 60-70 mil (Johannessen i in. 2007). W obrębie tej połynii możliwe jest wystąpienie w sprzyjających warunkach hydrologiczno-meteorologicznych szybkiego dryfu mocno stłoczonego lodu na prądach wiatrowych lub pływowych, czyli „rzek lodów” (Sprawochnik po ledovym ... 2011).

Dryf lodu występuje pod wpływem wiatru i prądów. Reżim wiatru na analizowanym obszarze silnie uzależniony jest od sezonowych zmian cyrkulacji atmosferycznej. Na Morzu Wschodniosyberyjskim, zimą na całym wybrzeżu przeważają wiatry z W i SW o dużej stałości (do 8-19 dni pod rząd). Wiosną i latem dominujące stają się wiatry z NE i E. Ich powtarzalność dochodzi do 55-65%. Jesienią następuje powrót do reżimu zimowego. Choć średnia prędkość wiatru latem jest większa niż zimą, to latem maksymalne prędkości wiatru (20-28 m/s) są niższe od tych, jakie występują zimą (30-40 m/s). Powtarzalność takich sytuacji jest nieduża, nie przekracza 3-7% zimą i 1-4% latem (Locija Vostočno-Sibirskiego Morja 1998). Na Morzu Czukockim, zimą, na akwenach otwartych przeważają wiatry z N, NE i NW, a w strefie wybrzeża – z W i NW. Wiosną i latem dominujący kierunek wiatru w strefie przybrzeżnej zmienia się w zależności od konfiguracji brzegu i wyniesień znajdujących się w jego pobliżu. Maksymalne prędkości wiatru zimą przekraczają 40 m/s, a latem dochodzą do 20-34 m/s. Średnia liczba dni ze sztormem latem jest niewielka i wyraźnie rośnie zimą. Zdarzają się lata, w których na początku zimy liczba dni sztormowych może sięgać 20-24. W rejonie Cieśniny De Longa przy napływie powietrza z północy, kiedy przechodzi ono nad górzystą Wyspą Wrangla, często rozwija się bora. Jej średnia prędkość wynosi 17-20 m/s, a maksymalna przekracza 40 m/s. Przyczynia się ona do przyspieszenia dryfu lodów i tworzenia przy południowych brzegach Wyspy Wrangla połynii rozciągających się do 5-8 Mm od brzegu (Locija zapadnoj časti Čukotskogo Morja... 1999).

Zmiany cyrkulacji atmosferycznej, zwłaszcza przechodzenie głębokich niżów, wywołują anemobaryczne zmiany poziomu wody. Wielkość tych zmian zależy od konfiguracji brzegu i batymetrii strefy przybrzeżnej. Na otwartych wybrzeżach mórz Wschodniosyberyjskiego i Czukockiego wezbrania sztormowe często przekraczają 2 m, a w ekstremalnych przypadkach mogą dochodzić do 3-4 m (Locija Vostočno-Sibirskiego Morja 1998, Locija zapadnoj časti Čukotskogo Morja... 1999). Tak duże zmiany poziomu wody prowadzą do powstawania okresowo bardzo silnych prądów gradientowych, których kierunek zależy od kierunku przemieszczania danego układu niskiego ciśnienia. W rejonie Cieśniny De Longa przy ruchu niżu z zachodu na wschód tworzy się prąd wschodni, a przy ruchu niżu ze wschodu na zachód – prąd zachodni. W takich sytuacjach prędkość prądów może wzrosnąć z 0,3-0,4 węzła do ponad 2 węzłów (Pavlov i in. 1996, Locija Vostočno-Sibirskiego Morja 1998, Marchenko 2012).

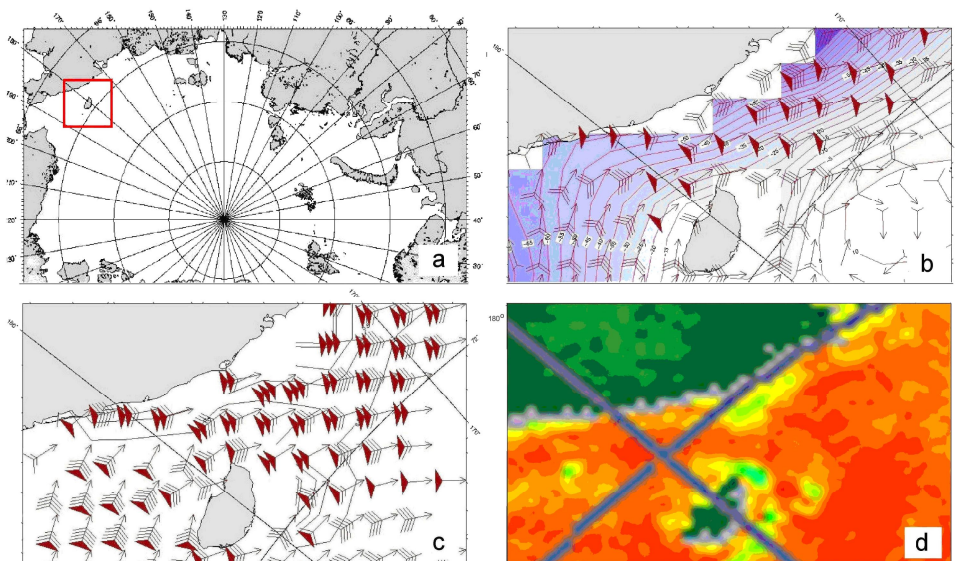
Na większości powierzchni mórz Wschodniosyberyjskiego i Czukockiego dryf pokrywy lodowej pod wpływem pływów jest słabo zauważalny. Na obu morzach występują pływy półdobowe, zatem zmiany prędkości i kierunki dryfu lodów oraz procesy ich zwierania i rozluźniania mają taką samą częstotliwość. Według Locii zapadnoj časti Čukotskogo Morja... (1999) czas trwania zwierania i rozluźnienia lodu wynosi każdorazowo około 2-3 godziny. Do największej prędkości dryfu lodów i szcze-

gólnie silnego ich zwierania dochodzi w okresach syzgyi, którym towarzyszą wiatry z NW, N lub NE dociskające dryfujący lód do brzegu lub lodu stałego. Według cytowanej locji, w celu ustalenia momentu pływowego zwierania lub rozluźnienia należy do momentu kotydalnego dodać lub odjąć 3 godziny. Największe natężenie tych zjawisk występuje w północnej części Cieśniny De Longa przy Wyspie Wrangla. Na pełnym morzu zjawisko zwierania występuje najsilniej w okresie zmiany prądu przyprywu na odpływ.

3. Źródła danych i metody

Okres objęty analizą obejmuje kilkanaście dni od 19 do 30 marca 2012 r. W tym czasie, zgodnie z tygodniowymi mapami lodowymi Morza Wschodniosyberyjskiego i Morza Czukockiego wydawanymi przez National Ice Center Stanów Zjednoczonych powierzchnia obu mórz w ponad 90% pokryta była lodami dryfującymi.

Podstawowe zainteresowanie autorów budzą związki między prędkością wiatru, prędkością prądu morskiego, różnicą poziomów morza, a prędkością dryfu lodu i koncentracją lodów gdyż ich duża zmiana w krótkim zasięgu czasowym i przestrzennym może stanowić duże niebezpieczeństwo dla statków nawigujących w takich warunkach. Z tego względu jako główne źródło danych przyjęto mapy zjawisk hydrologicznych wydawane przez Ice Center, Arctic and Antarctic Research Institut (AARI) w St. Petersburgu dla całego Morza Arktycznego (rycina 1a) w rozdzielczości 55.560 metrów.



Ryc. 1. Fragmenty map z których odczytywano dane hydrologiczne, w tym lodowe na dzień 24.03.2012 r. godz. 00:00: a – generalna mapa AARI Morza Arktycznego z zaznaczonym rejonem badawczym, b – mapa AARI opisująca poziomów morza i średniej dobowej prędkości prądu morskiego, c – mapa AARI koncentracji lodu i chwilowej prędkości dryfu lodu morskiego, d – mapa CERSAT koncentracji lodu morskiego

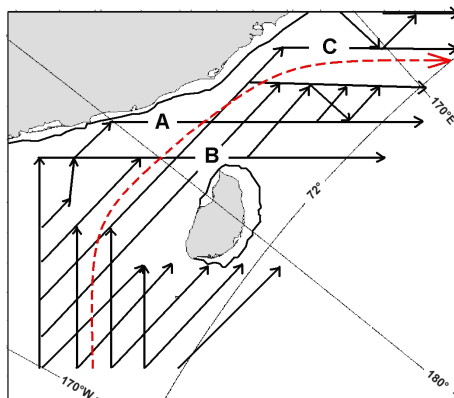
Fig. 1. Fragments of maps of which hydrological data were taken on the day 24 March 2012, the hour 00:00: a – AARI general map of the Arctic Sea with the marked research region, b – AARI map describing the sea level and the average daily sea current rate, c – AARI map with ice concentration and temporary speed of sea ice drift, d – CERSAT map of sea ice concentration.

Informacje dostępne na tych mapach są opracowywane w AARI na podstawie modelu procesu łącznej dynamiki masy wody i lodu. Prognoza obejmuje okres od 00 do 144 godzin ze skokiem co trzy godziny od daty i godziny odniesienia, którą jest 00:00 albo 12:00 czasu moskiewskiego. Mapy uzyskiwane z modelu obliczeniowego są cytowane przez WMO (Sea-ice information ... 2000). Źródłem pozyskania map jest strona <http://ocean8x.aari.nw.ru/index.php?id=600&model=3>. Do badań wykorzystano mapy analiz dla godziny 00:00 takich elementów jak: prędkość i kierunek wiatru, prędkość i kierunek prądu morskiego oraz izolinie poziomu morza (ryc. 1b), a także prędkość i kierunek dryfu lodu (ryc. 1c).

Na mapach opracowywanych przez AARI (ryc. 1c) informacje o zawartości lodów podawane są za pomocą izolinii: 5% (0,5), 10% (1,0), 35% (3,5), 55% (5,5), 85% (8,5). Jest to skala uproszczona w stosunku do zaleceń WMO (WMO colour code standards 2004, WMO sea – ice nomenclature terminology 2004). W takiej sytuacji zdecydowano się na wykorzystanie map koncentracji lodu dla całego Morza Arktycznego opracowywanych przez CERSAT (Centre ERS d'Archivage et de Traitement – French ERS Processing and Archiving Facility). Mapy te charakteryzują się rozdzielczością rzędu 12.500 metrów (Erzaty i in. 2007). Przykład omawianej mapy przedstawiono na rycinie 1d. Na mapach produkowanych przez CERSAT skala zawartości lodów jest ciągła, co umożliwia precyzyjniejsze określenie koncentracji lodu niż to byłoby możliwe w oparciu o rosyjskie mapy AARI. Mapy są opracowane w rzucie biegunowym stereograficznym. Pliki praktycznie nie posiadają siatki współrzędnych geograficznych. Dlatego też odczyty pozycji parametrów dryfu lodu były dokonywane na podstawie proporcji odległości wynikających z wymiarów zidentyfikowanych obiektów geograficznych. Mapy pozyskano ze strony internetowej <http://www.ifremer.fr/cersat/en/data/overview/gridded/psidrift.htm>.

Jako pomocnicze źródło informacji wykorzystano mapy 3-dniowej drogi dryfu lodu dla całego Morza Arktycznego z rzadką siatką współrzędnych geograficznych w formacie PNG i rozdzielczości 62.500 metrów. W celu wyeliminowania pikseli powiązanych z lądem, maski siatki zostały powiększone do dwóch pikseli (25 km) odległości od lądu. W związku z zastosowaniem filtra pogodowego, obszar zaliczany do wolnego od lodu określony jest granicą 15% zawartości lodu. Wektory dryfu lodu mniejsze od jednego piksela (12,5 km) są oznakowywane krzyżem (Erzaty i in. 2007). Mapy te są opracowane w rzucie biegunowym stereograficznym. Pliki praktycznie nie posiadają siatki współrzędnych geograficznych, dlatego też odczyty pozycji parametrów dryfu lodu były dokonywane na podstawie proporcji odległości wynikających z wymiarów zidentyfikowanych obiektów geograficznych. Źródłem pozyskania informacji jest strona <http://www.ifremer.fr/cersat/en/data/overview/gridded/psidrift.htm>.

Zdecydowano się zbadać zależności pomiędzy prędkością wiatru, prędkością prądu, gradientem poziomu morza i prędkością dryfu kry lodowej. Przeglądając mapy w rozkładzie czasowym ustalono rozkład przestrzenny i czasowy najsilniejszego dryfu lodu w badanym okresie. Na tej podstawie określono prawdopodobną drogę największej prędkości dryfu lodu. Następnie wyznaczono trzy punkty referencyjne (ryc. 2). Dwa z nich ustalono po przeciwnych stronach Cieśniny De Longa pomiędzy Wyspą Wrangla i lądem stałym. Trzeci punkt referencyjny leży w pobliżu lądu stałego w zachodniej części podejścia do Cieśniny De Longa gdzie spodziewano się zmiany kierunku głównego nurtu ekstremalnego dryfu lodu odsuwającego się od lądu i poruszającego się w kierunku NW. Dla tak zlokalizowanych punktów referencyjnych odczytano z map AARI prędkość i kierunek wiatru, prędkość prądu morskiego, prędkość dryfu lodu, koncentrację kry lodowej oraz odległość poziomą pomiędzy najbliższymi izoliniami poziomów morza dla odstępów czasowych co 12 godzin. Na podstawie odległości poziomej między najbliższymi punktu referencyjnego izoliniami poziomu morza (standardowo



Ryc. 2. Rejon Cieśniny De Longa i Wyspy Wrangla objęty analizą; czarne strzałki – kierunki najszybszego dryfu lodów, A, B, C – punkty referencyjne, strzałka kreskowa – przewidywana droga najszybszego dryfu lodów

Fig. 2. De Long Strait and Wrangel Island region covered by the analysis: black arrows – directions of the fastest ice drift, A, B, C – reference points, dashed arrow – the estimated route of the fastest ice drift.

opisującymi poziom morza co 5 cm) obliczono gradient poziomu morza w pobliżu punktu referencyjnego. Na podstawie map CERSAT odczytano koncentrację lodu dla punktów referencyjnych.

Dla celów porównawczych dla tych samych punktów referencyjnych i odstępów czasowych co 24 godziny zebrano na podstawie map CERSAT dane dotyczące drogi 3-dniowego dryfu lodu. Mapy koncentracji lodu oraz drogi dryfu lodu opracowywane przez CERSAT odnoszą się do dnia miesiąca bez bliżej sprecyzowanej godziny. W takiej sytuacji przyjęto, że są one opracowywane dla połowy doby czyli godziny 12:00 UTC. Ponieważ odstęp czasowy pomiarów jest dwukrotnie gęściejszy, w przypadku potrzeby ustalenia koncentracji lodu dla czasu 00:00 otrzymywano wyniki poprzez interpolację danych z najbliższej poprzedzającej i najbliższej następującej mapy koncentracji lodu. Wyniki odczytów przedstawiono dla poszczególnych punktów referencyjnych oraz dla największych zaobserwowanych w danym przedziale czasu dróg lodu. Wyniki badań uzupełniono mapą rozkładu czasowego kierunków i dróg 3-dniowego dryfu lodu dla największych wartości w poszczególnych przedziałach czasowych.

Wybrane parametry hydrologiczne powierzchni Morza Arktycznego dla badanego rejonu zestawiono w tabelach w kolejności chronologicznej. Przyjęto dla osi czasu minimalny występujący wśród zebranych źródeł informacji odstęp czasowy wynoszący 12 godzin. Pomiarzy odnoszą się do godziny 00:00 i 12:00 czasu moskiewskiego gdyż dla takiego czasu opracowywane są wszystkie mapy AARI.

4. Wyniki

Punkt referencyjny „A” zlokalizowany jest w Cieśninie De Longa w pobliżu stałego lądu, w miejscu gdzie należałoby się spodziewać największego naporu przemieszczających się mas wody i lodu oraz wystąpienia znacznej zmiany kierunku prądu morskiego i dryfu lodu (ryc. 2). W danych przedstawionych w tabeli 1 daje się zauważyć wyraźną zgodność prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodu w czasie. Można powiedzieć, że wartości poszczególnych prędkości są względem siebie wprost proporcjonalne. Ekstremalne wartości prędkości dryfu lodu trwają w okresie 72 godzin i mieszczą się w przedziale 50-70 cm na sekundę co odpowiada prędkości 0,97-1,36 węzła. Te wartości sprawiają,

że w tym okresie występuje ekstremalny dryf lodu. W tym czasie zmiany prędkości wiatru i prądu morskiego następują w tym samym rytmie, natomiast zmiany koncentracji lodu wykazują zależność odwrotnie proporcjonalną. W okresie analizowanych 72 godzin koncentracja lodu ulega znacznemu obniżeniu, przy czym minimalna wartość koncentracji utrzymuje się na poziomie 75%. Jednocześnie daje się zauważyć, że zmiana koncentracji lodu wyprzedza w czasie zmianę prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodu o 24 godziny, zarówno przy spadkach jak i wzrostach wartości. Koncentracja lodu utrzymuje się przeważnie na poziomie 100% jeżeli prędkość dryfu lodu jest mniejsza od 45 cm na sekundę.

Tabela 1. Parametry hydrologiczne powierzchni Morza Arktycznego w rejonie Wyspy Wrangla (punkt referencyjny A) w okresie od 20 marca godz. 12:00 do 28 marca 2012 r. godz. 12:00

Table 1. Hydrological parameters of the sea surface in the vicinity of Wrangel Island – A reference point in the period from 12:00hrs. on 20 March 2012 to 12:00hrs. on 28 March 2012.

Dzień Day	20	21		22		23		24		25		26		27		28	
H	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12
Slg	28	45	71	56	63	63	63	83	50	50	42	38	36	31	23	23	15
Vw	8	13	13	13	13	18	18	15	10	8	5	8	5	5	5	5	5
Vc	8	18	25	25	25	33	33	33	25	20	18	15	15	13	8	8	5
Vice	23	43	50	50	50	65	75	60	50	50	40	33	25	23	15	15	13
Cice	88	93	88	75	75	75	78	93	93	93	95	98	100	100	100	100	100
Dice	NN	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW

H – godzina – hour, Slg – gradient poziomu morza [100 x cm/Mm] – sea level gradient [100 x cm/NM],

Vw – prędkość wiatru – wind velocity [m/s], Vc – prędkość prądu – sea current velocity [cm/s],

Vice – prędkość dryfu lodu – sea ice drift velocity [cm/s], Cice – koncentracja lodu – ice concentration [%],

Dice – kierunek dryfu lodu – direction of ice drift

Gradient poziomu morza (dalej Slg – sea level gradient) jest wprost proporcjonalny do prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodu. Nie zauważa się przesunięcia czasowego pomiędzy tymi zjawiskami. Przy tym gwałtownemu spadkowi Slg towarzyszy zgodny w czasie największy spadek koncentracji lodu. Pomijając chwilowe odstępstwa można przyjąć, że po znacznym zwiększeniu się Slg pod wpływem prędkości wiatru i prądu morskiego, wartość Slg stabilizuje się na poziomie średnio 0,67 cm na Milę morską. Dodatkowo daje się zauważyć spadek albo zmniejszenie tempa wzrostu gradient poziomu morza, prędkość prądu morskiego i dryfu lodu po zmniejszeniu się albo zatrzymaniu wzrostu wartości prędkości wiatru. Gwałtowny spadek tych wielkości następuje po zmianie kierunku wiatru o 45°.

Punkt referencyjny „B” zlokalizowany jest w Cieśninie De Longa w pobliżu Wyspy Wrangla (ryc. 2). W tym punkcie należałoby się spodziewać mniejszego niż po stronie lądu stałego naporu lodu oraz wystąpienia znacznej zmiany kierunku prądu morskiego i dryfu lodu. Dane zamieszczone w tabeli 2 wskazują na podobny jak w punkcie A rytm zmian analizowanych parametrów. Różnice sprowadzają się do nieco dłuższego, bo liczącego 90 godzin, okresu intensywnego dryfu lodu, w czasie którego prędkość dryfu osiągała 50-65 cm na sekundę, co odpowiada prędkości 0,97-1,26 węzła oraz mniejszego spadku koncentracji lodu – do 88%. Inną różnicą między punktami A i B jest to, że spadek zawartości lodu nie wyprzedza w czasie wzrostu prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodu.

Tabela 2. Parametry hydrologiczne powierzchni Morza Arktycznego w rejonie Wyspy Wrangla (punkt referencyjny B) w okresie od 20 marca godz. 12:00 do 28 marca 2012 r. godz. 12:00

Table 2. Hydrological parameters of the sea surface in the vicinity of Wrangel Island – B reference point in the period from 12:00hrs. on 20 March 2012 to 12.00hrs. on 28 March 2012.

Dzień Day	20		21		22		23		24		25		26		27		28		
H	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12
Slg	33	50	50	71	63	71	71	71	63	50	38	42	36	31	23	21	15		
Vw	10	15	18	15	15	18	13	13	10	8	5	5	3	3	3	1	1		
Vc	5	15	25	25	25	25	30	33	25	23	18	18	15	13	8	8	5		
Vice	23	43	50	50	50	60	63	65	50	58	45	35	30	25	20	15	10		
Cice	100	90	95	88	88	88	90	95	95	95	100	100	100	100	100	100	100		
Dice	NNW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW		

H – godzina – hour, Slg – gradient poziomu morza [100 x cm/Mm] – sea level gradient [100 x cm/NM],
 Vw – prędkość wiatru – wind velocity [m/s], Vc – prędkość prądu – sea current velocity [cm/s],
 Vice – prędkość dryfu lodu – sea ice drif velocity [cm/s], Cice – koncentracja lodu – ice concentration [%],
 Dice – kierunek dryfu lodu – direction of ice drift

W punkcie referencyjnym „C” zlokalizowanym w pobliżu stałego lądu w znacznym oddaleniu od Cieśniny de Longa (ryc. 2) daje się zauważyć dalsze wydłużenie okresu intensywnego dryfu lodu (do 144 godzin) i ponowny wzrost prędkości jego dryfu (50-80 cm na sekundę, to jest 0,97-1,56 węzła). Wiązać to można z tym, że w punkcie „C” przez pierwsze dwie doby trwania intensywnego dryfu lodów prędkość wiatru jest większa niż w punktach „A” i „B” oraz z tym, że poczynając od 4 doby analizowanego okresu w punkcie „C” występuje bardzo duży gradient poziomu morza (tab. 3). Zmiany Slg są wprost proporcjonalne do zmian prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodu. Pomijając chwilowe odstępstwa można przyjąć, że po znacznym zwiększeniu się Slg pod wpływem prędkości wiatru, prądu morskiego i lodu wartość gradientu stabilizuje się na poziomie średnio 0,94 cm na milę morską.

Tabela 3. Parametry hydrologiczne powierzchni Morza Arktycznego w rejonie Wyspy Wrangla (punkt referencyjny C) w okresie od 20 marca godz. 12:00 do 28 marca 2012 r. godz. 12:00

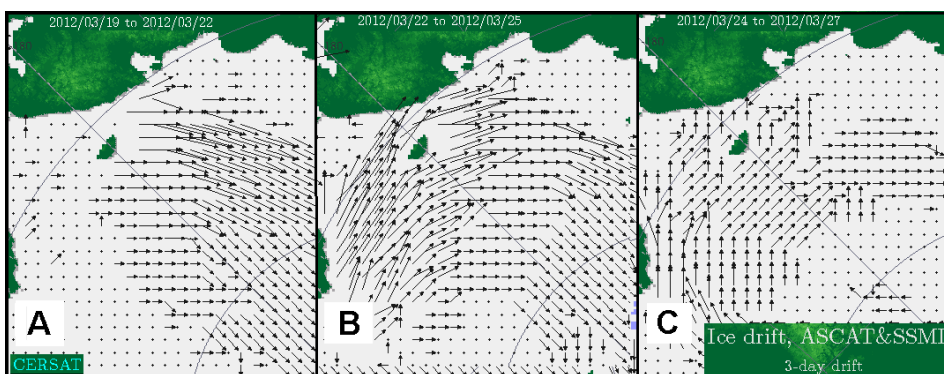
Table 3. Hydrological parameters of the sea surface in the vicinity of Wrangel Island – C reference point in the period from 12:00hrs. on 20 March 2012 to 12.00hrs. on 28 March 2012.

Dzień Day	20		21		22		23		24		25		26		27		28		
H	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12
Slg	33	50	63	71	63	63	83	125	100	83	100	83	83	63	38	25	16		
Vw	10	18	18	18	15	15	15	15	13	10	10	8	8	8	5	1	1		
Vc	3	20	25	25	25	25	38	45	25	38	35	33	30	25	15	8	3		
Vice	25	50	60	60	55	50	73	80	58	75	63	63	60	50	43	25	10		
Cice	95	95	95	78	78	85	90	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100		
Dice	NNW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW		

H – godzina – hour, Slg – gradient poziomu morza [100 x cm/Mm] – sea level gradient [100 x cm/NM],
 Vw – prędkość wiatru – wind velocity [m/s], Vc – prędkość prądu – sea current velocity [cm/s],
 Vice – prędkość dryfu lodu – sea ice drif velocity [cm/s], Cice – koncentracja lodu – ice concentration [%],
 Dice – kierunek dryfu lodu – direction of ice drift

W punkcie referencyjnym „C” w analizowanym okresie spadek koncentracji lodu jest opóźniony w czasie względem zmiany prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodu o 24 godziny ale jej wzrost wyprzedza w czasie spadek prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodu o 12 godzin. Koncentracja lodu utrzymuje się przeważnie na poziomie 95-100% jeżeli prędkość dryfu lodu jest mniejsza od 50-63 cm na sekundę.

W celu weryfikacji wyników analiz map zjawisk hydrologicznych wydawane przez Ice Center, Arctic and Antarctic Research Institut dla całego Morza Arktycznego (ryc. 1) w rozdzielczości 55.560 metrów i oszacowanych na ich podstawie prędkości i kierunku dryfu lodu przedstawionych w tabelach 1-3 przeprowadzono dla wybranych punktów referencyjnych „A”, „B” i „C” analizę uśrednionej 3-dniowej drogi dryfu lodu za pomocą map CERSAT (ryc. 3, tab. 4 i 5).



Ryc. 3. Wektory 3-dniowego dryfu lodu w rejonie Wyspy Wrangla i w Cieśninie de Longa dla: a – fazy początkowej, b – fazy pełnego rozwoju, c - fazy końcowej ekstremalnego dryfu lodu. Opracowane na podstawie map CERSAT

Fig. 3. Vectors of a 3-day ice drift in the region of Wrangel Island for: a – the initial phase, b – the full development phase, c – the final phase of extreme ice drift, worked out on the basis of CERSAT maps.

Tabela 4. Parametry 3-dniowego dryfu lodu na powierzchni Morza Arktycznego w rejonie Wyspy Wrangla w punktach referencyjnych A, B i C w okresie 19-29 marca 2012 r. Opracowanie na podstawie map CERSAT

Table 4. Parameters of a 3-day ice drift in the region of Wrangel Island (A, B and C reference points) worked out on the basis of CERSAT maps in the period 19-29 March 2012.

Okres czasu [dni] – Time [days] Środkowy dzień – Day center	19-22 21	20-23 22	21-24 23	22-25 24	23-26 25	24-27 26	25-28 27	26-29 28	27-30 29
Punkt „A” – Point „A”									
Dryf lodu [Mm/3 doby] – Ice drift [NM/3 day]	0	0	46	63	59	14	14	0	0
Średni dryf lodu – Ice drift [cm/s]	0	0	33	45	42	10	10	0	0
Kierunek dryfu lodu – Direction of ice drift			WSW	WSW	W	SW	NW		
Punkt „B” – Point „B”									
Dryf lodu [Mm/3 doby] – Ice drift [NM/3 day]	0	0	41	61	54	19	0	0	0
Średni dryf lodu – Ice drift [cm/s]	0	0	29	44	39	14	0	0	0
Kierunek dryfu lodu – Direction of ice drift			WSW	WSW	W	W			
Punkt „B” – Point „B”									
Dryf lodu [Mm/3 doby] – Ice drift [NM/3 day]	40	62	79	40	18	12	0	0	
Średni dryf lodu – Ice drift [cm/s]	29	44	56	29	13	9	0	0	0
Kierunek dryfu lodu – Direction of ice drift	NNW	NW	NW	NW	W	NW			

Tabela 5. Największe wartości parametrów 3-dniowego dryfu lodu w rejonie Wyspy Wrangla (niezależne od punktów referencyjnych) w okresie 19-29 marca 2012 r. Opracowanie na podstawie map CERSAT

Table 5. The highest values of the 3-day ice drift in the vicinity of Wrangel Island (independent of the reference points) worked out on the basis of CERSAT maps in the period 19-29 March 2012.

Okres czasu [dni] – Time [days]	19-22	20-23	21-24	22-25	23-26	24-27	25-28	26-29	27-30
Środkowy dzień – Day center	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Dryf lodu [Mm/3 doby] – Ice drift [NM/3 day]	50	62	74	79	59	19	14	19	13
Średni dryf lodu – Ice drift [cm/s]	36	44	53	56	42	14	10	14	9
Kierunek dryfu lodu – Direction of ice drift	NW	NW	WNW	WNW	W	E / W	NW	E	SW

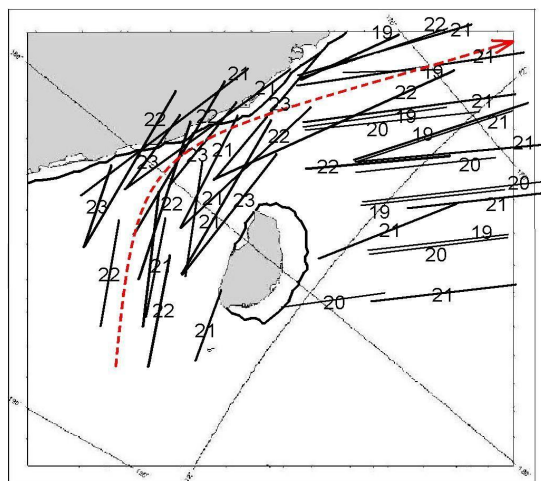
Porównanie wyników analiz map wydawanych przez AARI (tab. 1-3) i CERSAT (tab. 4-5) wskazuje na ich duże podobieństwo. Analiza danych odczytanych z map wydawanych przez CERSAT potwierdza zarówno dużą zbieżność zmian prędkości dryfu lodów w punktach referencyjnych A i B zlokalizowanych w Cieśninie De Longa jak i wzrost prędkości dryfu lodów w punkcie C z wyprzedzeniem czasowym względem punktów A i B wynoszącym 48 godzin. Z kolei spadek wartości drogi dryfu (prędkości) lodu w punkcie C następuje z wyprzedzeniem 24-godzinnym względem punktów A i B.

Średnia 3-dniowa prędkość dryfu lodu dla punktów A, B i C oszacowana na podstawie map wydawanych przez CERSAT wyniosła 28 cm/s, czyli 0,54 węzła, a wartości maksymalne osiągały 45 cm/s w punktach A i B oraz 56 cm/s w punkcie C (tab. 4). Wartości te odpowiadają prędkościom 0,87 i 1,09 węzła. Powyższe wyniki potwierdzają, że w badanym rejonie w tym czasie wystąpiło zjawisko ekstremalnego dryfu lodu, a czas trwania tego zjawiska wynosił 64 godziny.

Mapa rozkładu najdłuższych wektorów 3-dniowego dryfu lodów odczytanych w poszczególnych dniach badanego okresu z map CERSAT (ryc. 4) wskazuje, że największe wartości dryfu występowały najpierw po stronie zawietrznej Cieśniny De Longa i z biegiem czasu przesunęły się w kierunku lokalizacji nawietrznych. Największe wartości dryfu lodu najpierw wystąpiły w punkcie C, a po 48 godzinach w punktach A i B. Przypomina to jakby zawietrzna strona cieśniny „zasysała” lód z nawietrznej strony cieśniny. Porównując końcowe punkty drogi 3-dniowego dryfu lodu (ryciny 3B i 4) daje się zauważyć, że droga maksymalnego potoku lodu przebiega w Cieśninie De Longa tuż przy krawędzi lądu stałego i lodu stałego (przylepy), zaś kierunek dryfu lodu prowadzi wprost na brzeg. Należy spodziewać się,

Ryc. 4. Wektory dryfu 3-dniowego o największej wartości: czarne kreski – długość wektora 3-dniowego, cyfry – dzień miesiąca początku wektora dryfu, czerwona linia kreskowa – przybliżona droga najszybszego dryfu lodów

Fig. 4. Vectors of the 3-day drift of the highest value: black lines – the length of the 3-day vector, the numbers – the day of the month beginning the vector of drift, red dashed line – approximate route of the fastest ice drift.



że w tej lokalizacji przy występowaniu zaobserwowanych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych zachodzi groźba katastrofalnych skutków szybkiego dryfu lodów dla żeglugi w postaci zniesienia statków i lodołamaczy tam przebywających na mielizny, skały i brzeg morski.

Mapy 3-dniowego dryfu lodów opracowywane przez CERSAT pozwalają na dokładniejsze wskazanie drogi i przebiegu „koryta” ekstremalnego dryfu lodu i ustalenie jego wymiarów przestrzennych. Oszacowane w kolejnych dniach analizowanego okresu długości i szerokości „koryta” intensywnego dryfu lodu przedstawia tabela 6.

Tabela 6. Wymiary poziome „koryta” intensywnego dryfu lodu w rejonie Wyspy Wrangla i Cieśniny De Longa w dniach 18-31 marca 2012 r. Opracowanie na podstawie map CERSAT (<http://cersat.ifremer.fr>)

Table 6. Horizontal dimensions of "trough" of intensive ice drift in the region of Wrangel Island and the Strait of De Long in days 18-31 March 2012. Own compilation based on CERSAT maps (<http://cersat.ifremer.fr>).

Okres czasu [dni] – Time [days]	19-22	20-23	21-24	22-25	23-26
Długość „koryta” [Mm] – Length of the trough [NM]	100	140	580	350	260
Szerokość „koryta” [Mm] – Width of the trough [NM]	100	180	30-60	40-110	60-90

Oszacowana długość koryta wahała się od 100 Mm w początkowym okresie funkcjonowania „rzeki lodów” do maksymalnie 580 Mm, zaś jej szerokość od 30 do 180 Mm. Z porównania tabel 5 i 6 wynika, że w dniach 21-24 marca i 22-25 marca 2012 r. prędkości dryfu lodów oraz długość koryta „rzeki lodów” są największe, a szerokość koryta rzeki najmniejsza. W tym przypadku można więc przyjąć, że długość „koryta” rzeki lodów jest wprost proporcjonalna do prędkości dryfu lodu, czyli im większa długość „koryta” tym mniejsza jego szerokość. Natomiast szerokość „koryta” jest odwrotnie proporcjonalna do prędkości dryfu tego lodu, czyli im szybszy dryf lodu, tym węższe koryto.

5. Dyskusja wyników i wnioski

W trzeciej dekadzie marca 2012 roku nad morzami Czukockim i Beauforta rozpościerał się układ wysokiego ciśnienia, którego centrum w dniach 22 i 23 marca znajdowało się nieco na NE od Wyspy Wrangla. Początkowo wyż ten był dobrze rozwinięty, ciśnienie w centrum przekraczało 1035 hPa, a później, w miarę upływu czasu słabnął, tak, że 30 marca ciśnienie w centrum obniżyło się do 1015 hPa. Wiatr związany z tym układem w rejonie Wyspy Wrangla i Cieśniny De Longa miał kierunek wschodni. Odczytana z map analiz warunków meteorologicznych i hydrologicznych opracowywanych przez AARI prędkość wiatru wahała się od 13-18 m/s na początku do około 1-5 m/s pod koniec badanego okresu. Choć powierzchnia obu mórz była w ponad 90% pokryta była lodami dryfującymi, to silny wiatr doprowadził w rejonie Wyspy Wrangla i Cieśniny De Longa do znacznego przyspieszenia dryfu lodów i wystąpienia zjawiska określanego mianem „rzeki lodów”.

Na podstawie analizy zmian prędkości wiatru, prądu i dryfu lodów oraz gradientu poziomu morza i koncentracji lodów w czasie stwierdzono, że zjawisko ekstremalnego dryfu lodów w rejonie Wyspy Wrangla przebiegało dwufazowo. W początkowej fazie, wraz ze wzrostem prędkości wiatru, prądu morskiego i dryfu lodów oraz wzrostem wartości gradientu poziomu morza, coraz większa ilość kry lodowej przemieszczała się w kierunku zachodnim. W rezultacie najsilniejszy dryf lodu miał miejsce w zachodniej części Cieśniny De Longa, zaś najmniejszy lub jego brak w części wschodniej. Powodowało to ubytek masy lodów w centrum Cieśniny De Longa, który objawiał się w obniżeniu koncentracji kry lodowej. W miarę upływu czasu rejon najszybszego dryfu lodu o generalnym kierunku zachodnim

przesuwał się z zachodu do centrum i dalej na wschód. W efekcie, mimo dalszego wzrostu gradientu poziomu morza, w środkowej części Cieśniny De Longa najpierw doszło do zaniku odpływu kry lodowej w kierunku zachodnim, a następnie rozpoczął się szybki napływ kry lodowej ze wschodu. Siłą rzeczy spowodowało to ponowny znaczny wzrost koncentracji lodu w obrębie Cieśniny De Longa.

W omawianym przypadku intensywnego dryfu lodów długość „koryta” rzeki lodów wahała się od 100 do 580 Mm zaś jego szerokość od 30 do 180 Mm. Zauważono, że długość „koryta” rzeki lodu była wprost proporcjonalna, a szerokość „koryta” odwrotnie proporcjonalna do prędkości dryfu tego lodu, przy czym im większa była długość „koryta” tym mniejsza była jego szerokość.

Ekstremalne wartości prędkości dryfu lodów w omawianym przypadku mieszczą się w przedziale 50-80 cm/s co odpowiada prędkości 0,97-1,56 węzła i trwają przez 64 godziny. W rejonie Cieśniny De Longa droga maksymalnego potoku lodu przebiega tuż przy krawędzi lądu stałego oraz/lub lodu stałego (przylepy). Kierunek tego dryfu lodu prowadzi zatem wprost na brzeg. Taki rozwój sytuacji grozić może katastrofalnymi skutkami dla statku, który znajduje się w obrębie rzeki lodów. Utraci on zdolność manewrową i może być zdrifowany wraz z lodami na przeszkody nawigacyjne tracąc możliwości jakiegokolwiek przeciwdziałania takiemu dryfowi. Niezależnie od powyższego długotrwały napór lodów na burty statku może doprowadzić do uszkodzenia kadłuba i urządzeń sterowych co w tym ostatnim przypadku będzie skutkowało utratą zdolności manewrowych statku.

W takiej sytuacji pierwszoplanowym zagadnieniem staje się możliwość uzyskania (odbioru na statku) wiarygodnych, bieżących danych hydrologiczno-meteorologicznych o odpowiedniej rozdzielczości przestrzennej i czasowej. W rejonie Wyspy Wrangla są to praktycznie materiały opracowywane przez AARI i CERSAT. W analizowanym przypadku stwierdzono, że jednym z utrudnień pozyskania prawidłowych parametrów był praktycznie brak możliwości odczytu współrzędnych geograficznych. Kolejnym utrudnieniem było przesunięcie czasowe map AARI względem UTC oraz bliżej niesprecyzowany moment, dla którego opracowywane są mapy CERSAT. Odstęp czasu między publikowaniem map CERSAT wynosił 24 godziny zaś map AARI – 12 godzin. Wymuszało to przeprowadzenie interpolacji wyników dla brakujących momentów czasu.

Analiza wykazała, że w Cieśninie De Longa intensywny dryf lodów występował tuż przy wybrzeżu kontynentalnym, a jego granice podlegały dużym zmianom. W świetle przeprowadzonych badań można stwierdzić, że obecna rozdzielczość dostępnych map elementów hydrologicznych nie pozwala w rejonie Wyspy Wrangla na precyzyjne, z punktu widzenia nawigacji (kilka-kilkanaście mil morskich), określenie miejsca i momentu (do 3 godzin) wystąpienia „rzeki lodów”.

Literatura

- Benzeman V.Yu., 1989. Ledovye reki arktičeskikh morej. Trudy Arktičeskogo i Antarktičeskogo Naučno-Issledowatel'skogo Instituta, tom 417: 91-98.
- Benzeman V.Yu., 2008. Gidrofizičeskie parametry „ledovykh rek” (IJ) i struktura potoka. Problemy Arktiki i Antarktiki, tom 80, nr 3: 149-155.
- Erzaty R., Girard-Arduin F., Croize-Fillon D., 2007. Sea ice drift in the central arctic using the 89 GHz brightness temperatures of the advanced microwave scanning radiometer, Users manual. Laboratoire d'Océanographie Spatiale Département d'Océanographie Physique et Spatiale, IFREMER: 20 s.
- Johannessen O.M., Alexandrov V.Yu., Frolov I.Ye., Sandven S., Pettersson L.H., Boby-lev L.P., Kloster K., Smirnov V.G., Mironov E.U. Babich N., 2007. Remote Sensing of Sea ice in the Northern Sea Route: Studies and Applications. Praxis Springer: 512 s.

- Kupetskiy V.N., 1983. Ledovye reki vysokikh szirok. Magadanskaya Pravda, 7 avgusta 1983 g. (www.polarpost.ru/Library/Kupetskiy/text-reki.html)
- Kuznecov I.M., Mironov E.U., 1986. K povrosu izučeniya anomal'no bol'sikh skorostej Dreja l'da v arktičeskikh morjakh. Meteorologija i Gidrologija, No 1: 70-74.
- Locija Vostočno-Sibirskogo Morja, 1998. Glavnoe Upravlenie Navigacii i Oceanografii Ministerstwa Oborony Rossijskoj Federacii, Nr 1119, poprawione do 05.02.2011: 208 s.
- Locija zapadnoj časti Čukotskogo Morja, Beringovo Proliva i Severo-Zapadnoj časti Beringovo Morja, 1999. Glavnoe Upravlenie Navigacii i Oceanografii Ministerstwa Oborony Rossijskoj Federacii, nr 1120, poprawione do 30.04.2011: 240 s.
- Marchenko N., 2011. Dangerous ice conditions and accidents in Russian Arctic. Proceedings of the 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions July 10-14, 2011, Montréal, Canada, POAC11: 667-676.
- Marchenko N., 2012. Russian Arctic Seas. Navigational conditions and accidents. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg: 293 s.
- Marchenko N., 2013. Navigation in the Russian Arctic: Sea Ice Caused Difficulties and Accidents. ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Volume 6: Polar and Arctic Sciences and Technology; Offshore Geotechnics; Petroleum Technology Symposium, Nantes, France, June 9–14, 2013, Paper No. OMAE2013-10546, V006T07A011.
- Mironov E.U. (red.), 2010. Opasnye ledovye javlenija dlja sudochodstva v Arktike. AANII, St. Petersburg: 320 s.
- Pavlov V.K., Timokhov LA., Baskakov G.A., Kulakov M.Yu., Kurazhov V.K., Pavlov P.V., Pivovarov S.V., Stanovoy V.V., 1996. Hydrometeorological Regime of the Kara, Laptev, and East-Siberian Seas. Technical Memorandum, Applied Physics Laboratory University of Washington: 185 s.
- Sea-ice information services in the world, 2000. WMO No. 574, Geneva: 75 s.
- Spravočnik po ledovym uslovijam plavanija na trasach Severnogo Morskogo Puti. 2011 (www.aari.ru/projects/ecimo), 2011.05.10.
- Spravočnik po opasnym gidrometeorologičeskim i ledovym javlenjam na trasach Severnogo Morskogo Puti, 2011 (www.aari.ru/projects/ecimo), 2011.09.29.
- WMO colour code standards. WMO/TD-No. 1215, 2004, JCOMM Technical Report No. 24: 14 s.
- WMO sea – ice nomenclature terminology. WMO/OMM/BMO - No.259, Volume 1, Edition 1970 – 2004: 7 s.

Wpłynęło: 15 października 2013 r., poprawiono: 16 grudnia 2013 r., zaakceptowano: 22 grudnia 2013 r.

Summary

The work discusses the hydro-meteorological phenomena associated with intense ice drift in the vicinity of Wrangel Island in the days of 19-30 March 2012. The results of the study of the correlations between hydrological and meteorological parameters showed strong relationship among the wind speed, sea current rate, speed of ice drift and gradient of sea level. The observed length of the "bed" of ice jet ranges from 100 to 580NM and its width from 30 to 180NM. It can be assumed that the length of the "bed" of ice jet is directly proportional to the speed of the ice drift and the width of the "bed" is inversely proportional to the speed of the ice drift.

Key words: sea-ice drift, ice jet, Northern Sea Route, divergence of ice, ice cover changes.