

ZMIANY TEMPERATURY POWIETRZA NA MORZACH ARKTYKI ROSYJSKIEJ I ICH KONSEKWENCJE DLA ŻEGLUGI NA PÓŁNOCNEJ DRODZE MORSKIEJ

CHANGES OF AIR TEMPERATURE IN RUSSIAN ARCTIC SEAS AND THEIR IMPLICATIONS FOR SHIPPING IN THE NORTHERN SEA ROUTE

Tadeusz Pastusiak¹, Anna Styszyńska²

¹ – Katedra Nawigacji, Wydział Nawigacyjny Akademii Morskiej w Gdyni
ul. Jana Pawła II 3, 81-345 Gdynia
tadeusz.pastusiak@wp.pl

² – Katedra Urbanistyki i Planowania Regionalnego, Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 11/12 80-233 Gdańsk
astys19@wp.pl

Zarys treści. Praca omawia zmiany średniej miesięcznej temperatury powietrza na morzach Arktyki Rosyjskiej w latach 1988-2013. Wartości średnie wieloletnie z tego okresu porównano z danymi podawanymi w locjach rosyjskich dla okresu 1936-1987. Stwierdzono, że w badanym okresie na wszystkich badanych stacjach doszło do wzrostu temperatury powietrza. Największy wzrost miał miejsce w sezonie chłodnym (o 1,5-2 deg). W sezonie ciepłym wzrosty były znacznie mniejsze i na ogół nie przekraczały 1 deg. Tylko na 3 stacjach doszło do wydłużenia okresu występowania dodatnich średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza (Kanin Nos – w maju, O. Bielyj – w czerwcu, O. Wrangla – we wrześniu). Choć na wszystkich stacjach nastąpił wzrost wartości średnich, to daleko nie wszystkie te zmiany są istotne statystycznie. W latach 1988-2013, w pełni sezonu ciepłego, w lipcu i sierpniu, temperatura powietrza nie stanowi żadnego utrudnienia dla żeglugi na Północnej Drodze Morskiej. Występująca okresowo, w czerwcu i wrześniu, niska lub nawet bardzo niska temperatura powietrza stanowić może tylko pewne utrudnienie dla żeglugi na PDM, związane przede wszystkim z prowadzeniem na statku lub w porcie prac na wolnym powietrzu oraz z występowaniem zjawisk pochodnych – oblodzeniem statku, ograniczoną widzialnością i utrzymywaniem się (w czerwcu) lub tworzeniem się już (we wrześniu) nowej pokrywy lodowej.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, Północna Droga Morska, Arktyka Rosyjska.

1. Wprowadzenie

Przez morza Arktyki Rosyjskiej prowadzi wielowariantowy szlak żeglugowy łączący Europę z Pacyfikiem nazywany Północną Drogą Morską (dalej PDM). Przebiega on wzdłuż wybrzeży Półwyspu Skandynawskiego, europejskiej i azjatyckiej części Rosji i dalej przez Cieśninę Beringa wyprowadza na Pacyfik. Na PDM składają się zarówno płytkowodne trasy przybrzeżne, łączące poszczególne porty leżące na wybrzeżu i w częściach ujściowych rzek syberyjskich, do których dostarczane są ładunki docelowe, jak i trasy odsunięte bardziej od wybrzeży (ryc. 1) wykorzystywane przez statki płynące przez PDM w tranzycie, lub te, które posiadają większe zanurzenie. Podstawową kwestią

decydującą o wykorzystaniu PDM jako szlaku przewozów morskich jest kształtowanie się warunków hydro-klimatycznych w tym rejonie, sterującymi zmianami warunków lodowych. Okres, w którym możliwa jest bezpieczna żegluga nazywany jest sezonem nawigacyjnym.

W XX wieku Północna Droga Morska jako całość była przez szereg lat nie do przebycia w czasie jednego sezonu nawigacyjnego. W wielu latach sezon nawigacyjny był bardzo krótki, na niektórych odcinkach PDM liczył tylko kilka-kilkanaście dni, a w niektórych latach żegluga na danym odcinku była niemożliwa, na przykład w latach 1910-1920 (Arikajnen 1990). W latach 30. i 40. XX wieku długość sezonu nawigacyjnego wynosiła przeciętnie 93 dni, w latach 50. i 60. wzrosła do 122-128 dni, a w latach 70. XX wieku – do 140-150 dni (Drent 1993).

Pod koniec XX i na początku XXI wieku nastąpiło gwałtowne przyspieszenie redukcji powierzchni lodów morskich w Arktyce. Zaznacza się ono zarówno w ujęciu rocznym, jak i przede wszystkim miesięcy letnich i jesiennych. Jak podają Marsz i Styszyńska (2010) trendy zmian pokrywy lodowej w tych miesiącach są silne (do -64 tys. km² na rok) i istotne statystycznie. W tym czasie następowało nie tylko zmniejszanie powierzchni lodów, ale również spadek ich grubości (Polyakov i in. 2002) i koncentracji (Johannessen i in. 2007, Maslanik i in. 2007, AMSA 2009, Kwok i Rothrock 2009, Marchenko 2012). Następował też wyraźny, choć zróżnicowany co do liczby dni na poszczególnych morzach Arktyki Rosyjskiej, wzrost długości sezonu nawigacyjnego (Marsz i in. 2014) i tzw. „sezonu bezlodowego”, w czasie którego zawartość lodów jest mniejsza niż 15% (Pastusiak 2014).

Najbardziej szczegółowych informacji na temat warunków środowiskowych istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa żeglugi, w tym klimatycznych i pogodowych, występujących na poszczególnych morzach dostarczają locje. Są to obszernie opisy uzupełniające wiadomości przedstawiane na mapach morskich. Dla mórz Arktyki Rosyjskiej locje takie wydaje Zarząd Główny Nawigacji i Oceanografii Ministerstwa Obrony Federacji Rosyjskiej (Главное Управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации; dalej GUNiO). Ostatnie wydania tych locji miały miejsce w latach 1998-2009. W roku 1998 ukazały się: część pierwsza Locji Morza Karskiego (GUNiO 1998a) i Locja Morza Wschodniosyberyjskiego (GUNiO 1998b), w 1999 roku – Locja zachodniej części Morza Czukockiego i Cieśniny Beringa (GUNiO 1999), w 2006 roku – Locja Morza Barentsa (GUNiO 2006) i w 2009 roku – Locja Morza Łaptiewów (GUNiO 2009).

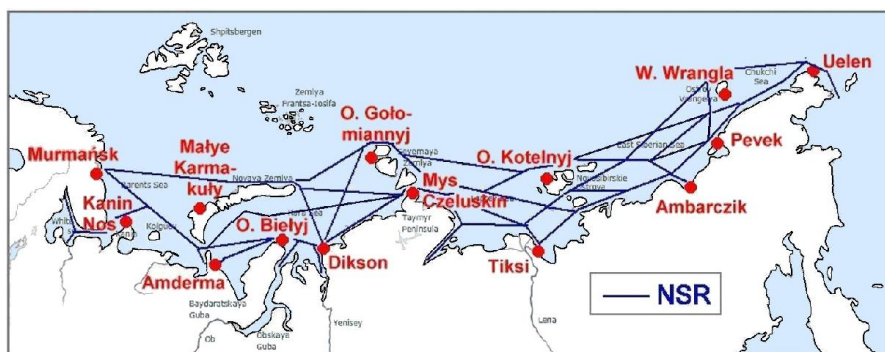
W poszczególnych locjach znajdują się tablice klimatyczne, w których podane są wartości średnie wybranych elementów meteorologicznych mierzonych na stacjach zlokalizowanych na wybrzeżu danego morza (od 7 stacji na Morzu Łaptiewów do 13 na morzach Barentsa i Karskim), w tym najważniejszego elementu kształtującego warunki hydro-klimatyczne i lodowe Arktyki jakim jest temperatura powietrza. Stacje meteorologiczne położone nad morzami Arktyki Rosyjskiej rozpoczęły pracę stosunkowo późno, bo dopiero w latach 30., 40. lub 50. XX wieku. Jedynie pojedyncze stacje pracowały wcześniej. Nad Morzem Barentsa były to stacje Małe Karmakuly (od 1900 r.), Kanin Nos (od 1915 r.) i Murmańsk (od 1919 r.), a nad Morzem Czukockim stacje Wyspa Wrangla (od 1926 r.) oraz Uelen (od 1928 r.).

Zdecydowana większość informacji o temperaturze powietrza podawanych w locjach rosyjskich bazuje na danych z okresu 1934/1936 – 1987/1989 i nie uwzględnia ostatniego okresu intensywnego wzrostu temperatury powietrza obserwowanego w Arktyce na przełomie XX i XXI wieku (m.in. Przybylak 2007, Marsz i Styszyńska 2011). Wzrost ten dobrze koresponduje ze spadkiem powierzchni lodów morskich i wzrostem temperatury wody na morzach Wschodniosyberyjskim i Czukockim (m.in. Zblewski 2008, Zblewski i Marsz 2009).

Rysuje się zatem pytanie jak kształtują się warunki termiczne w rejonie Północnej Drogi Morskiej widziane przez pryzmat danych zgromadzonych w locjach i w jakim stopniu uległy one zmianie po 1987/1989 roku. Czy ostatni okres intensywnego wzrostu temperatury powietrza występujący w Arktyce na przełomie XX i XXI wieku doprowadził do wydłużenia okresu ciepłego na morzach Arktyki Rosyjskiej? Jeżeli tak, to na ile ten wzrost był duży i w jakim sezonie roku wystąpił? Czy zmiany te mogły doprowadzić do wydłużenia sezonu nawigacyjnego? Czy wskazane jest unacześnienie informacji klimatycznych dostępnymi nawigatorowi prowadzącemu statek przez PDM, w części opisującej termikę powietrza, podawanych w locjach?

2. Dane

Do charakterystyki warunków termicznych występujących na morzach Arktyki Rosyjskiej wybrano 14 stacji meteorologicznych zlokalizowanych w rejonie PDM i posiadających wspólny okres obserwacyjny. Dla okresu opisywanego w locjach były to lata 1936-1987, a dla okresu współczesnego – lata 1988-2013. Lokalizację tych stacji oraz schemat przebiegu tras PDM pokazuje ryc. 1.



Ryc. 1. Położenie stacji meteorologicznych w rejonie Północnej Drogi Morskiej (NSR), których dane wykorzystano w opracowaniu

Fig. 1. Location of meteorological stations in the region of the Northern Sea Route (NSR), whose data were used in the study.

Źródłem danych wieloletnich średnich miesięcznych dla okresu 1936-1987 były tablice portów zamieszczone w locjach poszczególnych mórz Arktyki Rosyjskiej (GUNiO 1998a, 1998b, 1999, 2006, 2009). Źródłami danych średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w okresie 1988-2013 były: baza RIHMI-WDC (Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center – Obninsk (Bulygina i in. 2014) oraz baza OGIMET (Valor i Lopez 2014).

Dla okresu 1988-2013 ciągi średnich miesięcznych wartości temperatury w sezonie nawigacyjnym (czerwiec-październik) poddano analizie trendów. Istotność trendów testowano za pomocą testu t-Studenta. Za granicę istotności statystycznej przyjęto wartość $p = 0,05$ (przedział ufności = 95%).

3. Charakterystyka warunków termicznych na PDM w latach 1936-1987

W świetle danych o temperaturze powietrza podawanych w locjach rosyjskich, w rejonie PDM najcieplejszymi miesiącami są lipiec i sierpień. W południowo-zachodniej części Morza Karskiego

średnie miesięczne wartości temperatury powietrza osiągają wtedy 3-7°C, podczas gdy w NE części morza tylko 0-2°C (GUNiO 1998a). Podobne zróżnicowanie temperatury powietrza występuje również na morzach Łaptiewów, Wschodniosyberyjskim i Czukockim gdzie na wybrzeżu kontynentu temperatura sięga 5-7°C i szybko spada do 0-3°C w miarę oddalania się od granicy lądu (GUNiO 1998b, 1999, 2009). We wrześniu, na wybrzeżu kontynentu utrzymuje się jeszcze temperatura dodatnia, natomiast nad otwartym morzem i na północy temperatura powietrza spada już poniżej 0°C (tab. 1). Okres, w którym występuje dodatnia temperatura w północnych częściach mórz Karskiego, Łaptiewów i Wschodniosyberyjskiego trwa 40-60 dni, a na Morzu Czukockim – 70-80 dni. Okres ten na południu analizowanych mórz rośnie do 90-110 dni. Najdłużej, bo około 120 dni, trwa w rejonie cieśnin Karskie Wrota, Jugorski Szar i Beringa.

W okresie chłodnym najniższe średnie miesięczne wartości temperatury występują w styczniu i lutym, a czasami – tak jak ma to miejsce na Morzu Czukockim – w marcu (tab. 1). Na północy mórz Łaptiewów i Wschodniosyberyjskiego średnia miesięczna temperatura spada do -30÷-34°C (GUNiO 1998b, 2009), a na północy mórz Karskiego i Czukockiego do -20÷-25°C (GUNiO 1998a, 1999). W styczniu i lutym, w oddzielne dni, temperatura powietrza w SW części Morza Karskiego i na Morzu Czukockim może spadać do -47÷-48°C. Jeszcze niższa temperatura, -50÷-56°C, może wystąpić w NE części Morza Karskiego i na morzach Łaptiewów i Wschodniosyberyjskim. W tym samym czasie, przy przechodzeniu przez dane morze układów niżowych chwilowa temperatura powietrza może wzrosnąć do -2÷2°C, a na Morzu Czukockim nawet do 10°C (Mys Shmidta).

Intensywny wzrost temperatury powietrza rozpoczyna się w maju (tab. 1). Przejście temperatury przez 0°C w SW części Morza Karskiego ma miejsce w drugiej dekadzie czerwca, a w NE części tego morza – na przelomie czerwca i lipca (GUNiO 1998a). Na Morzu Łaptiewów ma to miejsce na początku pierwszej dekady czerwca w S części morza i w trzeciej dekadzie czerwca w N części morza (GUNiO 2009). W podobnym czasie stabilne przejście temperatury przez 0°C następuje i na Morzu Wschodniosyberyjskim – w pierwszej dekadzie czerwca na wybrzeżu i na końcu czerwca w N części morza (GUNiO 1998b). Na Morzu Czukockim dodatnią dobową temperaturę powietrza notuje się już od 5-9 czerwca na wybrzeżu i dopiero od pierwszej dekady lipca na północy morza (GUNiO 1999).

4. Charakterystyka warunków termicznych na PDM w latach 1988-2013

Porównanie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w okresach 1936-1987 oraz 1988-2013 (tab. 1) wskazuje, że w tym ostatnim okresie na wszystkich badanych stacjach, poza miesiącami zimowymi w leżących na wybrzeżu Morza Wschodniosyberyjskiego stacjami Pevek/O. Ajon oraz Ambarczik, doszło do wzrostu temperatury powietrza. Największy wzrost miał miejsce w sezonie

Tab. 1. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza [°C] na wybranych stacjach meteorologicznych leżących w rejonie PDM w latach **1936-1987** (wg GUNiO 1998a, 1998b, 1999, 2006, 2009) – górna wartość oraz w latach **1988-2013** (wg RIHMI-WDC i OGIMET) – środkowa wartość. Dolna wartość – różnica średnich (1936-1987) – (1988-2013). Zaznaczono miesiące z dodatnią temperaturą powietrza

Table 1. Mean monthly air temperature values [°C] at selected meteorological stations located in the area of the Northern Sea Route in the years **1936-1987** (according GUNiO 1998a, 1998b, 1999, 2006, 2009) – the upper value and in the years **1988-2013** (according RIHMI-WDC and OGIMET) – the middle value. Lower value – the difference averages (1936-1987) – (1988-2013). Marked months of positive air temperature.

Stacja Station	Miesiące – Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Morze Barentsa – Barents Sea												
Murmansk	-11,0	-11,0	-7,0	-1,6	3,5	9,4	12,7	11,3	6,7	0,9	-4,4	-8,4
	-9,2	-9,6	-5,3	-3	4,4	9,6	13,1	11,5	7,3	1,5	-4,5	-7,2
	1,8	1,4	1,7	1,3	0,9	0,2	0,4	0,2	0,6	0,6	0,1	1,2
Kanin Nos	-8,6	-10,2	-8,4	-4,8	-0,8	4,4	8,7	8,6	5,8	1,6	-2,0	-5,6
	-7,9	-9,1	-7,1	-3,7	0,0	5,3	9,5	8,7	6,5	2,5	-1,9	-4,8
	0,7	1,1	1,3	1,1	0,8	0,9	0,8	0,1	0,9	0,8	0,1	0,8
Małe Karmakuly	-14,0	-15,2	-14,1	-10,0	-4,2	1,9	7,0	6,4	3,3	-2,5	-7,6	-10,8
	-13,7	-14,2	-11,7	-8,7	-3,4	2,7	7,5	6,9	4,0	-1,8	-7,0	-10,3
	0,3	1,0	2,4	1,3	0,8	0,8	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6	0,5
Morze Karskie – Kara Sea												
Amderma	-18,3	-19,4	-17,5	-11,0	-4,7	1,6	6,4	6,8	3,5	-3,3	-10,0	-14,2
	-17,7	-18,7	-14,7	-10,4	-3,9	2,7	7,9	7,5	4,1	-2,1	-10,0	-14,7
	0,6	0,7	2,8	0,6	0,8	1,1	1,5	0,7	0,6	1,2	0,0	0,5
O. Bielyj	-23,2	-25,0	-23,6	-16,6	-7,9	-0,5	4,2	5,0	1,8	-5,7	-14,5	-19,2
	-23,0	-23,7	-20,7	-15,6	-6,6	0,4	5,3	5,9	2,5	-5,1	-14,5	-19,8
	0,2	1,3	2,9	1,0	1,3	0,9	1,1	0,9	0,7	0,6	0,0	0,6
Dikson	-25,3	-26,1	-24,3	-17,1	-8,3	0,3	4,6	5,0	1,5	-7,7	-17,8	-21,8
	-24,9	-25,1	-21,7	-16,3	-7,2	0,7	5,2	5,6	1,9	-7,3	-17,5	-21,9
	0,4	1,0	2,6	0,8	1,1	0,4	0,6	0,6	0,4	0,1	0,3	-0,1
O. Golo- miannyj	-27,8	-28,5	-28,1	-21,1	-10,4	-1,5	0,7	0,0	-3,4	-12,1	-20,9	-24,7
	-26,8	-27,2	-26,0	-19,1	-9,2	-1,4	0,7	0,1	-2,9	-10,9	-18,0	-24,2
	1,0	1,3	2,1	2,0	1,2	0,1	0,0	0,1	0,5	1,2	2,9	0,5
Morze Łaptiewów – Laptev Sea												
Mys Czeluskin	-28,4	-28,8	-28,2	-21,2	-10,6	-1,4	1,4	0,7	-2,4	-11,7	-21,5	-25,2
	-28,2	-28,1	-26,7	-19,6	-9,2	-1,1	1,5	1,2	-1,9	-11,2	-20,4	-25,4
	0,2	0,7	1,5	1,6	1,4	0,3	0,1	0,5	0,5	0,5	1,1	-0,2
Tiksi	-31,6	-30,4	-26,3	-18,6	-6,8	2,8	7,2	7,2	1,6	-10,8	-24,0	-28,5
	-29,8	-30,2	-26,1	-17,8	-5,5	3,4	8,3	8,1	1,8	-10,5	-23,1	-28,0
	1,8	0,2	0,2	0,8	1,3	0,6	1,1	0,9	0,2	0,3	0,9	0,5
O. Kotelnij	-30,0	-30,4	-28,2	-21,0	-9,4	-0,5	2,5	1,7	-1,8	-11,6	-22,4	-27,0
	-29,3	-29,7	-27,1	-19,6	-8,0	-0,2	3,2	2,5	-0,8	-10,0	-20,8	-26,5
	0,7	0,7	1,1	1,4	1,4	0,3	0,7	0,8	1,0	1,6	1,6	0,5
Morze Wschodniosyberyjskie – East Siberian Sea												
Ambarczik	-29,5	-29,8	-25,7	-17,4	-4,9	4,3	6,6	5,3	0,7	-10,2	-22,0	-27,5
	-29,7	-30,1	-23,5	-15,9	-3,8	4,9	7,6	6,2	1,5	-8,9	-19,8	-27,4
	-0,2	-0,3	2,2	1,5	1,1	0,6	1,0	0,9	0,8	1,3	2,2	0,1
Pevek O. Ajon	-25,4	-27,5	-24,4	-15,8	-3,2	5,3	7,8	6,6	1,8	-8,2	-19,3	-24,4
	-28,0	-28,7	-24,3	-17,1	-5,0	3,6	5,7	4,9	1,2	-7,0	-17,9	-25,2
	-2,6	-1,2	0,1	1,3	1,8	1,7	2,1	1,7	0,6	1,2	1,4	-0,8
Morze Czukockie – Chukchi Sea												
W. Wrangla	-22,9	-25,9	-23,6	-17,2	-7,1	0,4	2,4	2,0	-1,1	-7,7	-15,1	-21,3
	-22,6	-23,2	-21,7	-15,7	-5,3	0,9	3,2	2,9	0,6	-5,2	-12,4	-19,4
	0,3	2,7	1,9	1,5	1,8	0,5	0,8	0,9	1,7	2,5	2,7	1,9
Uelen	-18,8	-22,3	-20,8	-13,8	-4,3	2,0	6,0	5,6	2,9	-2,2	-8,9	-17,5
	-20,7	-20,4	-19,4	-12,2	-2,9	2,9	6,9	6,7	3,8	-0,8	-7,4	-15,8
	-1,9	1,9	1,4	1,6	1,4	0,9	0,9	1,1	0,9	1,4	1,5	1,7

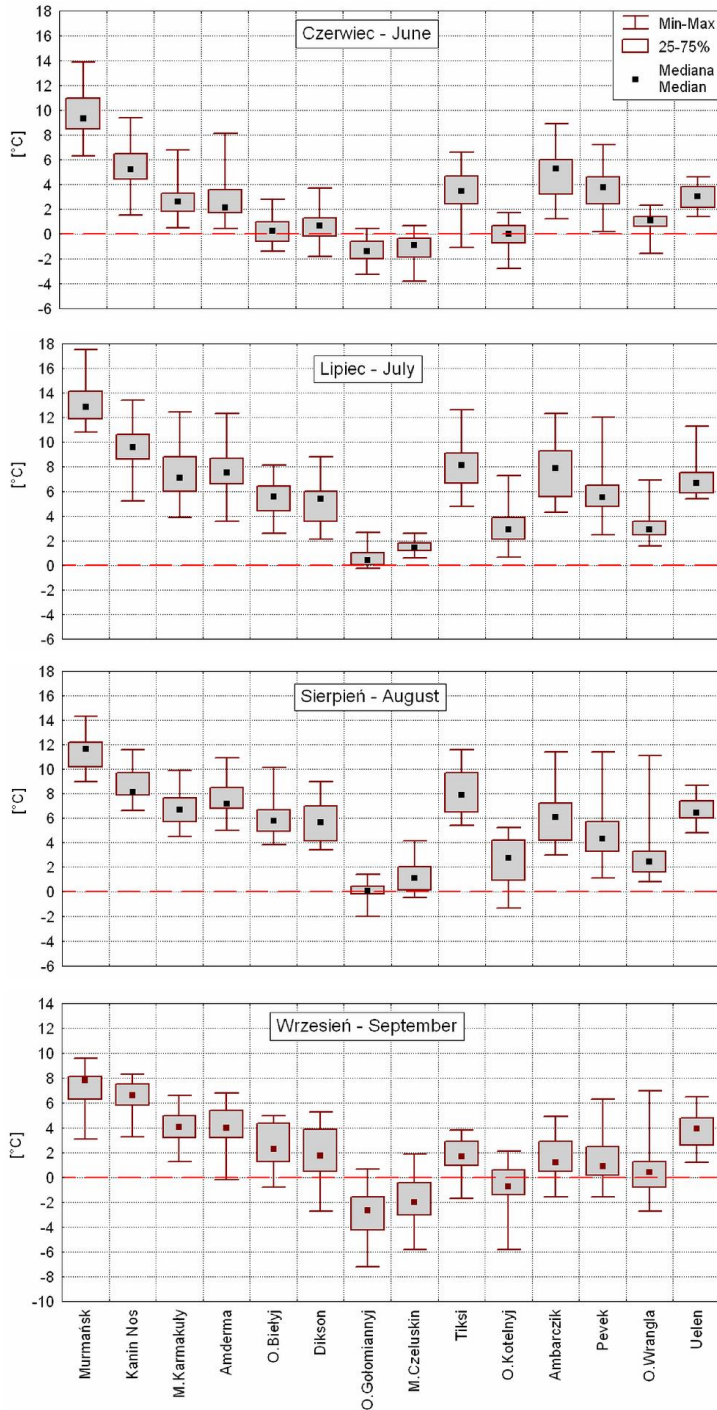
chłodnym, zwłaszcza w marcu. W poszczególnych miesiącach tego sezonu na wielu stacjach przekraczał on 1,5°C, a na niektórych stacjach nawet ponad 2°C – na Wyspie Wrangla w październiku,

listopadzie i lutym; w Ambarcziku w marcu; na stacji Ostrov Gołomiannyj w listopadzie, marcu i kwietniu oraz na stacji Ostrov Bielyj w marcu (z $-23,6$ do $-20,7^{\circ}\text{C}$). W sezonie ciepłym wzrosty były znacznie mniejsze i na ogół nie przekraczały 1°C . Okres dodatnich średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza na większości stacji nie uległ zmianie. Jedynie na Wyspie Wrangla nastąpiło wyraźne ocieplenie września (z $-1,1^{\circ}\text{C}$ w okresie 1936-1987 do $0,6^{\circ}\text{C}$ w okresie 1988-2013) na stacji Ostrov Bielyj – czerwca (z $-0,5^{\circ}\text{C}$ do $0,4^{\circ}\text{C}$) i na stacji Kanin Nos – maja (z $-0,8^{\circ}\text{C}$ do $0,0^{\circ}\text{C}$).

W latach 1988-2013, podobnie jak i w okresie wcześniejszym, najkrótszy okres występowania dodatnich średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza ma miejsce na pograniczu mórz Karskiego i Łaptiewów – na stacjach Ostrov Gołomiannyj i Mys Czeluskin oraz na leżącej daleko na północy (76°N) na Wyspach Nowosyberyjskich stacji Ostrov Kotelnyj i przypada na lipiec i sierpień. Najdłuższy okres występowania dodatnich średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza – 6 miesięcy od maja do października – ma miejsce na dwóch stacjach leżących w południowej części Morza Barentsa – w Murmańsku i Kanin Nosie (tab. 1).

Choć w ostatnim okresie (1988-2013) na niektórych stacjach (Kanin Nos, O. Bielyj, W. Wrangla) doszło do wydłużenia okresu występowania dodatnich średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza, a na wszystkich (poza Pevekiem/O. Ajon) do wzrostu wartości średnich, to daleko nie wszystkie te zmiany są istotne statystycznie. Analiza trendów wskazuje (tab. 2), że na początku sezonu ciepłego – w czerwcu – istotne statystycznie są tylko zmiany temperatury powietrza zachodzące nad SE częścią Morza Karskiego – na stacjach Dikson i Mys Czeluskin, a w lipcu – tylko na stacjach położonych w ujściu Obi i Jeniseja – Ostrov Bielyj i Dikson oraz na Wyspie Wrangla. W sierpniu, poza ujściem Obi i Jeniseju, istotne są również wzrosty temperatury powietrza występujące nad Morzem Łaptiewów na stacjach Mys Czeluskin, Tiksi i Ostrov Kotelnyj. Wrzesień to miesiąc, w którym istotne statystycznie wzrosty temperatury powietrza zachodzą nad południową częścią Morza Barentsa (Murmańsk, Kanin Nos), wschodnią częścią Morza Karskiego (Dikson, Ostrov Gołomiannyj, Mys Czeluskin) oraz Wyspą Wrangla. Najsilniejsze wzrosty temperatury powietrza występują w październiku. W rejonie Ziemi Północnej wynoszą one na stacji Ostrov Gołomiannyj $0,49^{\circ}\text{C}$ na rok, a na stacji Mys Czeluskin – $0,36^{\circ}\text{C}$ na rok. Duży, istotny statystycznie, wzrost temperatury w październiku występuje również nad Morzem Czukockim (tab. 2). Choć w obu rejonach omawiany wzrost temperatury odbywa się w zakresie wartości ujemnych, to przyczynić się może do spowolnienia procesu narastania lodu morskiego, którego tempo zależy od temperatury powietrza – im jest ona wyższa tym tempo przyrostu lodu jest wolniejsze (Zakrzewski 1983).

W poszczególnych latach średnia miesięczna temperatura powietrza może w istotny sposób różnić się od średniej wieloletniej. Analiza tej zmienności przeprowadzona dla poszczególnych stacji położonych w rejonie PDM w okresie od czerwca do września (ryc. 2) pozwala stwierdzić, że w latach 1988-2013, w pełni sezonu ciepłego – w lipcu i sierpniu – temperatura powietrza nie stanowi żadnego utrudnienia dla żeglugi na PDM. Na całej trasie średnia miesięczna temperatura powietrza utrzymuje się w zakresie wartości dodatnich. Zarówno na początku sezonu – w czerwcu, jak i pod jego koniec – we wrześniu, najchłodniej jest na stacjach położonych najdalej na północy – w rejonie Ziemi Północnej i na Wyspach Nowosyberyjskich. Wskazuje to, że procesy zaniku starej pokrywy lodowej oraz zamarzania wody morskiej i tworzenia się nowej pokrywy lodów morskich najszybciej występować będą we wschodniej części Morza Karskiego i na Morzu Łaptiewów, później na Morzu Wschodniosyberyjskim i w rejonie Wyspy Wrangla.



Ryc. 2. Zakres zmienności średniej miesięcznej temperatury powietrza [°C] w okresie 1988-2013 na stacjach położonych w rejonie PDM

Fig. 2. Ranges of variability of mean air temperature [°C] in the period 1988-2013 at stations located in the area of the Northern Sea Route.

Tab. 2. Wartości współczynników trendu [$^{\circ}\text{C}/\text{rok}$] i ich istotność statystyczna (p) średniej miesięcznej temperatury powietrza w czerwcu (VI), lipcu (VII), sierpniu (VIII), wrześniu (IX) i październiku (X) w okresie 1988-2013. Wartości istotne statystycznie ($p < 0,05$) pogrubiono

Table 2. Values of trend coefficients [$^{\circ}\text{C}/\text{year}$] and their level of statistical significance (p) of mean monthly air temperature in June (VI), July (VII), August (VIII), September (IX) and October (X) in 1988-2013. Trend coefficients statistically significant ($p < 0.05$) shown in bold.

Stacja Station	VI		VII		VIII		IX		X	
	trend	p	trend	p	trend	p	trend	p	trend	p
Morze Barentsa – Barents Sea										
Murmańsk	0,032	0,53	0,038	0,36	0,010	0,77	0,079	0,04	0,100	0,06
Kanin Nos	0,025	0,61	0,058	0,24	0,028	0,47	0,067	0,04	0,098	0,04
Małye Karmakuly	0,061	0,13	0,026	0,66	0,004	0,92	0,052	0,16	0,146	0,02
Morze Karskie – Kara Sea										
Anderma	0,041	0,38	0,020	0,74	0,029	0,46	0,054	0,22	0,130	0,05
O. Bielyj	0,039	0,20	0,074	0,04	0,085	0,03	0,082	0,06	0,200	0,01
Dikson	0,083	0,01	0,129	0,00	0,090	0,04	0,122	0,03	0,214	0,01
O. Golomiannyj	0,038	0,13	0,007	0,75	0,037	0,05	0,178	0,00	0,492	0,00
Morze Łaptiewów – Laptev Sea										
Mys Czeluskin	0,060	0,04	0,004	0,77	0,068	0,02	0,132	0,01	0,362	0,00
Tiksi	0,036	0,47	0,026	0,63	0,094	0,04	0,048	0,27	0,071	0,32
O. Kotelnyj	0,042	0,16	0,039	0,39	0,121	0,01	0,078	0,11	0,253	0,00
Morze Wschodniosyberyjskie – East Siberian Sea										
Ambarczik	0,077	0,12	0,009	0,87	0,078	0,20	0,038	0,42	0,084	0,12
Pevek	0,069	0,12	0,023	0,70	0,087	0,20	0,097	0,04	0,209	0,00
Morze Czukockie – Chukchi Sea										
W. Wrangla	0,028	0,22	0,074	0,01	0,073	0,19	0,107	0,04	0,155	0,01
Uelen	0,044	0,09	0,008	0,83	0,007	0,82	0,057	0,17	0,111	0,03

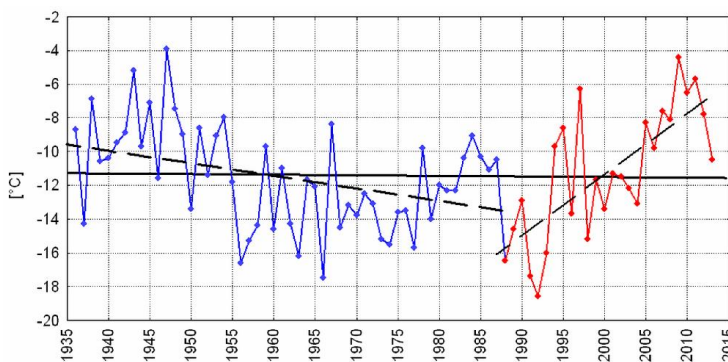
Jednak występująca okresowo, w czerwcu i wrześniu, niska lub nawet bardzo niska temperatura powietrza stanowić może pewne utrudnienie dla żeglugi na PDM, związane przede wszystkim z prowadzeniem na statku lub w porcie prac na wolnym powietrzu oraz z występowaniem zjawisk pochodnych – ograniczoną widzialnością, oblodzeniem statku i utrzymywaniem się (w czerwcu) lub tworzeniem się już (we wrześniu) nowej pokrywy lodowej. W pozostałych miesiącach roku, im niższa będzie temperatura powietrza, tym szybciej będzie tworzyć się lód i wzrastać jego grubość. Dla współczesnych statków sama, nawet bardzo niska, temperatura powietrza nie stanowi zagrożenia czy utrudnienia dla żeglugi, są nimi natomiast zjawiska pochodne związane z dużymi jej spadkami – przede wszystkim pokrywa lodowa.

5. Dyskusja

Przegląd zmian średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza na stacjach leżących wzdłuż Północnej Drogi Morskiej wykazuje, że w porównywanych okresach zmiany temperatury są niewielkie i bardzo charakterystycznie rozłożone w czasie roku. Zdecydowanie większe wzrosty temperatury powietrza w okresie 1988-2013 zaznaczają się w miesiącach chłodnej pory roku, w cieplej porze roku wzrosty są słabe (patrz tab. 1) i tylko na niektórych stacjach przekraczają 1°C . Jeśli za okres potencjalnego sezonu nawigacyjnego (ze względu na koncentrację pokrywy lodowej: Marsz i in. 2014) przyjąć okres od lipca do października włącznie, to wzrosty temperatury miesięcznej przekraczające 1°C wystąpiły tylko na stacjach Anderma (lipiec: $1,5^{\circ}\text{C}$), Ostrov Bielyj (lipiec: $1,1^{\circ}\text{C}$),

Tiksi (lipiec: 1,1°C), Ambarczik (październik: 1,3°C), Perek/O.Ajon (lipiec: +2,1°C, sierpień: 1,7°C, październik: 1,2°C), Wyspa Wrangla (wrzesień: 1,7°C, październik: 2,5°C), Uelen (sierpień: 1,1°C, październik: 1,4°C). Taki rozkład w czasie i przestrzeni wzrostów temperatury, który następuje na stacjach położonych na wyspach i/lub w bezpośredniej bliskości linii brzegowej wskazuje, że ich przyczyną jest zachodząca po roku 2000 zmiana sytuacji lodowej. Na zachodnich częściach Północnej Drogi Morskiej (Morze Karskie) wyraźne przyspieszenie zmniejszania się powierzchni lodów morskich nastąpiło po roku 2004. Stąd na stacjach Amderma i Ostrov Bielyj (Morze Karskie) obserwuje się silniejszy wzrost temperatury w lipcu. Na wschodnich częściach PDM (morza Wschodniosyberyjskie i Czukockie) silne zmniejszanie się powierzchni lodów rozpoczęło się od 2002 roku, ale większy spadek, połączony z wzrostem temperatury wody powierzchniowej nastąpił w końcu sezonu nawigacyjnego, wydłużając jego czas trwania. Z tym wiązać można silniejsze wzrosty temperatury powietrza na stacjach Ambarczik, Pewek, Wyspa Wrangla i Uelen przesunięte na koniec sezonu nawigacyjnego.

Wystąpienia niewielkich różnic temperatury między oboma okresami, mimo bardzo silnego wzrostu temperatury w Arktyce, jaki nastąpił w okresie ostatnich trzydziestu lat (m.in. Chylek i in. 2011, Comiso i Hall 2014: $0,6 \pm 0,007^\circ\text{C}/\text{dekadę}$) można dopatrywać się jeszcze w działaniu dodatkowego czynnika. Są nim okresy, dla których oblicza się średnie. Podawane w rosyjskich locjach średnie obliczane są z okresu 1936-1987. Na lata 30. i początek lat 40. XX wieku przypadają „szczyt” ocieplenia Arktyki, po czym temperatura rozpoczęła nieregularnie spadać, dochodząc na obszarze położonym na zachód od Morza Łaptiewów do minimum w okresie od połowy lat 60. do początku lat 80. XX wieku. Na obszarach położonych dalej na wschód ocieplenie lat 30. i 40. nie było tak wyraźne, podobnie jak ochłodzenie, którego minimum przypadło na lata 70. XX wieku, tym nie mniej najbardziej ogólny rytm zmian temperatury był podobny. Średnie podawane w locjach obliczane są zatem z okresu, w którym występowały zarówno dodatnie, jak i ujemne anomalie temperatury. Dokładnie to samo dzieje się ze średnimi obliczanymi przez Autorów dla następnego okresu – lat 1988-2013. Początek tego okresu przypada na „końcówkę” okresu z występowaniem bardzo niskiej temperatury w Arktyce, zwłaszcza w jej środkowej (ryc. 3) i wschodniej części, końcowa część analizowanego okresu – na



Ryc. 3. Średnia miesięczna temperatura powietrza w październiku na stacji Mys Czeluskin.

W okresie 1936-1987 istotny statystycznie trend ujemny ($-0,076^\circ\text{C}/\text{rok}$, $p = 0,005$).

W okresie 1988-2013 istotny statystycznie trend dodatni ($+0,362^\circ\text{C}/\text{rok}$, $p = 0,000$)

Fig. 3. Mean monthly air temperature in October at Mys Czeluskin (Cape Chelyuskin).

In the period 1936-1987 statistically significant negative trend ($-0.076^\circ\text{C}/\text{year}$, $p = 0.005$).

In the period 1988-2013 statistically significant positive trend ($+0.362^\circ\text{C}/\text{year}$, $p = 0.000$).

podokres niezmiernie silnego wzrostu temperatury obejmującego cały obszar PDM. W rezultacie uśrednień, zaznaczające się istotne różnice temperatury powietrza o skali dekadowej zostały wyrównane (np. patrz linia trendu dla całego okresu 1936-2013 widoczna na ryc. 3), nie biorąc pod uwagę występującej naturalnej zmienności klimatu Arktyki (Polyakov i in. 2003), a materiały zawarte w locji i średnie w tab. 1 nie dają wyobrażenia o rzeczywistej zmienności temperatury powietrza na trasie Północnej Drogi Morskiej.

6. Wnioski

W ujęciu średnich wieloletnich, warunki termiczne na Północnej Drodze Morskiej występujące po 1987 roku – w okresie intensywnego wzrostu temperatury powietrza występujący w Arktyce na przełomie XX i XXI wieku, w stosunku do lat 1936-1987 – okresu, dla którego wartości średnie podawane są w tablicach klimatycznych w rosyjskich locjach wydanych w latach 1998-2009 przez GUNiO dla poszczególnych mórz Arktyki Rosyjskiej, uległy relatywnie niewielkiej zmianie. W cieplej porze roku tylko na niektórych stacjach, położonych na wybrzeżu kontynentu, wzrost temperatury powietrza przekroczył 1°C. W chłodnej porze roku wzrost był nieco większy. W zachodniej części PDM (na morzach Barentsa i Karskim) największy wzrost (rzędu +1,3-2,9°C) miał miejsce w marcu, natomiast we wschodniej części PDM (na morzach Wschodniosyberyjskim i Czukockim) – we wrześniu i październiku (rzędu 1,2-2,7°C).

W świetle przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że w latach 1988-2013 tylko na 3 stacjach doszło do wydłużenia okresu ciepłego. Miało to miejsce na dwóch stacjach położonych w zachodniej części PDM – na leżącej w południowej części Morza Barentsa stacji Kanin Nos w maju (-0,8°C w latach 1936-1987 i 0,0°C w latach 1988-2013) oraz na leżącej w SW części Morza Karskiego stacji O. Bielyj (-0,5°C w latach 1936-1987 i 0,4°C w latach 1988-2013). Na trzeciej stacji – na W. Wrangla – okres ciepły uległ wydłużeniu o wrzesień, w którym w latach 1936-1987 średnia wieloletnia wynosiła -1,1°C, a w okresie 1988-2013 wzrosła do 0,6°C. Ten silny wzrost temperatury powietrza, wraz ze spadkiem powierzchni lodów morskich i wzrostem temperatury wody powierzchniowej, przyczynił się do wydłużenia w tej części PDM sezonu nawigacyjnego o miesiąc.

Biorąc pod uwagę zakres zmian temperatury powietrza, jaki wystąpił w rejonie PDM w latach 1988-2013, w porównaniu do okresu uwzględnianego w charakterystyce klimatycznej zawartej w locjach, należy stwierdzić, że materiały zawarte w locjach nie dają wyobrażenia o współczesnej zmienności temperatury powietrza na trasie Północnej Drogi Morskiej. Zachodzi zatem potrzeba wydania suplementów (lub poprawek) do poszczególnych tomów locji, w których omówiono by występujące na trasie PDM w ostatnich 20-30. latach zmiany warunków termicznych, czy szerzej warunków hydroklimatycznych. Ponieważ zmiany te wpływają na wydłużenie na niektórych odcinkach PDM sezonu nawigacyjnego – okresu, w którym możliwa jest bezpieczna żegluga – to zmiany te wydają się być istotną kwestią w rozważaniach dotyczących dalszego wykorzystania PDM i możliwości nasilenia żeglugi na tym szlaku.

Literatura

- AMSA, 2009. Arctic Marine Shipping Assessment 2009 Report. Arctic Council, April 2009: 194 s.
- Arikajnen A.I., 1990. Sudokhodstvo vo l'dakh Arktiki. Moskva "Transport": 247 s.

- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T., Švec N.V., 2014. Opisanie massiva dannykh srednemesačnoj temperatury vozdukh na stancijakh Rosii (<http://meteo.ru/data/156-temperature>) ostatni dostup 10 września 2014 r.
- Chylek P., Li J., Dubey M.K., Wang M., Lesins G., 2011. Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian earth system model CanESM2. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 11(8): 22893-22907.
- Comiso J.C., Hall D.K., 2014. Climate trends in the Arctic as observed from space. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5 (3): 389-409.
- Drent T., 1993. Commercial shipping on the Northern Sea Route. *The Northern Mariner - Le Marin du nord*, III, No. 2 (April 1993): 1-17.
- GUNiO, 1998a. Locija Karskogo Morja, Čast 1. GUNiO nr 1115, poprawione do 05.02. 2011: 472 s.
- GUNiO, 1998b. Locija Vostočno-Sibirskogo Morja. GUNiO nr 1119, poprawione do 05.02.2011: 208 s.
- GUNiO, 1999. Locija zapadnoj časti Čukotskogo Morja, Beringovo Proliva i Severo-Zapadnoj časti Beringovo Morja. GUNiO Nr 1120, poprawione do 30.04.2011: 240 s.
- GUNiO, 2009. Locija Morja Laptevych. GUNiO nr 1118, poprawione do 05.02.2011: 300 s.
- GUNiO, 2006. Locija Barenceva Morja. GUNiO nr 1112, poprawione do 30.04.2011: 496 s.
- Johannessen O.M., Alexandrov V.Yu., Frolov I.Ye., Sandven S., Pettersson L.H., Bobylev 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.
- Kwok R., Rothrock D.A., 2009. Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records: 1958-2008. *Geophysical Research Letters*, vol. 36, L15501, doi: 10.1029/2009GL039035.
- Marchenko N., 2012. *Russian Arctic Seas. Navigational conditions and accidents*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg: 293 s.
- Marsz A.A., Pastusiak T., Styszyńska A., 2014. Zmiany powierzchni lodów morskich na morzach eurazjatyckich Arktyki i ich potencjalny wpływ na na nawigację na Północnej Drodze Morskiej w drugiej dekadzie XXI wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 24: 73-99.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2010. Współczesne zmiany pokrywy lodów morskich w strefach polarnych i ich konsekwencje dla żeglugi na akwenach arktycznych. *Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni*, 24: 61-80.
- Marsz A., Styszyńska A., 2011. Rozkład przestrzenny oraz skala ocieplenia Arktyki Atlantycznej w 30-leciu 1980-2009 i jej porównanie z „wielkim ociepleniem Arktyki” lat 30. XX wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 21: 91-114.
- Maslanik J. A., Fowler C., Stroeve J., Drobot S., Zwally J., Yi D., Emery W., 2007. A younger, thinner Arctic ice cover: Increased potential for rapid, extensive sea-ice loss. *Geophysical Research Letters*, 34, L24501, doi:10.1029/2007GL032043.
- Pastusiak T., 2014. Zmienność sezonu “bezlodowego” na Północnej Drodze Morskiej. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 24: 101-108.
- Polyakov I.V., Alekseev G.V., Bekryaev R.V., Bhatt U., Colony R., Johnson M.A., Karklin V.P., Makshtas A.P., Walsh D., Yulin A.V., 2002. Observationally based assessment of polar amplification of global warming. *Geophysical Research Letters*, 29, 1878, doi: 1029/2001GL011111.
- Polyakov I.V., Bekryaev R.V., Alekseev G.V., Bhatt U.S., Colony R.L., Johnson M.A., Maskhtas A.P., Walsh D., 2003. Variability and Trends of Air Temperature and Pressure in the Maritime Arctic, 1875-2000. *Journal of Climate*, 16 (12): 2067-2077.
- Przybylak R., 2007. Współczesne zmiany klimatu w Arktyce. [w:] Styszyńska A., Marsz A.A. [red.] *Zmiany klimatyczne w Arktyce i Antarktyce w ostatnim pięćdziesięcioleciu XX wieku i ich implikacje środowiskowe*. AM, Gdynia: 93-110.

Valor G.B., Lopez J.M.G., 2014. OGIMET – Professional information about meteorological conditions In the Word (SYNOP messages available on-line on the web site: <http://www.ogimet.com>) ostatni dostęp 10 września 2014 r.

Zakrzewski W., 1983. Lody na morzach. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk: 316 s.

Zblewski S., 2008. Zmiany pokrywy lodowej na Morzu Wschodniosyberyjskim w XX i XXI wieku i ich wpływ na zmiany klimatu tego obszaru. [w:] Kowalska A., Latocha A., Marszałek H., Pereyma J. (red.), Środowisko przyrodnicze obszarów polarnych. Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław: 187-196.

Zblewski S., Marsz A.A., 2009. Zmiany temperatury powierzchni Morza Czukockiego (1982-2008). Problemy Klimatologii Polarnej, 19: 147-158.

Wpłynęło: 19 września 2015 r., poprawiono: 25 grudnia 2015 r., zaakceptowano: 29 grudnia 2015 r.

Summary

The paper discusses changes of the mean monthly air temperature on the Russian Arctic seas in the years 1988-2013. The mean long-term values for the period compared with the data contained in the Russian Sailing Directions for the period 1936-1987. There was an increase in air temperature on all studied stations in the analyzed period. The largest increase occurred in a cold season (1.5-2 degrees Celsius). Increases of temperature in the warm season were much smaller than in cold period and were generally not exceed 1 degree Celsius. Only at 3 stations the lengthening of the period of average monthly positive air temperature (Kanin Nos Peninsula – in May, Island Belyy – in June, Wrangel Island – in September) was observed. An increase of average values has been observed at all stations, but not all these changes were statistically significant. In the years 1988-2013, while fully warm season – in July and August – air temperature does not pose any difficulties for the navigation on the Northern Sea Route. Occurring periodically – in June and September – a low or even very low air temperature may only cause some difficulties for navigation on the Northern Sea Route. This is primarily related to navigation of the vessel at sea or in port during outdoor work. It is also associated with the occurrence of related phenomena – limited visibility, icing the vessel and the persistence of old (in June) or the formation of already new (in September) ice cover.

Słowa kluczowe: air temperature, Northern Sea Route, Russian Arctic.