

ВЛИЯНИЕ ЛЬДА НА ФОРМИРОВАНИЕ СУДОХОДНЫХ МАРШРУТОВ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Е. О. Ольховик, Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков

*Государственный университет морского и речного флота
им. адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Рассматриваются процессы переформирования сети судоходных маршрутов в акватории Северного морского пути при переходе от летнего навигационного периода к зимнему навигационному периоду. Приводятся основные показатели, характеризующие объём грузоперевозок, выполненных по трассам Северного морского пути в 2018 г. Отмечается изменение структуры арктического флота и увеличения доли крупнотоннажных судов, работающих в Карском море в режиме круглогодичной навигации. Приведены сравнительные данные контроля параметров движения СПГ-танкеров типа Yamalmax, полученные в январе, марте и сентябре 2018 г. Выявлены и проанализированы причины изменения траектории движения судов при плавании во льдах. Приводятся результаты аналитического обзора работ, которые посвящены исследованию влияния различных параметров льда на маневренные характеристики судов и разработке методов поиска оптимальных маршрутов на трассах Северного морского пути. Для выполнения исследований скоростных режимов судов применялись инструменты геоинформационных систем в геопространственной постановке. Предлагается аналитическая модель движения судна во льдах на переходе между двумя фиксированными точками. Определены основные критерии сравнения судоходных маршрутов. Приводятся результаты сравнительных количественных оценок маршрутов движения судна. Даны рекомендации по использованию полученных результатов в теории и практике арктического судоходства. Исследования выполняются в рамках инициативного проекта по разработке теории морских транспортных потоков в акватории Северного морского пути, реализуемого на Арктическом факультете Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. Результаты исследования могут быть использованы при поиске оптимальных маршрутов плавания судов в ледовых условиях, при планировании гидрографических работ и развитии перспективной сети судоходных маршрутов в арктических морях.

Ключевые слова: Северный морской путь, судоходные маршруты, потеря скорости во льдах, время перехода, автоматизированная идентификационная система, крупнотоннажные суда, навигационный период, географическая информационная система.

Для цитирования: *Ольховик Е. О., Андреева Е. В., Тезиков А. Л.* Влияние льда на формирование судоходных маршрутов в акватории Северного морского пути // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 26–36. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.

Введение

В 2018 г. общий объём грузов, привезённых по трассам Северного морского пути (СМП), достиг 19,688 млн т [1]. Было перевезено 2 млн 340,1 тыс. т генеральных грузов; 290,8 тыс. т угля; 43 тыс. т руды; 7 млн 810,5 тыс. т нефти и нефтепродуктов; 805,4 тыс. т газоконденсата и 8,399 млн т сжиженного природного газа (СПГ).

Основные перевозки грузов выполнялись в Карском море. Для вывоза углеводородов в 2018 г. использовалось 26 судов, которые за год выполнили около 200 рейсов.

В режиме круглогодичной навигации в Карском море работали 20 крупнотоннажных танкеров и контейнеровозов с категорией ледового усиления Arc7, в том числе 5 контейнеровозов типа «Норильский Никель», 6 арктических челночных танкеров для перевозки сырой нефти типа 42К и 10 СПГ-танкеров типа Yamalmax.

Существующая в акватории СМП сеть судоходных маршрутов формировалась преимущественно для плавания в летний навигационный период с относительно небольшой осадкой судов [2]. Отдельные участки традиционных маршрутов не могут использоваться крупнотоннаж-

ными судами из-за малых глубин. Кроме того, часть участков традиционных маршрутов не может использоваться в зимнюю навигацию, т. к. перегораживается льдами, для преодоления которых используются обходные маршруты.

В работах [3, 4] в процессе исследования сезонной изменчивости параметров движения крупнотоннажных судов, совершающих самостоятельное плавание в акватории СМП, были зафиксированы значительные боковые отклонения судов от рекомендованных курсов и падение их скорости, связанные с наличием льда на маршруте. При отсутствии льда на маршруте суда шли по одной линии, скорость судов имела наибольшее значение. При увеличении толщины льда боковые отклонения судов от линии генерального направления увеличивались, достигая нескольких десятков миль. Время перехода судов между фиксированными точками по прямой линии во льдах в большинстве случаев превышало время перехода по криволинейным траекториям, на которых толщина льда была меньше.

Известно [5], что при движении во льдах самый короткий путь не всегда является самым быстрым. Удлинение пути во льдах во многих случаях позволяет избежать ледовых повреждений и сократить время перехода между двумя точками. Вместе с тем при больших отклонениях от рекомендованных маршрутов судно может попасть в область с недостаточной гидрографической изученностью подводного рельефа и опасными глубинами. Боковые отклонения приводят к сезонному переформированию судоходной сети.

Вопрос о системе безопасной сети летних и зимних судоходных маршрутов и их сезонном переформировании в акватории СМП ставится впервые. Задача поиска оптимального маршрута в такой сети имеет важное научное и практическое значение, от решения которой, в том числе, зависят выводы о преимуществах СМП по сравнению с альтернативными южными судоходными путями. В существующих методах поиска оптимальных судоходных маршрутов [6, 7] сезонное переформирование маршрутов не учитывается, что снижает их эффективность.

Исследованию плавания судов во льдах посвящено значительное количество работ. В основе проводимых исследований лежат работы, посвящённые определению ледопроеходимости судов [8, 9], влиянию льда на маневренные характеристики и скорость судов [10–12], а также работы, посвящённые разработке методов наблюдений, расчётов и прогнозов ледовых и океанографических условий [13, 14], влияния малых глубин и гидрографической изученности рельефа дна [15, 16] на безопасность арктического судоходства.

Результаты большинства теоретических исследований подтверждены обширными данными, полученными методами имитационного моделирования, и испытаниями в опытовых бассейнах, а также сравнительно редкими данными натурных испытаний. Последнее объясняется сложностью проведения экспериментов, связанных с изменчивостью ледовых условий, их разнообразием и трудностями сбора достоверной информации о параметрах движения судов по всей акватории СМП.

Доступ к архивным и оперативным базам автоматизированных идентификационных систем (АИС) и географических информационных систем (ГИС) [17–20] позволяет осуществлять непрерывный контроль параметров движения всех судов в акватории СМП при различных ледовых условиях и тем самым преодолевать недостатки, присущие традиционным методам проведения натурных морских испытаний.

Использование АИС и ГИС позволяет исследовать воздействие ледовых условий на параметры движения одного судна, групп однотипных судов, а также морских транспортных потоков в целом.

Целью настоящей работы является исследование процессов переформирования сети судоходных маршрутов в акватории СМП при переходе от летнего навигационного периода к зимнему.

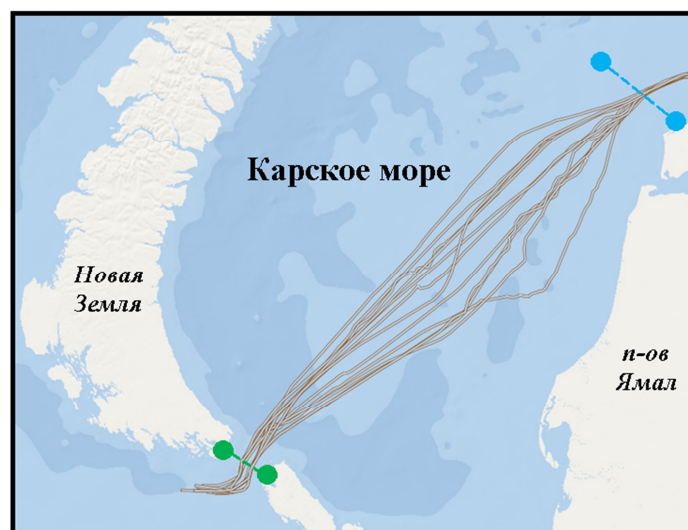
Методы и материалы исследования

Проводились исследования отклонений пути СПГ-танкеров класса Yamalmax на переходе Карского моря от линии генерального направления между проливом Карские Ворота и линией, расположенной к северу от полуострова Ямал, в ледовых условиях, сложившихся в сентябре, январе и в марте 2018 г.

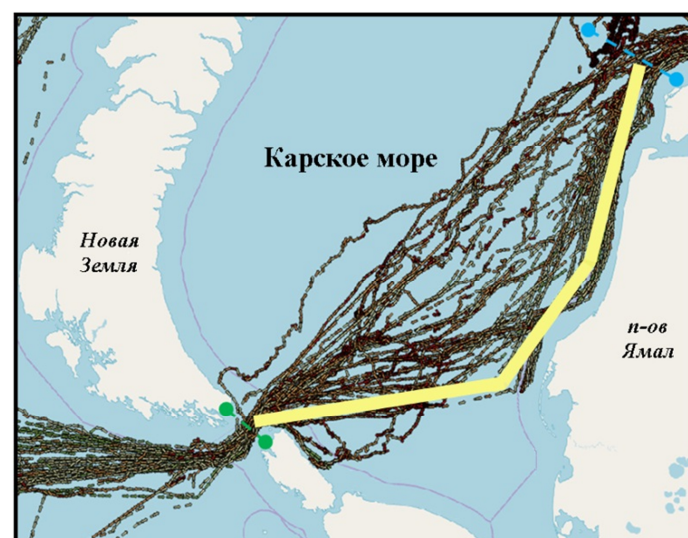
Соответствующие схемы траекторий движения судов приведены на рис. 1.



а



б



в

Рис. 1. Маршруты в 2018 г.: а – в сентябре; б – в январе; в – в марте

Траектории судов строились по координатам, получаемым с АИС, с дискретностью около 10 мин. Протяжённость прямолинейного участка маршрута между проливом Карские Ворота и островом Белый составила 270 миль. В период наблюдений скорость юго-западного течения не превышала 1 уз.

В сентябре на переходе лёд отсутствовал (см. рис. 1, а). Скорость судов изменялась от 13,9 до 16,7 уз при средней скорости 15,3 уз. Все суда двигались параллельными курсами в полосе шириной около 10 миль. Время перехода изменялось от 16,2 до 19,4 ч. Среднее время перехода составило 18 ч.

В январе переход был покрыт тонким льдом (см. рис. 1, б). Путевая скорость судов упала на 30 %. Длина пути в среднем увеличилась на 6 %. Ширина полосы движения судов возросла до 30 миль. Время перехода по маршрутам, совпадающим с генеральной линией и отклоняющимся от неё в северном направлении, увеличилось до 30 ч; по маршрутам, отклоняющимся в южном направлении – до 23 ч.

В марте переход был покрыт льдом (см. рис. 1, в). Длина пути увеличилась до 56 %. От генеральной линии суда отклонялись преимущественно в южном направлении. Величина отклонений достигала 70 миль. Время перехода по маршрутам, проходящим вблизи генеральной линии, увеличилось до 52 ч. Минимальное время перехода составило 36 ч, достигнуто по пути, длина которого составила 319 миль. Средняя путевая скорость на удлинённом пути – 8,8 уз. Путь, соответствующий минимальному времени перехода, на рисунке обозначен полосой.

Для обоснования причин отклонения судна от линии генерального направления разработана модель движения судна во льдах с изменяющейся толщиной льда.

Точки A и B обозначают границы прямолинейного участка пути. Направление AB совпадает с направлением оси Oy . Ось Ox перпендикулярна направлению AB .

Расстояние между точками A и B по прямой линии равно l_0 .

Фактическая протяжённость пути между точками A и B может отличаться от l_0 на величину Δl .

Схема отклонения судна от линии генерального направления $A-B$ представлена на рис. 2.

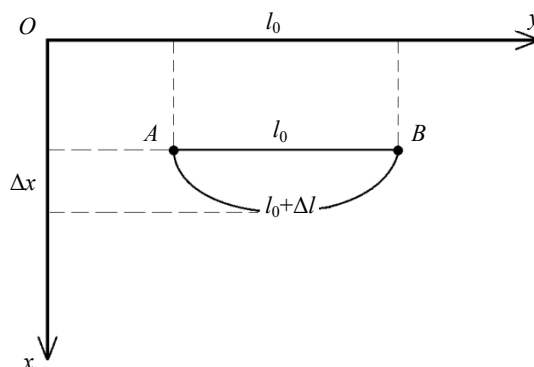


Рис. 2. Схема отклонения судна от направления $A-B$

Время перехода по чистой воде между точками A и B определяется выражением

$$\Delta T_0 = \frac{l_0 + \Delta l}{V_0},$$

где V_0 – скорость судна на чистой воде.

В случае, когда акватория покрыта льдом, $h = > 0$, и толщина льда на всей акватории имеет постоянное значение, $h = \text{const}$, путевая скорость судна падает пропорционально отношению толщины льда h и ледопроеходимости судна, заданной величиной критического значения толщины льда $h_{\text{кр}}$ [5]:

$$V = V_0 \left(1 - \frac{h}{h_{\text{кр}}} \right).$$

Время, затраченное на переход во льдах, описывается выражением

$$\Delta T_h = \frac{l_0 + \Delta l}{V_0 \left(1 - \frac{h}{h_{кр}}\right)}. \quad (1)$$

Формула (1) соответствует множеству линий, отличающихся между собой удлинением пути Δl , величина которого может изменяться в пределах от 0 до $\Delta l_{\max} \rightarrow \infty$.

Из выражения (1) следует, что минимальное время перехода во льдах $\min\{\Delta T_h\}$ затрачивают суда, путь которых проходит по прямой линии, соединяющей точки A и B . При отклонении от прямой линии, когда $\Delta l > 0$, время перехода превышает минимальное значение:

$$\Delta T_h > \min\{\Delta T_h\}. \quad (2)$$

В общем случае, когда толщина льда распределяется по акватории неравномерно, $h \neq \text{const}$, соотношение (2) очевидным не является.

К простейшей модели относится модель, в которой толщина льда изменяется по линейному закону только в одном направлении.

Допустим, что толщина льда на линии AB во всех точках имеет значение h_{AB} . По мере удаления от линии AB по направлению Ox толщина льда уменьшается в соответствии с выражением

$$h_x = h_{AB} - G_h x, \quad (3)$$

где h_x – толщина льда на линии, удалённой от линии AB на расстояние Δx ; G_h – коэффициент изменения толщины льда по направлению Ox .

Коэффициент G_h в выражении (3) представляет собой градиент толщины льда, т. к. соответствует направлению максимального её изменения.

Рассмотрим два маршрута перемещения судна из точки A в точку B . Схема альтернативных маршрутов представлена на рис. 3.

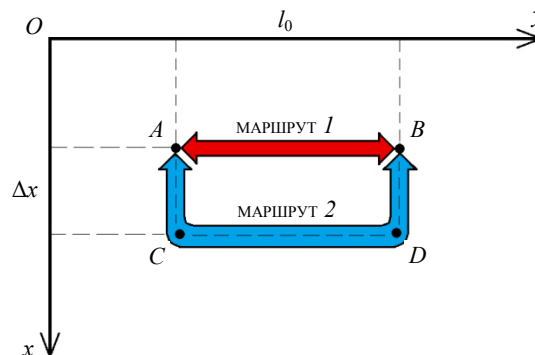


Рис. 3. Схема альтернативных маршрутов

Маршрут 1: по прямой линии из точки A в точку B .

Маршрут 2: от точки A по направлению Ox в точку C , затем по направлению Oy в точку D и по направлению xO в точку B . Точки C и D удалены от линии AB на одинаковое расстояние $\Delta x = AC = BD$. Длина перехода $CD = AB = l_0$.

Таким образом, протяжённость маршрута 1 равна l_0 , протяжённость маршрута 2 составляет $l_0 + 2\Delta x$.

Время перехода по маршруту 1 рассчитывается по формуле

$$\Delta T_1 = \frac{l_0}{V_{AB}} = \frac{l_0}{V_0 \left(1 - \frac{h_{AB}}{h_{кр}}\right)}, \quad (4)$$

где h_{AB} – толщина льда на линии AB ; V_{AB} – скорость перехода по линии AB .

Время перехода судна по маршруту 2 определяется выражением

$$\Delta T_2 = \delta T_{AC} + \delta T_{CD} + \delta T_{DB}. \quad (5)$$

Слагаемые правой части равенства (5) вычисляются по следующим формулам:

$$\delta T_{CD} = \frac{l_0}{V_0 \left(1 - \frac{h_{CD}}{h_{кр}}\right)} = \frac{l_0}{V_{CD}}; \quad (6)$$

$$\delta T_{AC} = \delta T_{DB} = \int_0^{\Delta x} \frac{dx}{V_{AB} - G_V x} = \frac{1}{G_V} \ln \left(\frac{V_{AB}}{V_{CD}} \right), \quad (7)$$

где h_{CD} – толщина льда на линии CD ; G_V – градиент скорости, соответствующий градиенту толщины льда G_h .

Формула (7) может быть представлена в другом виде:

$$\delta T_{AC} = \delta T_{DB} = \frac{\Delta x h_{кр}}{(h_{AB} - h_{CD}) V_0} \ln \left(\frac{h_{кр} - h_{AB}}{h_{кр} - h_{CD}} \right),$$

где

$$\begin{aligned} \frac{h_{AB} - h_{CD}}{\Delta x} &= G_h; \\ G_V &= \frac{V_{CD} - V_{AB}}{\Delta x} = G_h \frac{V_0}{h_{кр}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Сравнение маршрутов 1 и 2 позволяет отметить два разнонаправленных фактора, влияющих на время перехода ΔT_1 и ΔT_2 .

С одной стороны, протяжённость маршрута 1 меньше протяжённости маршрута 2 на величину, равную $2\Delta x$. По этой причине следует ожидать, что время перехода по первому маршруту ΔT_1 будет меньше времени перехода по второму маршруту ΔT_2 .

С другой стороны, толщина льда на первом маршруте h_{AB} превышает толщину льда любого из трёх участков второго маршрута. По этой причине скорость судна на маршруте 1 имеет наименьшее значение по сравнению со скоростью на участках маршрута 2, следовательно, можно ожидать увеличение времени перехода по первому маршруту.

Очевидно, что при $G_h \rightarrow 0$ влияние первого фактора становится преобладающим.

В случае, когда на линии AB толщина льда имеет предельно большое значение, $h_{AB} \rightarrow h_{кр}$, а при удалении от неё на небольшое расстояние толщина льда резко уменьшается, $h_x \rightarrow 0$, преобладающим становится второй фактор. При этом наименьшее время перехода может достигаться за счёт значительного отклонения от линии AB и увеличения протяжённости пути судна.

Для сравнения времени перехода по маршрутам 1 и 2, установленным соотношениями (4) и (5), образуем разность:

$$\Delta T_{12} \stackrel{\leq}{\geq} \Delta T_1 - \Delta T_2. \quad (9)$$

Величина и знак разности ΔT_{12} позволяет определить, по какому из маршрутов судно пройдёт быстрее:

- если $\Delta T_{12} < 0$, то маршрут 1 оказывается предпочтительней;
- если $\Delta T_{12} = 0$, то маршруты равнозначны;
- если $\Delta T_{12} > 0$, то по маршруту 2 судно пройдёт быстрее, несмотря на то, что длина маршрута 2 больше. С учётом выражений (4), (6)–(8) соотношение (9) примет вид:

$$\frac{l_0}{V_{AB}} \stackrel{\leq}{\geq} \frac{l_0}{V_{CD}} + \frac{2\Delta x}{V_{CD} - V_{AB}} \ln \frac{V_{AB}}{V_{CD}}. \quad (10)$$

Решение неравенства (10) относительно смещения Δx имеет вид:

$$\Delta x \geq l_0 \frac{(V_{CD} - V_{AB})^2}{2V_{AB}V_{CD} \ln \frac{V_{AB}}{V_{CD}}}. \quad (11)$$

Условие $\Delta T_{12} < 0$ соответствует такому соотношению скоростей V_{CD} и V_{AB} , при котором смещение Δx превышает правую часть неравенства (11).

Ниже приводятся результаты сравнения маршрутов 1 и 2 при различных количественных показателях распределения толщины льда в акватории.

Результаты исследования

Результаты сравнения маршрутов 1 и 2 при различных количественных показателях распределения толщины льда в акватории приведены в таблице.

Результаты сравнения маршрутов 1 и 2

№	Показатель	Количественные характеристики маршрутов ($l_0 = 270$ миль, $V_0 = 15$ уз)							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	h_{AB} , м	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
2	h_{CD} , м	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0
3	Δx , мили	50	70	50	70	50	50	50	50
4	V_{AB} , уз	5	5	5	5	10	10	10	10
5	V_{CD} , уз	10	10	12	12	12	13	14	15
6	ΔT_1 , ч	54	54	54	54	27	27	27	27
7	ΔT_2 , ч	41	47	35	40	32	30	28	26

Исходные данные модели:

- протяжённость перехода $l_0 = 270$ миль;
- скорость судна по чистой воде $V_0 = 15$ уз;
- направление градиента толщины льда соответствует направлению, перпендикулярному генеральной линии перехода.

Варьируемые параметры:

- толщина льда h_{AB} (№ 1);
- толщина льда h_{CD} (№ 2);
- смещение Δx (№ 3).

Вычисляемые характеристики:

- скорость V_{AB} (№ 4);
- скорость V_{CD} (№ 5);
- время перехода по маршруту 1 – ΔT_1 (№ 6);
- время перехода по маршруту 2 – ΔT_2 (№ 7).

В таблице приведены результаты сравнения времени перехода по маршрутам 1 и 2 для восьми вариантов варьируемых параметров. Каждому варианту соответствует столбец, обозначенный номером от I до VIII.

Получены следующие результаты:

1. Маршрут 2 по времени прохождения является предпочтительней для вариантов I–IV. Несмотря на то, что протяжённость маршрута 2 превышает протяжённость маршрута 1 на 100 миль (варианты I и III) и на 140 миль (варианты II и IV), время перехода по маршруту 2 уменьшается на величину от 7 (вариант II) до 19 ч (вариант III).

При уменьшении градиента толщины льда (попарное сравнение вариантов I и II, а также III и IV), связанного с увеличением смещения Δx от 50 до 70 миль, выигрыш во времени по маршруту 2 уменьшается.

При увеличении градиента толщины льда (попарное сравнение вариантов I и III, а также II и IV), связанного с уменьшением толщины льда h_{CD} с 0,5 до 0,3 м, выигрыш во времени по маршруту 2 увеличивается.

2. Маршрут 1 по времени прохождения является предпочтительней для вариантов V–VI.

При увеличении градиента толщины льда (последовательное сравнение вариантов V–VIII), связанного с уменьшением h_{CD} от 0,3 (вариант V) до 0 м (вариант VIII), преимущество по времени маршрута 1 по сравнению с маршрутом 2 уменьшается от 5-и до 1 часа.

Обсуждение результатов

Результаты сравнительного анализа количественных характеристик маршрутов, выполненного с использованием предложенной аналитической модели сплошного льда с изменяющейся толщиной льда, соответствуют данным объективного контроля параметров движения судов, полученным с использованием баз данных АИС.

В зимний период на рассматриваемом переходе оптимальный по времени перехода маршрут для крупнотоннажных судов смещается относительно летнего маршрута примерно на 70 миль.

В модели, которая использовалась для сравнительного анализа маршрутов, был сделан ряд допущений, касающихся влияния толщины льда на скорость судна, распределения льда по акватории в различные навигационные периоды, навигационных условий 2018 г. и др.

В процессе исследований наряду с АИС использовались ледовые карты, по которым уточнялось распределение льда по площади акватории.

Следует отметить, что по ледовым картам определить распределение толщины льда в акватории СМП с требуемой точностью не представляется возможным. По этой причине изменение толщины льда определялось по изменению путевой скорости судов обратным пересчётом.

Заключение

Использование АИС и ГИС позволяет на качественно новом уровне решать задачи, связанные с исследованием морских транспортных потоков в акватории СМП.

Для обеспечения эффективного и безопасного плавания крупнотоннажных судов в акватории СМП в режиме круглогодичной навигации существующая сеть судоходных маршрутов нуждается в дальнейшем развитии.

Результаты исследования могут быть использованы при поиске оптимальных маршрутов плавания судов в ледовых условиях, при планировании гидрографических работ и развитии перспективной сети судоходных маршрутов в арктических морях.

Настоящая работа выполнена в рамках инициативного проекта по развитию методов морского геопространственного планирования и теории морских транспортных потоков в акватории СМП, реализуемого на Арктическом факультете Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Официальный сайт Администрации Северного морского пути.* URL: <http://www.nsra.ru/ru/glavnaya/novosti/n19.html> (дата обращения: 26.02.2019).
2. *Афонин А. Б.* Комплексная оценка безопасности плавания в акватории Северного морского пути // *Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова.* 2018. № 6 (52). С. 1132–1142.
3. *Ольховик Е. О.* Исследование плотности транспортных потоков 2018 года в акватории Северного морского пути // *Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова.* 2018. № 5 (51). С. 975–982.
4. *Ольховик Е. О.* Анализ скоростных режимов СПГ-танкеров в акватории Северного морского пути в период зимней навигации 2017–2018 гг. // *Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова.* 2018. № 2 (48). С. 300–308.
5. *Снопков В. И.* Управление судном. СПб.: Професионал, 2004. 536 с.
6. *Акмайкин Д. А., Ключева С. Ф., Садюк П. А.* Эвристический поиск оптимального маршрута судна по Северному морскому пути // *Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова.* 2015. № 5 (33). С. 55–61.
7. *Калитенков А. Н., Суслов А. Н., Калитенков Н. В.* К вопросу об оптимальном плавании судов во льдах. Использование радиолокации // *Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та.* 2009. № 2 (12). С. 235–238.
8. *Голиков В. В., Костенко П. А., Мазур О. Н.* Определение ледопроеходимости судов для плавания в неарктических морях // *Судовые энергетические установки.* 2014. № 33. С. 183–190.
9. *Сазонов К. Е.* Теоретические основы плавания судов во льдах. СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010. 274 с.
10. *Лобанов В. А.* Численная оценка ледовых качеств судна. Управляемость // *Вестн. науч.-техн. развития.* 2012. № 8 (60). С. 18–33.

11. Ионов Б. П. Курсовая устойчивость судна во льдах // Тр. Нижегород. гос. техн. ун-та им. П. Е. Алексеева. 2010. № 3 (82). С. 167–173.
12. ManWo Ng. Vessel Speed Optimization in Container Shipping: A New Look // Journal of the Operational Research Society. 2018. March 23. P. 1–7.
13. Миронов Е. У., Ашик И. М., Дымов В. И., Кулаков М. Ю., Клячкин С. В. Модели и методы расчёта и прогноза ледовых и океанографических условий в арктических морях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 16–28.
14. Сероветников С. С., Фролов С. В., Клейн А. Э. Судовой телевизионный комплекс – реализация автоматизированной системы натуральных измерений толщины морского льда // Рос. Арктика. 2018. № 2. С. 41.
15. Tezиков А., Afonin A., Kljuev V. Research of quantitative indicators of tightness of the northern sea route (NSR) (2017) // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC. 2017.
16. Клюев В. В. Формализация оценки безопасности акватории Северного морского пути // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2016. № 4 (38). С. 69–74.
17. Ol'khovik E. Geoinformation system use for transportations planning in water area of Northern Sea Route // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2018. Vol. 194. N. 7. P. 072010.
18. Морской портал Сканэкс. URL: <http://www.scanex.ru/cloud/maritime/> (дата обращения: 25.02.2019).
19. Tsvetkov M., Rubanov D. An Intelligent GIS-Based Approach to Vessel-Route Planning in the Arctic Seas // Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17). Springer, Cham, 2018. P. 71–86.
20. Осипов В. Ю. Моделирование морских транспортных систем на основе интеллектуальных геоинформационных систем // Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 29–30 июня 2011 г.). СПб.: Центр технологии судостроения и судоремонта, 2011. С. 88–92.

Статья поступила в редакцию 01.04.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ольховик Евгений Олегович – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры основ инженерного проектирования; olhovikeo@gumrf.ru.

Андреева Екатерина Валерьевна – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; ассистент кафедры геодезии; kaf_gm@gumrf.ru.

Тезиков Александр Львович – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой гидрографии моря; TezikovAL@gumrf.ru.



ICE INFLUENCE ON FORMING SHIPPING ROUTES IN THE WATER AREA OF THE NORTHERN SEA ROUTE

E. O. Olkhovik, E. V. Andreeva, A. L. Tezikov

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint-Petersburg, Russian Federation*

Abstract. The article focuses on the processes of forming the shipping routes in the waters of the Northern Sea Route when passing from the summer navigation period to the winter navigation period. The main indicators characterizing the volume of freight carried out along the routes

of the Northern Sea Route in 2018 are presented. There has been stated the change in the structure of the Arctic fleet and an increase in the share of large-tonnage vessels operating in the Kara Sea in the year-round navigation mode. The comparative data of monitoring the movement parameters of LNG-tankers (YamalMax type) obtained in January, March and September 2018 are given. The causes of changes in the trajectory of ships when sailing in ice have been revealed and analyzed. The results of the analytical review of works that are devoted to the study of the influence of the ice parameters on maneuverability of the vessels and the development of methods for finding the best routes along the Northern Sea Route are shown. To carry out studies of the ship speed, the tools of geo-information systems in geo-spatial formulation were used. The analytical model of the vessel navigation through the ice between two fixed points has been proposed. The main criteria for comparing shipping routes have been defined. The results of the comparative quantitative estimates of the vessel routes are given. Recommendations on using the results obtained in the theory and practice of Arctic shipping are given. The studies are carried out as part of an initiative project to develop a theory of sea transport flows in the Northern Sea Route water area, implemented at the Arctic Faculty of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. The results of this paper can be used when searching for the best routes for navigation in the ice conditions, when planning hydrographic works and developing a promising network of shipping routes in the Arctic seas.

Key words: Northern Sea Route, shipping routes, loss of speed in the ice, transition time, automated identification system, large-capacity vessels, navigation period, geo-information system.

For citation: Olkhovik E. O., Andreeva E. V., Tezikov A. L. Ice influence on forming shipping routes in the water area of the Northern Sea Route. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;2:26-36. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.

REFERENCES

1. *Ofitsial'nyi sait Administratsii Severnogo morskogo puti* [Official website of the Administration of the Northern Sea Route]. Available at: <http://www.nsra.ru/ru/glavnaya/novosti/n19.html> (accessed: 26.02.2019).
2. Afonin A. B. Kompleksnaia otsenka bezopasnosti plavaniia v akvatorii Severnogo morskogo puti [Comprehensive assessment of safe navigation in the waters of the Northern Sea Route]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2018, no. 6 (52), pp. 1132-1142.
3. Ol'khovik E. O. Issledovanie plotnosti transportnykh potokov 2018 goda v akvatorii Severnogo morskogo puti [Studying the density of traffic flows in 2018 in the waters of the Northern Sea Route]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2018, no. 5 (51), pp. 975-982.
4. Ol'khovik E. O. Analiz skorostnykh rezhimov SPG-tankerov v akvatorii Severnogo morskogo puti v period zimnei navigatsii 2017–2018 gg. [Analysis of the speeds of LNG tankers in the waters of the Northern Sea Route in the period of winter navigation in 2017–2018]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2018, no. 2 (48), pp. 300-308.
5. Snopkov V. I. *Upravlenie sudnom* [Steering the ship]. Saint-Petersburg, Professional Publ., 2004. 536 p.
6. Akmaikin D. A., Kliueva S. F., Sadiuk P. A. Evristicheskii poisk optimal'nogo marshruta sudna po Severnomu morskomu puti [Heuristic search for the optimal route of the ship in the Northern Sea Route]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2015, no. 5 (33), pp. 55-61.
7. Kalitenkov A. N., Suslov A. N., Kalitenkov N. V. K voprosu ob optimal'nom plavanii sudov vo l'dakh. Ispol'zovanie radiolokatsii [On the issue of optimal navigation of ships in the ice. Use of radar]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, no. 2 (12), pp. 235-238.
8. Golikov V. V., Kostenko P. A., Mazur O. N. Opredelenie ledoprokhodimosti sudov dlia plavaniia v nearkticheskikh moriakh [Determining the vessel icebreaking capacity for navigation in non-Arctic seas]. *Sudovye energeticheskie ustanovki*, 2014, no. 33, pp. 183-190.
9. Sazonov K. E. *Teoreticheskie osnovy plavaniia sudov vo l'dakh* [Theoretical grounds of ship navigation in ice]. Saint-Petersburg, TsNII imeni akademika A. N. Krylova, 2010. 274 p.
10. Lobanov V. A. Chislennaia otsenka ledovykh kachestv sudna. Upravliaemost' [Numerical evaluation of the vessel's ice qualities. Ship controllability]. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiia*, 2012, no. 8 (60), pp. 18-33.
11. Ionov B. P. Kursovaia ustoichivost' sudna vo l'dakh [Vessel course stability in the ice]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni R. E. Alekseeva*, 2010, no. 3 (82), pp. 167-173.
12. ManWo Ng. Vessel Speed Optimization in Container Shipping: A New Look. *Journal of the Operational Research Society*, 2018, March 23, pp. 1-7.
13. Mironov E. U., Ashik I. M., Dymov V. I., Kulakov M. Iu., Kliachkin S. V. Modeli i metody rascheta i prognoza ledovykh i okeanograficheskikh uslovii v arkticheskikh moriakh [Models and methods for calculating and forecasting ice and oceanographic conditions in the Arctic seas]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2010, no. 2 (85), pp. 16-28.

14. Serovetnikov S. S., Frolov S. V., Klein A. E. Sudovoi televizionnyi kompleks – realizatsiia avtomatizirovannoi sistemy naturnykh izmerenii tolshchiny morskogo l'da [Ship television complex as implementation of automated system of on-site measurements of the sea ice thickness]. *Rossiiskaia Arktika*, 2018, no. 2, p. 41.
15. Tezikov A., Afonin A., Kljuev V. Research of quantitative indicators of tightness of the northern sea route (NSR) (2017). *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC*, 2017.
16. Kliuev V. V. Formalizatsiia otsenki bezopasnosti akvatorii Severnogo morskogo puti [Formalization of safety assessment of the Northern Sea Route water area]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2016, no. 4 (38), pp. 69-74.
17. Ol'khovik E. Geoinformation system use for transportations planning in water area of Northern Sea Route. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2018, vol. 194, no. 7. P. 072010.
18. *Morskoi portal Skaneks* [Sea portal Scanex]. Available at: <http://www.scanex.ru/cloud/maritime/> (accessed: 25.02.2019).
19. Tsvetkov M., Rubanov D. An Intelligent GIS-Based Approach to Vessel-Route Planning in the Arctic Seas. *Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17)*. Springer, Cham, 2018. Pp. 71-86.
20. Osipov V. Iu. Modelirovanie morskikh transportnykh sistem na osnove intellektual'nykh geoinformatsionnykh sistem. Imitatsionnoe i kompleksnoe modelirovanie morskoi tekhniki i morskikh transportnykh sistem [Modeling maritime transport systems using intelligent geographic information systems. Simulated and integrated modeling of marine equipment and marine transport systems]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Sankt-Peterburg, 29–30 iyunia 2011 g.)*. Saint-Petersburg, Tsentr tekhnologii sudostroeniia i sudoremonta, 2011. Pp. 88-92.

The article submitted to the editors 01.04.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olkhovik Evgeniy Olegovich – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Engineering Design Principles; olhovikeo@gumrf.ru.

Andreeva Ekaterina Valerievna – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Assistant of the Department of Geodesy; kaf_gm@gumrf.ru.

Tezikov Aleksandr Lvovich – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Hydrography of the Sea; TezikovAL@gumrf.ru.

