

ZMIENNOŚĆ SEZONU „BEZŁODOWEGO” NA PÓŁNOCNEJ DRODZE MORSKIEJ

VARIATION OF THE “ICE-FREE” SEASON ON THE NORTHERN SEA ROUTE

Tadeusz Pastusiak

Katedra Nawigacji, Wydział Nawigacyjny Akademii Morskiej w Gdyni
ul. Jana Pawła II 3, 81-345 Gdynia
tadeusz.pastusiak@wp.pl

Zarys treści. Praca omawia zmiany liczby dni bez lodu na morzach Arktyki Rosyjskiej w latach 1979-2014. Dla lat 1979-2008 podstawą opracowania są wyniki analiz Rodriguesa (2009). Dla lat 2008-2014 liczbę dni bez lodu wyznaczono na podstawie codziennych map wydawanych przez National Ice Center (format ERSI Shape). Stwierdzono, że początek szybszego wydłużania się okresu żeglugi bezlodowej na Północnej Drodze Morskiej (PDM) przypada na rok 1996, z zauważalnym przyspieszeniem tendencji zmian dla większości mórz po roku 2000. W ostatnich 7 latach (2008-2014) największe zmiany liczby dni bez lodu występowały na morzach Barentsa i Karskim. Tendencja szybkiego wzrostu liczby dni bez lodu po zachodniej stronie PDM wskazuje, że dalszy rozwój żeglugi w tej części PDM nie powinien napotykać przeszkód. Najwolniej liczba dni bez lodu zmienia się w środkowej części PDM – na morzach Łaptiewów i Wschodniosyberyjskim.

Słowa kluczowe: liczba dni bezlodowych, zmiany pokrywy lodowej, Północna Droga Morska.

1. Wprowadzenie

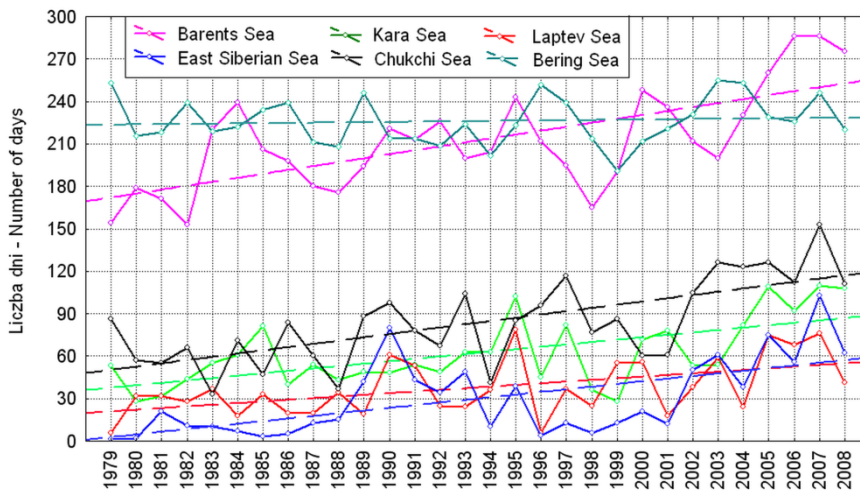
Przez morza Arktyki Rosyjskiej przebiega szlak żeglugowy łączący Europę z Pacyfikiem nazywany Północną Drogą Morską (PDM). Morza te co roku całkowicie zamarzają. Obserwacje pokrywy lodowej w Arktyce prowadzone przez wielu badaczy wykazały, że zarówno w ciągu roku, jak i z roku na rok, zmienia się czas i zasięg występowania lodów, ich grubość czy koncentracja. Liczba dni w roku, w czasie których warunki lodowe pozwalają prowadzić na danym akwenie żeglugę określa tzw. sezon nawigacyjny. Generalnie pod tym pojęciem rozumie się liczbę dni, w których koncentracja kry lodowej na danym obszarze jest niższa od 50% (Liu i Kronbak 2010, Eger 2012). Oznacza to, że nie mniej niż 50% powierzchni morza stanowi „czysta” woda, wolna od lodów, na której statek może utrzymać swoją prędkość eksploatacyjną, a na pozostałej powierzchni morza, ze względu na konieczność manewrowania w lodach o większej koncentracji, statek musi zmniejszyć swoją prędkość i często wydłużyć drogę w związku z koniecznością obchodzenia skupień lodu (Arikajnen 1990, MANICE 2005, Kjerstad 2011). W takich warunkach lodowych bezpiecznie poruszać się mogą statki przystosowane do żeglugi w lodach, czyli statki posiadające odpowiednią klasę lodową. Statek bez specjalnych wzmocnień przeciwlodowych kadłuba może dany akwen przepłynąć swoją pełną prędkością eksploatacyjną z zachowaniem wymogów bezpieczeństwa żeglugi jedynie wtedy, gdy lód dryfujący pokrywa powierzchnię wody w niewielkim stopniu.

W ogólnej klasyfikacji stopnia zlodzenia stosowanej w nawigacji (patrz m.in. MANICE 2005) wyróżnia się klasę „open water”, którą określa się wody o pokryciu lodem od 0 do 1/10 lub 1/8 (10-12,5%). Ponieważ współcześnie błąd oszacowania koncentracji kry lodowej na podstawie źródeł satelitarnych za pomocą metody Bootstrap z danych SMMR i SSM/I oceniany jest na 5-10%, to jako granicę pokrywy lodowej przyjmuje się poziom 15% koncentracji lodu (Rodrigues 2009). Morze wolne od lodu („open water”) oznacza występowanie pokrywy lodowej o koncentracji nie wyższej niż 15% (MANICE 2005). Dni z występowaniem w określonym rejonie koncentracji kry lodowej niższej od 15% wyznaczają okres żeglugi „bezlodowej” (Rodrigues 2006, 2008, 2009; NSIDC 2008). Początek sezonu bezlodowego „ice free” wymaga występowania w danym miejscu pięciu kolejnych dni o koncentracji mniejszej niż 15%. Koniec żeglugi bezlodowej w danym miejscu wymaga wystąpienia pięciu kolejnych dni z koncentracją lodu większą niż 15% (<http://nsidc.org/arcticseaicenews/faq/>, 2008, Rodrigues 2009).

Dla lat 1979-2008 zmiany liczby dni bez lodu na poszczególnych morzach, przez które przebiega Północna Droga Morska opracował Rodrigues (2006, 2008, 2009). Podstawą jego badań były analizy dobowej koncentracji kry lodowej na podstawie źródeł satelitarnych SMMR, SSM/I i AMSR-E pochodzące z NASA i National Snow and Ice Data Center. Przy ustalaniu liczby dni wolnych od lodu dla każdego z 23 rejonów badawczych wydzielonych dla Arktyki Rosyjskiej Rodrigues założył, że warunki żeglugi „bezlodowej” są spełnione gdy stan koncentracji lodu był poniżej 15%. Istotną rolę w obliczeniach liczby dni bezlodowych było ustalanie dnia zmiany warunków lodowych. Rodrigues przyjął, że dla zmiany warunków lodowych na bezlodowe i na odwrót wymagane było wystąpienie danych warunków przez kolejne pięć dni. Piąty dzień potwierdzał zmianę stanu („bezlodowego” lub lodowego). Do czasu stwierdzenia zmiany stanu, liczono dni według uprzednio potwierdzonych warunków żeglugi. Dzięki tej metodzie Rodrigues eliminował krótkotrwałe zmiany koncentracji lodu nieodgrywające istotnej roli dla warunków uprawiania żeglugi.

Z analizy przebiegu liczby dni wolnych od lodu opracowanych na bazie danych Rodriguesa (2006, 2008, 2009) dla poszczególnych mórz, przez które przebiega Północna Droga Morska, wynika (ryc. 1), że głównym ograniczeniem dla statków bez wzmocnień lodowych chcących skorzystać z PDM są warunki lodowe na morzach Łaptiewów i Wschodniosyberyjskim. Czas trwania żeglugi „bezlodowej” na podejściach do PDM – morzach Barentsa i Beringa jest zdecydowanie dłuższy niż na pozostałych rejonach PDM. W latach 1979-2008 na Morzu Barentsa sezon bezlodowy trwał przeciętnie 212 dni w roku (od 153 dni w 1982 r. do 286 dni w 2006 r.), a na Morzu Beringa – 226 dni (od 191 dni w 1999 roku do 255 dni w 2003 r.). W omawianych latach sezon bezlodowy na Morzu Karskim obejmował przeciętnie 62 dni (od 28 dni w 1980 do 110 dni w 2007 r.), na Morzu Łaptiewów – 38 dni (od 6 dni w 1996 r. do 79 dni w 1995 r.), na Morzu Wschodniosyberyjskim – 30 dni (od 1 dnia w 1979 r. do 103 dni w 2007 r.), a na Morzu Czukockim – 84 dni (od 33 dni w 1983 r. do 153 dni w 2007 r.). Przy ocenie możliwości uprawiania żeglugi na Północnej Drodze Morskiej przez statki bez wzmocnień lodowych istotne znaczenie mają nie tylko warunki lodowe lub ich brak na danym morzu, ale również, a może przede wszystkim – liczba dni bezlodowych występujących w głównych cieśninach – przez które prowadzą główne warianty tras PDM. Z analizy Rodriguesa (2009) wynika, że długość sezonu bezlodowego w tych cieśninach charakteryzowała się w latach 1979-2008 dużą zmiennością z roku na rok. Na przykład w cieśninie Karskie Wrota (między morzami Barentsa i Karskim) najkrótsze okresy bezlodowe wystąpiły w latach 1998 (18 dni) i 1999 (26 dni), a najdłuższy w 2008 (219 dni). Z kolei w Cieśninie Szokalskiego (między Morzem Karskim i Łaptiewów) okresy wolne od lodu dłuższe niż 5 dni wystąpiły tylko w roku 1985 i 1995 oraz w latach 2005-2008.

W świetle danych Rodriguesa (2009), w latach 1979-2008 długość sezonu „bezlodowego” na wszystkich morzach, poza Morzem Beringa, wykazywała wzrost i trend ten był wysoce istotny statystycznie. Jednakże na poszczególnych morzach jego wartość nie była taka sama. W tych latach najszybciej liczba dni bez lodu wzrastała na morzach Barentsa (2,8 dnia-rok⁻¹, to jest o 84 dni w ciągu 30 lat) i Czukockim (2,3 dnia-rok⁻¹, to jest o 69 dni w ciągu 30 lat), nieco wolniej na morzach Wschodniosyberyjskim (1,9 dnia-rok⁻¹, to jest o 57 dni w ciągu 30 lat) i Karskim (1,7 dnia-rok⁻¹, to jest o 51 dni w ciągu 30 lat), a najwolniej – na Morzu Łaptiewów (1,2 dnia-rok⁻¹, to jest o 36 dni w ciągu 30 lat).



Ryc. 1. Zmiany liczby dni „bezlodowych” w poszczególnych rejonach Północnej Drogi Morskiej w latach 1979-2008. Źródło danych – Rodrigues (2009)

Fig. 1. Changes in the length of the ice-free season in different regions of Northern Sea Route in the years 1979-2008 on the basis of Rodrigues (2009).

W okresie satelitarnych obserwacji lodów morskich w Arktyce (od listopada 1978 r.) największe zmiany powierzchni lodów w sezonie letnim wystąpiły w ostatnich 8 latach (2007-2014), kiedy to pokrywa lodowa była przeciętnie o ponad 30% mniejsza od tej, jaka występowała w latach 1979-2000. Rekordowe minima wystąpiły w latach 2011 i 2012, kiedy to w sierpniu i wrześniu powierzchnia lodów była niższa od średniej z lat 1979-2000 odpowiednio o 40 i 51% (http://nsidc.org/cryosphere/sotc/sea_ice.html). Największe zmiany powierzchni lodów i ich koncentracji (zwartości) występowały na morzach szelfu syberyjskiego i na północ od Morza Czukockiego (<http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/>). Najtrudniejsze warunki na akwenach, przez które prowadzi PDM panowały w latach 1988, 1998, 2003 i 2004 – kiedy to Cieśnina Wilkického całkowicie wypełniona była lodami wieloletnimi oraz w 2007 roku – kiedy to lody wieloletnie przez cały sezon blokowały wszystkie przejścia z Morza Karskiego na Morze Łaptiewów (Krovotyntsev 2009). W następnych latach takie przypadki nie miały już miejsca (<http://planet.iitp.ru/index1.html>; dostęp: 2014-02-10). Stawia to pytanie jak zmiany powierzchni lodów występujące w ostatnich 7 latach w tej części Arktyki wpłynęły na długość sezonu bezlodowego na morzach Arktyki Rosyjskiej. Celem tej pracy jest określenie liczby dni bezlodowych na poszczególnych morzach, przez które przebiegają warianty tras PDM w latach 2008-2014 i uzupełnienie danych Rodriguesa (2009).

2. Materiały źródłowe i metody

Aby uzupełnić informacje o długości sezonu bezlodowego zawarte w opracowaniu Rodriguesa (2009) o najnowsze dane, z okresu po 2008 roku, przeprowadzono analizę liczby dni „bezlodowych” dla wybranych mórz Arktyki Rosyjskiej, przez które przebiegają różne warianty Północnej Drogi Morskiej. W przeciwieństwie do Rodriguesa nie dzielono tych mórz na części. Przyjęto założenie, że istotny jest tylko fakt, czy trasa prowadząca przez całe dane morze jest wolna od lodu. Należałoby więc spodziewać się, że przyjęte przez autora założenie jest bardziej konsekwentne, niż to ustalone przez Rodriguesa. Badania objęły okres od 2008 do 2014 roku dla mórz Karskiego, Łaptiewów i Wschodniosyberyjskiego oraz okres 2008-2013 dla mórz Barentsa, Czukockiego i Beringa, gdyż dla tych mórz w momencie oddawania pracy (30 października) sezon bezlodowy jeszcze trwał. Analizy dla roku 2008 traktowano jako kontrolne, wykonano je w celu porównania wyników otrzymanych przez autora tej pracy i Rodriguesa (2009).

Do analizy wykorzystano mapy wektorowe koncentracji lodu Mariginal Ice Zone (MIZ) na Morzu Arktycznym w formacie ERSI Shape o dokładności pomiarów większej niż 50 metrów na piksel wydawanych przez National Ice Center. Są one dostępne w Internecie pod adresem http://www.natice.noaa.gov/products/daily_products.html. Skala koncentracji lodu stosowana na tych mapach jest uproszczona względem precyzyjnie określonej przez WMO (2004a i b) i obejmuje: pole CT81 oznaczające koncentrację powyżej 80%, pole CT18 (MIZ) oznaczające koncentrację pomiędzy 15 i 80% oraz pole wody wolnej od lodu czyli koncentrację lodu od zero do 15%. Dzięki koncentracji granicznej 15% rozdzielającej wody złodzone i wody wolne od lodu zachowano spójność z danymi źródłowymi wykorzystywanymi przez Rodriguesa (2009). Przyjęto, że rejon jest wolny od lodu, jeżeli między dowolnymi punktami wejścia i wyjścia z danego rejonu na kierunku ogólnym wschód – zachód można wyznaczyć trasę na wodach wolnych od lodu (o koncentracji poniżej 15%). Przyjęto zgodną z Rodriguesem zasadę, że zmianę warunków lodowych na bezlodowe i na odwrót potwierdza piąty kolejny dzień o tych samych właściwościach. Łącznie wykonano 17 535 pomiarów (ocen stanu złodzenia).

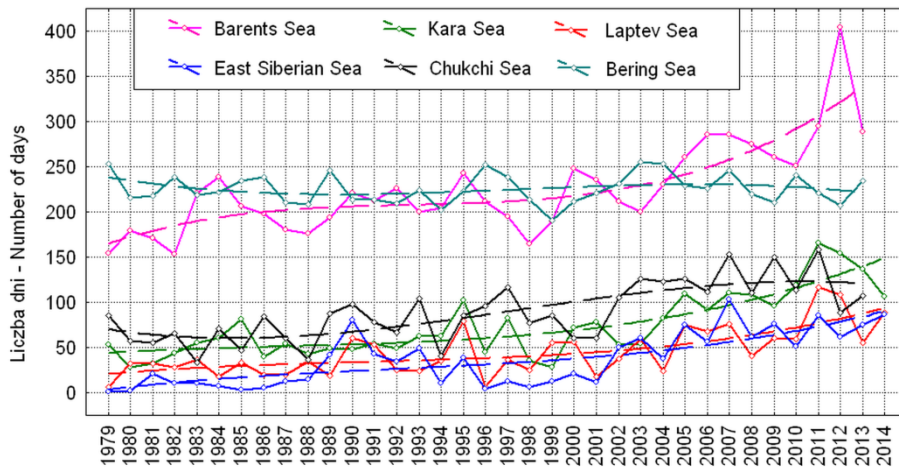
Porównanie wyników autora z analizami Rodriguesa (2009) dla roku 2008 wskazuje, że wyniki autora wykazują niższe wartości o średnio 53 dni (od 21 do 85 dni). Rozbieżność ta może wynikać bądź z odmiennych danych źródłowych lub/i też uwzględniania przez Rodriguesa (2009) jako warunków żeglugi „bezlodowej” przypadków gdy lód występował na niewielkich powierzchniach. Jeżeli lód zajmował nawet niewielkie powierzchnie, ale występował w cieśninach, przez które mogą prowadzić różne warianty PDM, autor uznawał takie przypadki za sytuacje, w których morze nie jest wolne od lodu.

W celu przedstawienia danych otrzymanych przez autora i Rodriguesa (2009) dla wspólnego okresu, liczby dni wolnych od lodu dla poszczególnych lat uzyskane przez autora pracy pomniejszono o wartość różnicy wyników Rodriguesa (2009) i autora otrzymanej dla roku porównawczego – 2008. Aby ocenić jakość otrzymanych obliczeń określono błąd średni i korelację serii danych dla poszczególnych mórz za pomocą programu CurveExpert. Z analizy wynikało, że dużo wyższą pozycję niż aproksymacja liniowa trendu (zastosowana przez Rodriguesa) posiadała aproksymacja danych za pomocą funkcji wielomianowej trzeciego stopnia i to zarówno dla błędu średniego jak i korelacji.

3. Wyniki

Zmiany długości sezonu bezlodowego na morzach Arktyki Rosyjskiej w połączonym ciągu Rodriguesa (2009) i autora, dla lat 1979-2014 przedstawia ryc. 2. Analiza aproksymacji trendów za pomocą

funkcji wielomianowej trzeciego stopnia przedstawionych na ryc. 2 wskazuje, że początek szybszego wydłużania się okresu żeglugi bezlodowej przypada na rok 1996, z zauważalnym przyspieszeniem tendencji zmian dla większości mórz po roku 2000. W ostatnich dziesięciu latach podobne wzrostowe tendencje zmian wykazały liczby dni bez lodu dla mórz Łaptiewów i Wschodniosyberyjskiego. W tym samym okresie dużo większe przyspieszenie wzrostu liczby dni bezlodowych występowało na morzach Barentsa i Karskim. Z kolei na morzach Beringa i Czukockim daje się zauważyć tendencję stabilizacji liczby dni wolnych od lodu po roku 2003, z tendencją spadkową w ostatnich 2-7 latach.



Ryc. 2. Zmiany liczby dni „bezlodowych” w poszczególnych rejonach PDM w latach 1979-2014 z aproksymacją funkcją wielomianową trzeciego stopnia.

Opracowanie na podstawie Rodriguesa (2009) i <http://www.natice.noaa.gov>.

Fig. 2. Changes in the length of the ice-free season in different regions of NSR in the years 1979-2014 with the approximation of a polynomial function of the third degree.

Worked out on the basis of Rodrigues (2009) and <http://www.natice.noaa.gov>.

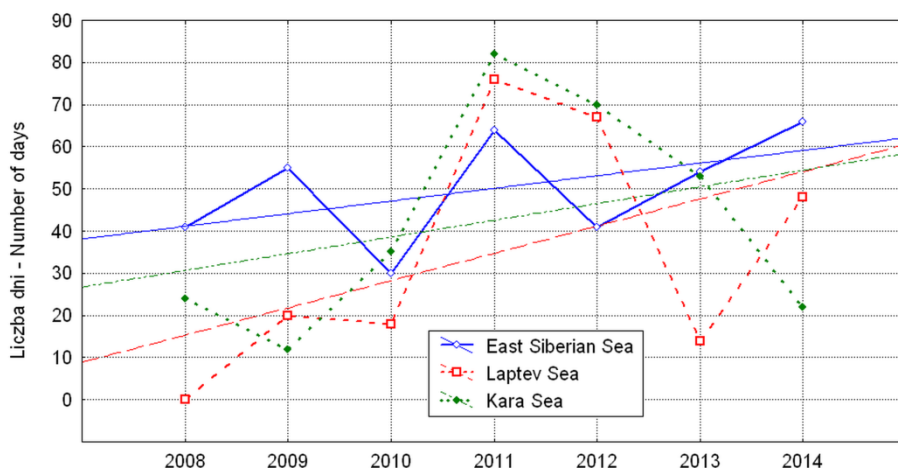
Zmiany liczby dni bez lodu jakie zaszły w ostatnich 5-6 latach spowodowały, że analiza zmienności liczby dni bez lodu dla całego analizowanego okresu 1979-2013/2014 wykazała przyspieszenie wzrostu długości sezonu „bezlodowego” na wszystkich, poza Morzem Czukockim, rozpatrywanych akwenach. Wszystkie trendy, poza Morzem Beringa, były wysoce istotne statystycznie ($p < 0,000$). W wydłużonym o 5-6 lat okresie (z 30 do 35-36 lat) tempo zmian liczby dni bez lodu na Morzu Barentsa wzrosło z $2,8 \text{ dnia-rok}^{-1}$ w okresie 1979-2008 do $3,7 \text{ dnia-rok}^{-1}$ w okresie 1979-2013, to jest o 129 dni w ciągu 35 lat. Ten duży wzrost wynikał z bardzo powolnego rozwoju pokrywy lodowej jaki na tym morzu obserwowany był w latach 2011-2013. Duże przyspieszenie wzrostu liczby dni bez lodu miało miejsce również na Morzu Karskim (z $1,7 \text{ dnia-rok}^{-1}$ w okresie 1978-2008 do $2,6 \text{ dnia-rok}^{-1}$ w okresie 1978-2014). Na Morzu Czukockim niezależnie od długości analizowanego okresu (30 czy 35 lat) tempo wzrostu liczby dni bez lodu było takie samo ($2,3 \text{ dnia-rok}^{-1}$). Zwraca uwagę również bardzo słaby wzrost liczby dni bez lodu na Morzu Wschodniosyberyjskim (z $1,9 \text{ dnia-rok}^{-1}$ w okresie 1978-2008 do $2,1 \text{ dnia-rok}^{-1}$ w okresie 1978-2014).

Istotną z punktu widzenia możliwości wydłużenia się sezonu żeglugowego na PDM wydaje się tendencja szybkiego wzrostu liczby dni bez lodu po zachodniej stronie PDM – na morzach Barentsa

i Karskim (ryc. 2), co pozwala sądzić, że na tych morzach dalszy rozwój żeglugi związanej z polepszeniem się warunków lodowych nie powinien napotykać przeszkód.

Z kolei po wschodniej stronie PDM, na morzach Czukockim i Beringa, trendy zmian liczby dni wolnych od lodu po okresie wzrostu, w ostatnich latach wykazują tendencję malejącą. Wskazuje to, że dalsze polepszanie się warunków lodowych w tej części PDM może stać pod znakiem zapytania, zwłaszcza, że jeżeli rozpatrywać nie linie trendu, ale krzywe zmian rocznych liczb dni wolnych od lodu, to na wszystkich morzach w ostatnich 1-5 latach występują spadki liczby tych dni. Najwolniej zmienia się liczba dni „bezlodowych” w środkowej części PDM – na morzach Łaptiewów i Wschodniosyberyjskim. W tych właśnie miejscach w dalszym ciągu należy oczekiwać największych utrudnień dla żeglugi.

Powyższe oceny dotyczyły względnie długiego okresu (35-36 lat) i należy podkreślić, że zostały uzyskane przez różnych badaczy. Zastosowane metody wcześniejszych pomiarów nie zostały jednoznacznie określone i można z całą stanowczością powiedzieć, że nie były identyczne, a cały czas zmieniała się jakość materiałów źródłowych. Chcąc przeprowadzić bardziej szczegółową ocenę możliwości realizacji podróży „bezlodowej” statku na trasie PDM przeprowadzono osobną analizę tylko danych z lat 2008-2014, uzyskanych metodą autora pracy. W świetle tej analizy rzeczywiste warunki lodowe w sezonie nawigacyjnym na morzach Karskim, Łaptiewów i Wschodniosyberyjskim nie są już tak optymistyczne (ryc. 3), jak te, które wynikają z analizy długich ciągów.



Ryc. 3. Zmiany liczby dni „bezlodowych” na morzach Karskim, Łaptiewów i Wschodniosyberyjskim w latach 2008-2014

Fig. 3. Changes in the length of the ice-free season in the Kara, Laptev and East Siberian Seas in the years 2008-2014.

W okresie 2008-2014 najdłuższe sezony bezlodowe na morzach, przez które przebiega PDM wystąpiły w latach 2011 i 2012 – latach, w których w sierpniu i wrześniu notowano rekordowe minima w rozwoju powierzchni lodów w Arktyce. Przy czym tylko na Morzu Wschodniosyberyjskim obserwuje się nieznaczna, systematyczną tendencję wzrostową liczby dni wolnych od lodu. Na pozostałych morzach w następnych latach długość sezonu bezlodowego wyraźnie się zmniejszyła. Tendencja ta szczególnie wyraźnie zaznaczyła się na morzach zachodniej części PDM. Na Morzu Karskim w ciągu

ostatnich czterech lat długość sezonu bezlodowego zmniejszyła się z 82 dni w 2011 do 22 dni w 2014 roku (ryc. 3). Duże wahania długości sezonu bezlodowego wystąpiły też na Morzu Łaptiewów, na którym w ciągu ostatnich czterech lat liczba dni bez lodu zmniejszyła się z 76 dni w roku 2011 przez tylko 14 dni w roku 2013 do 48 dni w roku 2014. Należy zwrócić uwagę, że w roku 2008 na Morzu Łaptiewów nie było ani jednego dnia wolnego od lodu na całej jego rozciągłości.

4. Wnioski

Choć liczba dni bez lodu obserwowana na morzach Arktyki Rosyjskiej w dłuższym okresie (1979-2014) wyraźnie wzrasta, to w dalszym ciągu warunki lodowe występujące w sezonie nawigacyjnym na Północnej Drodze Morskiej są nieprzewidywalne. Wielkości rocznych odchyłeń liczby dni bezlodowych na poszczególnych morzach od linii trendu (rzędu 20-34 dni) uniemożliwiają wiarygodne prognozowanie, czyli ekstrapolowanie warunków minionych na kolejny sezon nawigacyjny.

Zmiany długości sezonu bezlodowego w krótszym okresie (od 2008 do 2014 roku) wskazują na ponad dwukrotną redukcję liczby dni bez lodu na morzach Karskim i Łaptiewów w roku 2014 w stosunku do roku 2008. Oba te morza należy uznać za „wąskie gardła” dla żeglugi na PDM. Duża zmienność międzyroczna liczby dni sezonu bezlodowego na obu morzach nie pozwala wskazać, które z tych „wąskich gardeł” okażą się danego roku najtrudniejszymi do pokonania, a które najkorzystniejszymi.

Przeprowadzona analiza długookresowej zmienności sezonu bezlodowego doprowadza do podobnych wniosków, jak te, które wyciągnięto po analizie zmian powierzchni lodów (patrz Marsz, Pastusiak i Styszyńska, w tym tomie). Wydaje się, że okres optimum warunków lodowych na Północnej Drodze Morskiej został już w ostatnich latach osiągnięty i w najbliższej przyszłości trzeba się liczyć z tym, iż w środkowej i wschodniej części PDM sezon nawigacyjny dla statków bez wzmocnień lodowych nie będzie się już wydłużać.

Literatura

- Arikajnen A.I., 1990. *Sudokhodstvo vo l'dakh Arktiki*. Transport, Moskva : 247 s.
- Eger K.M., 2012. Natural Conditions of the Arctic Significant for Shipping. CHNL, <http://www.arcticsearch.com> (dostęp: 2012-08-13).
- Kjerstad N., 2011. *Ice Navigation*. Tapir Academic Press, Trondheim: 169 s.
- Krovotyntsev V. 2009. Investigation of the decadal variability of the Arctic multi-year ice using satellite radar data. 10th Meeting of the international ice charting working group. Geneva, October 12–16 2009: 16 s. http://nsidc.org/noaa/iicwg/presentations/IICWG_2009/Krovotyntsev_Decadal_Variability_of_MYI_Using_Satellite_Radar_Data.pdf (dostęp: 2012-02-24).
- Liu M., Kronbak J., 2010. The potential economic viability of using the Northern Sea Route (NSR) as an alternative route between Asia and Europe. Elsevier, *Journal of Transport Geography* 18: 434-444.
- MANICE, 2005. *Manual of Standard Procedures for Observing and Reporting Ice Conditions – MANICE*. Revised Ninth Edition, June 2005: 146 s.
- Marsz A.A., Pastusiak T., Styszyńska A., 2014. Zmiany powierzchni lodów morskich na morzach eurazjatyckiej Arktyki i ich potencjalny wpływ na nawigację na Północnej Drodze Morskiej w drugiej dekadzie XXI wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 24: 65-91.
- NSIDC, 2008. Frequently Asked Questions on Arctic sea ice, Arctic Sea Ice News and Analysis. <http://nsidc.org/arcticseaicenews/faq/> (opublikowane w lipcu 2008, dostęp: 2014-01-05).

- Rodrigues J., 2006. Recent Changes in the Sea Ice Distribution in the Russian Arctic: Ice Extent, Area and Length of the Ice-free Season. [w:] Wadhams P., Amanatidis G. (eds.), International Workshop: Arctic Sea Ice Thickness: Past, Present and Future, Scientific Report. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg: 244-291.
- Rodrigues J., 2008. The rapid decline of the sea ice in the Russian Arctic. *Cold Regions Science and Technology*, 54 (2): 124-142
- Rodrigues J., 2009. The increase in the length of the ice-free season in the Arctic. *Cold Regions Science and Technology* 59 (2009): 78-101.
- WMO, 2004a. WMO colour code standards. WMO/TD-No. 1215, 2004, JCOMM Technical Report No. 24: 14 s.
- WMO, 2004b. WMO sea – ice nomenclature terminology. WMO/OMM/BMO – No.259, Volume 1, Edition 1970-2004: 7 s.

Wpłynęło: 5 listopada 2014 r., poprawiono: 18 grudnia 2014 r., zaakceptowano: 22 grudnia 2014 r.

Summary

The article discusses changes in the number of "ice free" days in the Russian Arctic seas in the years 1979-2014. The elaboration for the years 1979-2008 are the results of analyzes achieved by Rodrigues (2009). For the years 2008-2014 the number of „ice free” days determined from the daily maps published by the National Ice Center (in ERSI Shape format). It was found that the beginning of rapid elongation of the period for "ice free" navigation on Northern Sea Route (NSR) falls on the year 1996, with a noticeable acceleration of change tendency for most of the seas after the year 2000. In the last 7 years (2008-2014), the greatest change in the number of "ice free" days took place in the Barents and Kara Seas. Tendency to a fast increase in the number of "ice free" days on the west side of the NSR indicates that the further development of navigation in this part of the NSR should not encounter difficulties. The slowest changes in the number of "Ice free" days occur in the central part of the NSR – on the Laptev and East Siberian seas.

Key words: ice-free season, changes of ice extent, Northern Sea Route.