

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-867-879

PROSPECTS FOR UNESCORTED NAVIGATION OF ARC7 ICE-CLASS VESSELS IN THE REGION OF THE NEW SIBERIAN ISLANDS DURING THE WINTER PERIOD

A. V. Kholoptsev^{1,2}, S. A. Podporin¹

¹ — Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

² — Sevastopol branch of FSBI “N.N. Zubov’s State Oceanographic Institute”,
Sevastopol, Russian Federation

The prospects for unescorted navigation of Arc7 ice-class vessels in the region of the New Siberian archipelago and its adjacent waters during the winter navigation period are analyzed in the paper. As new hydrocarbon and coal fields are actively developed and commissioned in the Arctic on the regular basis, the number of high-classed ice strengthened vessels designed for year-round operation on the Northern Sea Route continues to grow rapidly. Considering the global tendencies of climate warming and subsequent ice coverage decline, ship operators become more interested using the eastern sections of the Northern Sea Route during the winter period, particularly those passing in the Laptev and East Siberian Seas. At present, these water areas are hard to reach without icebreaker assistance in the winter–spring months and very rarely used for transit due to the heavy ice situation.

ICDC reanalysis is used to estimate ice conditions and their change trends in the considering area. The applicability of this data source is confirmed by comparing its results with the actual ice measurements carried out at polar weather stations “Ostrov Kotelnii” and “Proliv Sannikova” in the period of 1979–2017. By means of the reanalysis data, the values of mean ice thickness in the waters surrounding the New Siberian Islands in December–March of the above period are derived and the probability estimates of collision with the ice of unacceptable thickness, the latter of which exceed 1.4 m for the Arc7 ice-class vessel, are obtained. On this basis, the mean change rates for such probabilities for all parts of considering region and the major trends of ice situation development in the next decade are revealed. The results are presented in graphics on contour maps by use of Delaunay triangulation technique.

It is concluded that despite overall improvement of ice conditions in the Arctic, the considering area including the Sannikov Strait will remain very risky for unescorted navigation even for the high-class arctic vessels. The study demonstrates that the high-latitude route passing to the North of the Anzhu Islands will gradually become a better alternative to the Sannikov strait during December–January. Further comprehensive studies both in hydrographical and hydrometeorological aspects of high-latitude shipping routes are required on continuous basis to keep up with the rapidly changing arctic environment.

Keywords: Northern Sea Route, New Siberian Islands, mean ice thickness, safety of shipping, winter navigation, Arc7 ice class, trend, reanalysis

For citation:

Kholoptsev, Aleksandr V., and Sergey A. Podporin. “Prospects for unescorted navigation of arc7 ice-class vessels in the region of the new siberian islands during the winter period.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 867–879. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-867-879.

УДК 656.61.052: 551.583

ПЕРСПЕКТИВЫ БЕЗЛЕДОКОЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ СУДОВ КЛАССА ARC7 В РАЙОНЕ НОВОСИБИРСКИХ ОСТРОВОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

А. В. Холопцев^{1,2}, С. А. Подпорин¹

¹ — ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Севастополь, Российская Федерация

² — Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт
имени Н. Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация

Исследованы перспективы безледокольной навигации судов ледового класса Arc7 в акваториях, прилегающих к архипелагу Новосибирские острова, в зимний период. Отмечен существенный рост числа судов данного класса в связи с вводом в эксплуатацию новых месторождений в Арктике, рассмотрены перспективы дальнейшего увеличения работающих в круглогодичном режиме судов на трассах Севморпути. В свете глобальных тенденций потепления климата и сокращения ледового покрова Арктики отмечена возрастающая актуальность маршрутов, проходящих через восточную часть Севморпути в зимний период, являющихся до сих пор крайне труднодоступными из-за сложной ледовой обстановки. Для наиболее сложного участка трассы Севморпути — района Новосибирских островов и пролива Санникова — выполнены приблизительные оценки тенденций изменения ледовой обстановки на ближайшее десятилетие. В качестве исходных данных использованы результаты реанализа ICDC, адекватность которых подтверждена сравнением с данными измерений, проводимых на полярных станциях «Остров Котельный» и «Пролив Санникова» за период с 1979 по 2017 гг. По данным реанализа, получены средние значения толщины льда в исследуемом районе. Выполнена оценка вероятностей, с которыми суда класса Arc7 могут встретить льды непреодолимой толщины в зимние месяцы, а также в марте. Определены средние скорости изменения таких вероятностей для всех участков исследуемого района, что позволило выявить тенденции изменения ледовых условий. Результаты представлены графически на контурных картах с использованием триангуляции Делоне. Установлено, что несмотря на то, что в целом ледовые условия в Арктике улучшаются, район Новосибирских островов и, в частности, пролив Санникова, будут оставаться крайне тяжелыми для самостоятельной навигации судов рассматриваемого класса. Показано, что в декабре–январе более доступной альтернативой судоходной трассе через пролив Санникова будет служить высокоширотный маршрут, проходящий к северу от островов Анжу. Отмечена необходимость дальнейшего изучения высокоширотных трасс как в гидрографическом, так и гидрометеорологическом отношении.

Ключевые слова: Северный морской путь, Новосибирские острова, средняя толщина льда, безопасность судоходства, зимняя навигация, ледовый класс Arc7, тенденция, реанализ.

Для цитирования:

Холопцев А. В. Перспективы безледокольной навигации судов класса Arc7 в районе Новосибирских островов в зимний период / А. В. Холопцев, С. А. Подпорин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 867–879. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-867-879.

Введение (Introduction)

Суровый климат и ледовые условия Арктики предъявляют высокие требования к флоту, работающему на Северном морском пути (СМП). Для выполнения круглогодичной навигации по всей акватории СМП суда должны иметь класс ледовых усилений, как правило, не ниже Arc7. Существующий флот судов такого класса на момент проведения исследования представлен газозавозами типа «Ямалмакс» (15 ед.), танкерами серии «Штурман» (6 ед.), контейнеровозами проекта «Норильский никель» (5 ед.), танкерами для перевозки газоконденсата типа «Борис Соколов» (2 ед.), а также судами ряда других единичных проектов. В пятилетней перспективе ожидается ввод в эксплуатацию дополнительно не менее двадцати судов класса Arc7^{1,2}. С учетом устойчивых климатических изменений и сокращения ледового покрова Арктики вопрос достаточности их возможностей для самостоятельного преодоления наиболее сложных акваторий СМП в зимне-весенний навигационный период в перспективе ближайших десятилетий является актуальным для оценки экономических перспектив развития СМП и обеспечения безопасного и устойчивого судоходства в Арктике.

В настоящее время проблемам доступности арктических акваторий для регулярного судоходства посвящено большое количество научных работ. В частности, в работе [1] предпринята попытка всестороннего прогноза по срокам открытия судоходных путей в Арктике в течение XXI в. при сохранении нынешних темпов таяния арктических льдов. Отмечается, что к середине текущего столетия для массового судоходства будут открыты высокоширотные, в том числе трансполярные арктические маршруты. Подобным выводы сделаны авторами работ [2], [3]. Пер-

¹ Перспективная потребность в судах до 2024 г. для обеспечения перевозок по Севморпути оценивается в 74–76 ед. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://portnews.ru/news/271249> (дата обращения: 01.07.2019)

² Морские итоги ПМЭФ–2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://portnews.ru/news/271249> (дата обращения: 01.07.2019).

спективы транзитного торгового судоходства в настоящее время вызывают все больший интерес у ряда азиатских и европейских стран, что подтверждается регулярными публикациями в зарубежной научной периодике [4]–[7]. В этих работах авторами сделаны выводы о том, что несмотря на то, что климат Арктики становится более благоприятным, навигационный период для большинства транзитных судов пока остается довольно непродолжительным: как правило, с августа по октябрь. При этом судовладельцы готовы всерьез рассматривать переходы по Севморпути только при условии безледокольного плавания. Указанные исследования проводятся в основном для летне-осеннего навигационного периода. О зимней транзитной навигации в перспективе ближайших десятилетий пока речь не идет.

Вместе с тем увеличивающийся флот судов высокого ледового класса (Arc7 и выше) позволяет уже сейчас задаваться вопросом о возможности их работы в зимнюю навигацию на транзитных маршрутах. Публикации на эту тему немногочисленны. В частности, вопросы доступности наиболее сложного участка СМП — Восточно-Сибирского моря — исследованы в работе [8]. Авторы отмечают высокие риски безледокольной навигации из-за крайне неустойчивого климата региона, образующихся мощных ледяных массивов (Новосибирского и Айонского), высокой вероятности выноса сплоченных льдов со сжатием на судоходные трассы. Более подробно климатические и, в частности, ледовые условия региона рассмотрены в работе [9], на основе данных которой также можно сделать вывод о том, что навигация в восточной части трассы СМП в зимний период крайне опасна.

Несмотря на указанные ранее риски, единичные попытки транзитного прохода по СМП в зимний период тем не менее предпринимаются в научной публикации [10]. Так, 6 января 2018 г. танкер-газовоз «Эдуард Толль» (тип «Ямалмакс») при движении с востока на запад пересек мыс Челюскин, установив рекорд по наиболее позднему самостоятельному транзиту СМП на тот момент. Спустя год новый рекорд был установлен караваном в составе танкера-газовоза «Борис Давыдов» (тип «Ямалмакс») и танкера для перевозки газоконденсата «Борис Соколов» (оба имеют ледовый класс Arc7), которые, также двигаясь с востока на запад, прошли траверз мыса Челюскин 14 января 2019 г. Примечательно, что вышедший на СМП первым танкер «Борис Соколов» в районе Новосибирских островов, встретив сплошной лед, не смог продолжить движение самостоятельно, лег в дрейф в ожидании более мощного танкера-газовоза «Борис Давыдов», имеющего на винтах 45 МВт, и только под его проводкой смог следовать далее (рис. 1). Все суда в итоге благополучно завершили транзит, но в целом такие переходы можно признать скорее «экспериментальными», чем типичными.

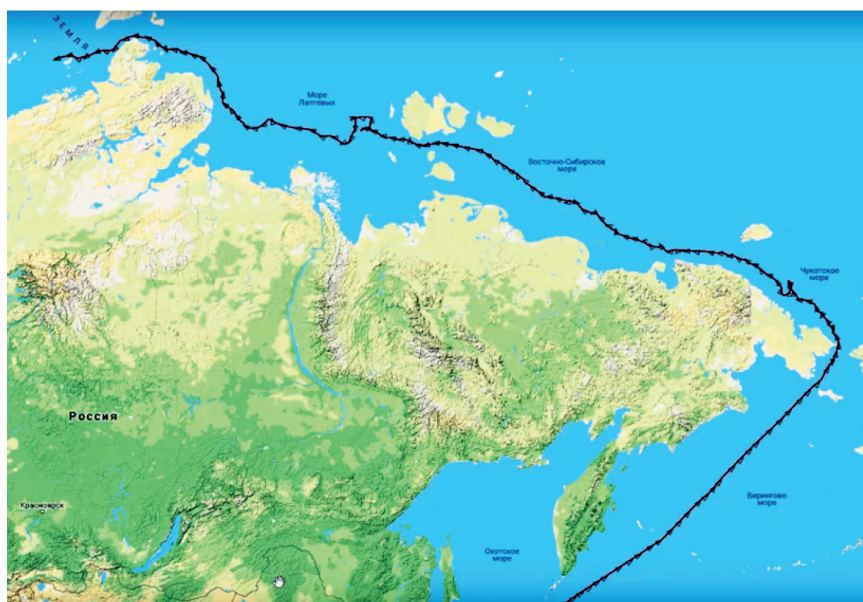


Рис. 1. Маршрут транзитного прохода СМП танкером «Борис Соколов»
(по данным сайта MarineTraffic.com)

Основной маршрут трассы СМП в районе Новосибирских островов проходит по проливу Санникова. В проливе круглый год складываются непростые ледовые условия, которые зимой дополнительно осложняются тем, что к его западному и восточному входам океанические течения Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых выносят дрейфующие льды. Наиболее мощные льды прибывают со стороны моря Лаптевых, в которое впадают реки Лена, Хатанга, Анабар, Оленёк и Яна. За год эти реки доставляют в море более 730 км³ пресной воды, вызывая ощутимое опреснение его вод и способствуя интенсивному ледообразованию в зимний период. В районе немало также и речного льда, принесенного этими реками [11]. В результате у западного побережья Новосибирских островов формируются ледовые условия, трудно проходимые даже для современных ледоколов [8], [12].

Для того чтобы планировать переход в указанном районе, особенно в зимний период, требуется иметь максимально полную информацию о ледовой обстановке. Ее мониторинг в районе пролива Санникова ежедекадно осуществляют полярные станции «Остров Котельный» (76°00' с. ш.; 137°54' в. д.) и «Пролив Санникова» (74°42' с. ш.; 138°54' в. д.)¹. Однако для оценки характеристик ледовых условий по всей акватории района Новосибирских островов этой информации недостаточно. Спутниковый мониторинг толщин льда также имеет свои методические ограничения, в том числе по зоне покрытия и задержки предоставляемой информации, и далеко не всегда дает точные оценки [13]. Таким образом, решение о переходе через рассматриваемый район, а также выбор наиболее безопасного и быстрого маршрута в нем представляют значительные трудности из-за неопределенности, вызванной недостаточным гидрометеорологическим обеспечением. Последствия неправильной оценки ледовой обстановки и выбора неоптимального маршрута наглядно видны на представленном примере движения танкера «Борис Соколов», полностью потерявшего ход к западу от Новосибирских островов и вынужденного ожидать помощи.

Одним из способов борьбы с неопределенностью при оценке ледовой обстановки и тенденций ее изменения является математическое моделирование. Существующие математические модели, в том числе [14], верифицированные с использованием данных полярных станций и метеоспутников, позволяют восстановить предысторию (реанализ) изменения среднемесячных значений средней толщины дрейфующих льдов в любом районе Арктики и Антарктики. Подобная информация, учитывающая происходящие перемены климата, дает возможность оценить вероятность появления в интересующем районе льда, представляющего опасность для судна с определенным ледовым классом, а также выявить современную тенденцию ее изменения. При наличии этих данных судоводные компании и экипажи судов, совершающих арктическое плавание, могут более обоснованно подходить к планированию маршрутов своих судов в том или ином районе в определенный сезон.

Настоящая работа ставит целью выявить тенденции изменения ледовой обстановки в районе архипелага Новосибирские острова и оценить перспективы безледокольных транзитных переходов через указанный район судами ледового класса Arc7 в зимний период. Для достижения указанной цели рассмотрены следующие задачи:

- 1-я задача — определение средних значений толщины льда на различных участках акваторий, прилегающих к Новосибирским островам, для зимних месяцев в современном периоде;
- 2-я задача — оценка вероятности появления в рассматриваемом районе льдов, представляющих опасность для судов класса Arc7 в период зимней навигации;
- 3-я задача — выявление тенденций изменения вероятности появления таких льдов в зимний период в данном районе с учетом динамики изменения ледовой обстановки с 1979 по 2017 гг.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Знак «Arc7», присваиваемый судам Российским морским регистром судоходства (РМРС), на сегодняшний день является, фактически, самым высоким ледовым классом действующих торговых судов. Суды этого класса допущены к самостоятельному плаванию в зимне-весеннюю навигацию в сплоченных однолетних арктических льдах при их толщине до 1,4 м и 1,7 м в лет-

¹ Основные сведения о действующих гидрометеорологических станциях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://data.oceaninfo.ru/meta/gms/index.jsp> (дата обращения: 01.07.2019).

нее-осеннюю навигацию при эпизодическом преодолении ледяных перемычек набегами. Плавание в канале за ледоколом разрешено в однолетних льдах толщиной до 2,0 м в зимнее-весеннюю и до 3,2 м в летнее-осеннюю навигацию [15].

Учитывая ограниченность данных фактических измерений параметров льда в исследуемом районе, для решения поставленных задач были использованы результаты реанализа, проводимого на постоянной основе Объединенным центром климатических данных Гамбургского университета (Integrated Climate Data Center — ICDC)¹. Реанализ представляет собой метод восстановления данных о значениях основных характеристик атмосферы и океана, которые имели место в прошлом, путем математического моделирования распределения интересующих характеристик. Моделирование выполняется на основе массива доступных данных фактических измерений, осуществляемых наземными станциями либо с помощью спутников. Математические модели постоянно обновляются по мере поступления новых данных измерений. Результаты реанализа успешно применяются в гидрометеорологии не только для понимания ситуации в прошлом, но и для оценки тенденций изменений состояния атмосферы и океана в будущем. Подробнее математическая основа реанализа представлена в работе [14].

Используемый в настоящей работе реанализ ICDC содержит результаты математического моделирования среднемесячных значений толщины льда для любых районов Мирового океана с дискретностью 13×13 км, включая арктические акватории. На момент проведения исследования указанная информация доступна с официального сайта ICDC в период с января 1979 г. по декабрь 2017 г. Применимость данных реанализа ICDC для района Новосибирских островов в зимние месяцы была проверена путем сравнения с результатами измерений толщины льда на полярных станциях «Пролив Санникова» и «Остров Котельный» за период 1979–2017 гг. Указанная информация доступна через портал системы ЕСИМО². Измерения на этих полярных станциях проводятся полярниками ежедекадно в фиксированных пунктах акватории, удаленных от берега, соответственно, на 200 м и 360 м. По этим данным вычислялись соответствующие среднемесячные значения толщины льда в проливе.

В качестве примера на рис. 2 отображены межгодовые изменения среднемесячных значений толщины льда в проливе Санникова в зимние месяцы по результатам ее фактических измерений на полярной станции «Пролив Санникова».



Рис. 2. Межгодовые изменения среднемесячных значений толщины льда (Н) в проливе Санникова по данным фактических измерений на полярной станции «Пролив Санникова»

Условные обозначения:

— декабрь; — январь; — февраль; — март

Как следует из этого рисунка, очевидная тенденция к снижению толщины льда в проливе Санникова наблюдается в декабре. В остальные месяцы аналогичных тенденций выявлено

¹ Integrated Climate Data Center. Ocean [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/ocean> (дата обращения: 01.07.2019).

² Единая Государственная система информации об обстановке в Мировом океане [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://data.oceaninfo.ru> (дата обращения: 01.07.2019).

не было. При этом, из-за меньшего количества льда, образовавшегося в декабре, средние значения толщины льда за период 2008–2017 гг. ниже, чем за 1979–2017 гг. Аналогичные результаты получены также на полярной станции «Остров Котельный». Результаты измерений на этих станциях представлены в табл. 1.

Таблица 1

Усредненные за 1979–2017 гг. и за 2008–2017 гг. среднемесячные значения толщины льда (H) в зимние месяцы на полярных станциях «Пролив Санникова» и «Остров Котельный»

Среднемесячные значения H , см							
на станции «Остров Котельный»				на станции «Пролив Санникова»			
Месяц	1979–2017 гг.	2008–2017 гг.	Разность	Месяц	1979–2017 гг.	2008–2017 гг.	Разность
Декабрь	80,3	59,9	20,4	Декабрь	81,2	56,4	24,8
Январь	120,0	96,8	23,2	Январь	117,5	99,2	18,3
Февраль	148,9	128,8	20,1	Февраль	149,8	138,6	11,2
Март	172,7	151,4	21,3	Март	177,7	170,1	7,6

При проведении проверки применимости реанализа в качестве источника фактических данных оценивалась достоверность статистического вывода о том, что межгодовые изменения среднемесячных значений толщины льда в зимние месяцы (по данным реанализа), усредненные по всем участкам рассматриваемого района, статистически значимо связаны с изменениями того же показателя, полученного по данным полярных станций. Принято допущение, согласно которому реанализ может быть применен как источник фактического материала только в том случае, если достоверность такого вывода составит не менее 95 %. Для оценки фактических значений достоверности этого вывода использованы метод корреляционного анализа и критерий Стьюдента [16]. В сопоставляемых временных рядах были предварительно скомпенсированы линейные тренды, пороговый уровень коэффициента их корреляции определен с учетом числа степеней свободы изучаемых рядов и равен 0,32.

При решении первой задачи учитывалось, что в рассматриваемом периоде в Арктике наблюдалось потепление климата, вследствие чего процесс изменения средней толщины льда на участках акватории изучаемого района и их ледовитости являлся нестационарным. Вследствие этого было признано целесообразным характеризовать его современное состояние на определенном участке изучаемой акватории за период 2008–2017 гг. при помощи математического ожидания среднемесячных значений толщины льда.

В рамках второй задачи проводилась приближенная оценка вероятностей появления в изучаемом районе льдов, представляющих опасность для судов класса Arc7, за период 2008–2017 гг. Вероятность оценивалась как отношение количества относящихся к этому периоду лет, в течение которых среднемесячное значение толщины льда превышало допустимый для ледового класса предел к общему количеству таких лет. В качестве предельного значения была выбрана толщина льда, равная 1,4 м, исходя из того, что данное значение указано в описании ледового класса Arc7 как максимально допустимое при условии самостоятельного плавания в однолетних сплошных льдах [15]. Однако в контексте данного исследования речь идет не о максимальных (их практически невозможно заранее прогнозировать из-за плохо поддающейся оценке дисперсии распределения толщин льда), а о средних значениях, которые, очевидно, будут меньше. Тем не менее учитывая, что заявленная и подтвержденная испытаниями ледопроеходимость судов проекта «Ямалмакс» (а именно они в обозримой перспективе будут главными претендентами на совершение транзитных переходов в зимний период) в сплошном льду составляет 2,1 м (при движении кормой вперед)¹, а при скорости 7,2 уз эти суда способны преодолевать сплошной лед толщиной 1,5 м,

¹ Высокие стандарты: испытания в арктических льдах [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://sovcomflot.ru/press_office/news_articles/item94453.html (дата обращения: 01.07.2019).

было принято решение оставить значение, равное 1,4 м, в качестве ориентировочного предельного среднемесячного значения. Дрейфующий лед такой (либо меньшей) толщины в рассматриваемом районе, как правило, является однолетним (средняя толщина многолетних льдов в этом районе обычно находится в пределах 2–4 м).

В качестве количественной меры тенденции изменения вероятности появления льдов недопустимой толщины на участках акватории изучаемого района рассматривался угловой коэффициент B линейного тренда значений данного показателя, рассчитанных в скользящем окне длиной 10 лет. Зная тренд на определенном участке, а также оцененную в рамках решения второй задачи вероятность появления льда недопустимой толщины в период 2008–2017 гг. (P_{08-17}), можно оценить вероятность аналогичного события для следующего десятилетия P_{18-27} :

$$P_{18-27} = P_{08-17} + 10B.$$

Подобные оценки можно считать адекватными при условии, что тенденция изменения толщины льда в определенном районе в рассматриваемые месяцы, выявленная за период 1979–2017 гг., сохранится в будущем. Результаты, полученные при решении указанных задач, отображались на контурной карте изучаемого региона с использованием метода триангуляции Делоне [17].

Результаты (Results)

Результаты проверки достоверности данных реанализа ICDC с использованием корреляционного анализа и критерия Стьюдента представлены в табл. 2, откуда следует, что для всех зимних месяцев результаты реанализа изменений среднемесячных значений средней толщины льда в проливе Санникова статистически значимо связаны с данными фактических измерений той же характеристики на полярных станциях. Таким образом, было принято решение о допустимости применения реанализа ICDC в качестве источника фактического материала.

Таблица 2

Значения отношения коэффициента корреляции временных рядов среднемесячных значений толщины льда в проливе Санникова по данным реанализа и результатов измерения на полярных станциях к пороговому уровню 0,32

Полярная станция	Декабрь	Январь	Февраль	Март
«Остров Котельный»	1,06	1,14	1,17	1,12
«Пролив Санникова»	1,11	1,15	1,18	1,14

При решении первой задачи для зимних месяцев, а также марта периода 2008–2017 гг. для каждого участка изучаемого района были определены значения средней толщины встречающегося на нем льда. Результаты представлены в виде распределений толщин льда на контурных картах региона с использованием триангуляции Делоне [17] — рис. 3.

Из рис. 3, *а* видно, что в декабре практически вся акватория архипелага Новосибирских островов была проходимой для судов ледового класса Arc7. В море Лаптевых, за исключением его участков, расположенных непосредственно у западных побережий архипелага, и на большей части акватории Восточно-Сибирского моря значения средней толщины льда не превышали 1,4 м. Пролив Санникова в декабре был вполне проходим, хотя более безопасной альтернативой являлась высокоширотная трасса, огибающая острова Анжу с севера. На рис. 3, *б* видно, что в январе на большей части рассматриваемого района ледовые условия становились предельными для судов ледового класса Arc7. Пролив Санникова и западная часть архипелага во второй половине января, как правило, покрывались льдами толщиной более 1,7 м, что делало самостоятельную навигацию там крайне рискованной. Вместе с тем обход островов Анжу с севера по высокоширотному маршруту был еще вполне возможен.

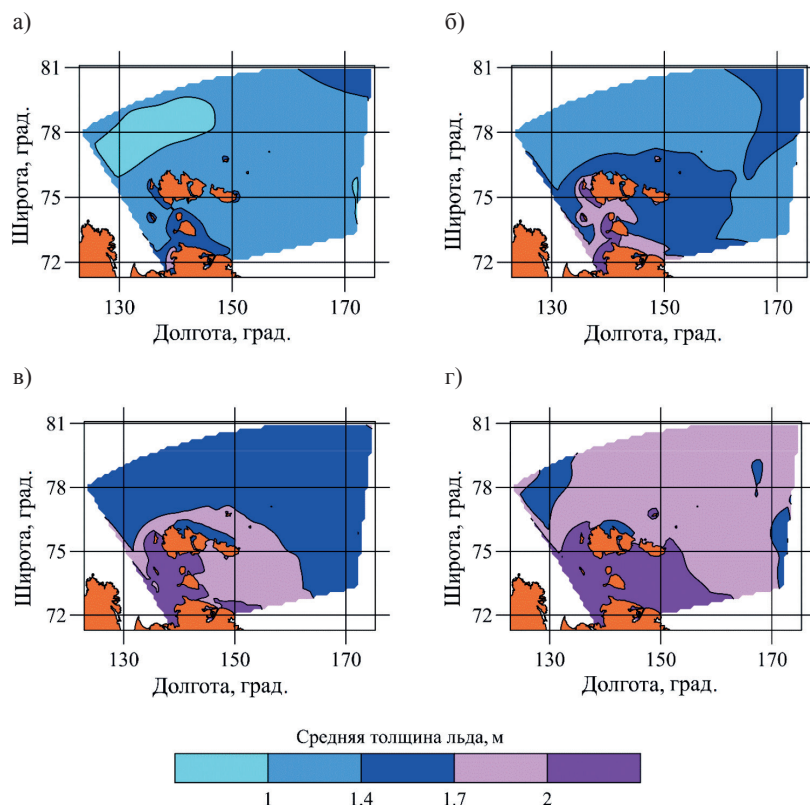


Рис 3. Средние за период 2008–2017 гг. среднемесячные значения толщины льдов (м) на различных участках акватории района Новосибирских островов:
а — в декабре; б — в январе; в — в феврале; г — в марте

В феврале (рис. 3, в) условия в рассматриваемом районе далее усложнялись. Практически вокруг всего архипелага толщина льда превышала 1,7 м, а в проливе Санникова и к западу от архипелага — 2 м. Самостоятельная навигация судов класса Arc7 была исключена. В марте (рис. 3, г) ледовые условия по всему рассматриваемому региону не позволяли осуществлять навигацию судам класса Arc7 даже под проводкой ледокола.

Распределения толщин льда, представленные на рис. 3, позволяют сделать вывод о том, что в целом в условиях зимней навигации путь из моря Лаптевых в Восточно-Сибирское море через пролив Санникова в современном периоде представляется более рискованным, чем путь в обход островов Анжу с севера. Для подтверждения справедливости этого предположения в рамках второй поставленной задачи были оценены вероятности появления в исследуемом районе льда толщиной более 1,4 м для всех участков акватории и всех месяцев зимней навигации, а также марта периода 2008–2017 гг. Результаты представлены на рис. 4.

Из рис. 4, а следует, что в декабре вероятность встречи опасных льдов судами класса Arc7 в большинстве акваторий, прилегающих к архипелагу Новосибирские острова, не превышала 0,4. В проливе Санникова такая вероятность была выше — от 0,4 до 0,8. При этом на высокоширотной трассе вероятность не превышала 0,1. В январе вероятность встретить лед толщиной более 1,4 м в проливе Санникова и на подходах к нему приближалась к единице (рис. 4, б). Вместе с тем на маршрутах, идущих севернее островов Анжу, такая вероятность была меньше. В феврале и марте (рис. 4, в, г) опасный лед в исследуемом районе был повсеместно.

В результате решения третьей задачи для каждого рассматриваемого месяца и каждого участка акватории изучаемого района была выполнена оценка средней скорости изменения вероятности встречи судами льдов с толщиной, выходящей за допустимые для класса Arc7 пределы. По этим данным построены соответствующие распределения по акватории района Новосибирских островов значений указанных показателей, которые представлены на рис. 5.

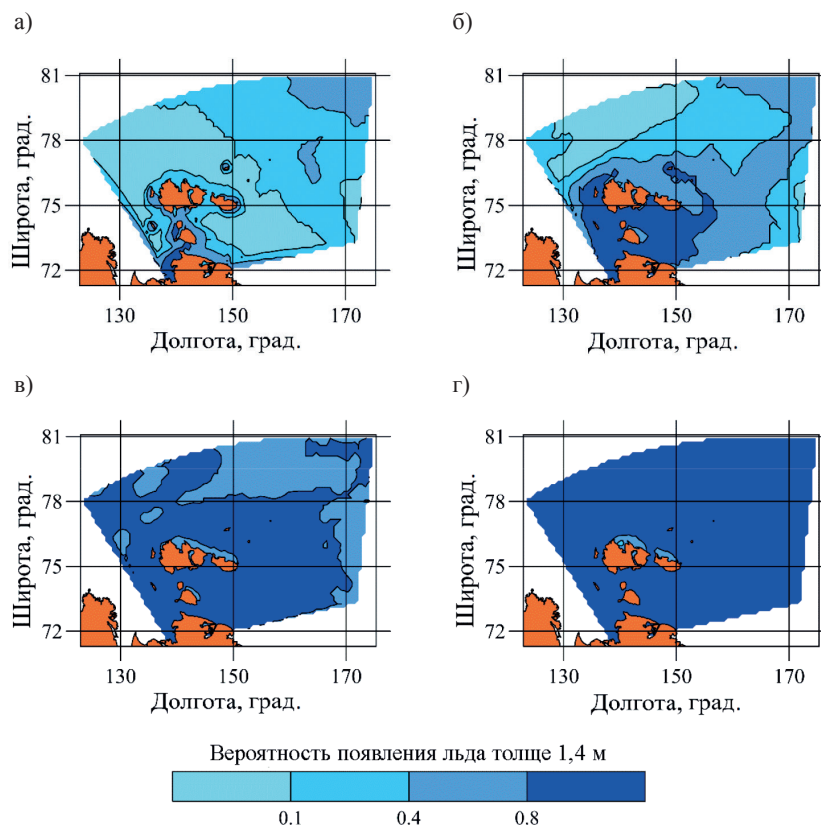


Рис. 4. Распределение вероятностей появления льда толщиной более 1,4 м в акватории архипелага Новосибирские острова за период 2008–2017 гг.:
а — в декабре; б — в январе; в — в феврале; г — в марте

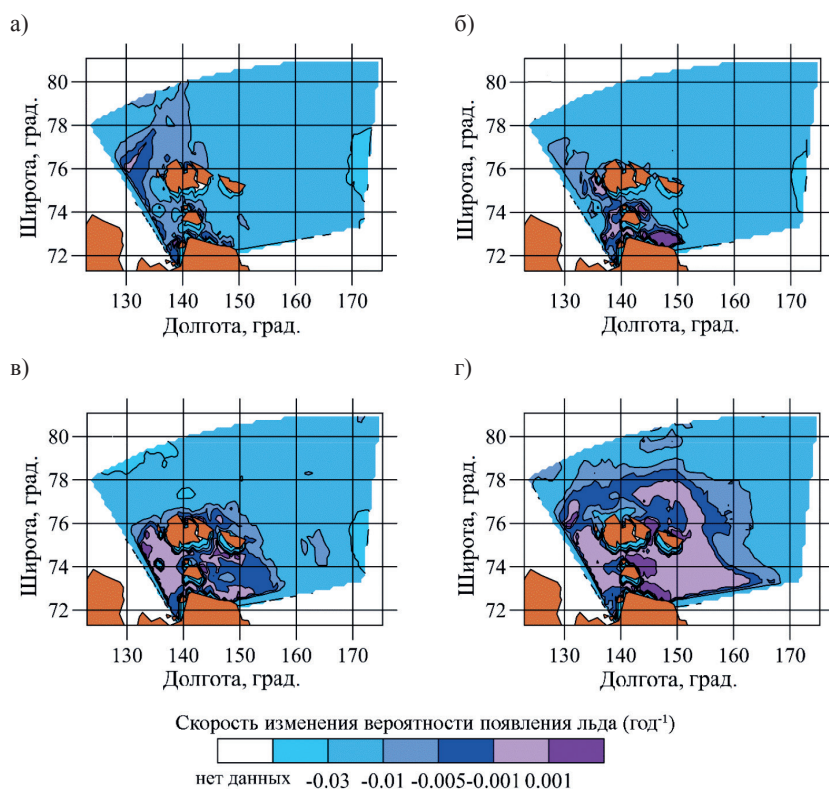


Рис. 5. Распределение по акватории района Новосибирских островов средних за период 1979–2017 гг. скоростей изменения рисков появления льдов толщиной более 1,4 м:
а — в декабре; б — в январе; в — в феврале; г — в марте

Из рис. 5 следует, что в течение всех зимних месяцев вероятность появления льдов толщиной более 1,4 м, скорее всего, снижалась на участках, расположенных к северу от островов Анжу (здесь скорость данного процесса составляла от 0,01 до 0,02 (год⁻¹). Вместе с тем в проливе Санникова и прилегающих к архипелагу с запада и юго-запада акваториях скорость снижения этих рисков была существенно меньше (от 0,001 до 0,005 (год⁻¹)). В некоторых районах в феврале и марте, наоборот, выявлена незначительная тенденция к повышению рисков появления опасных льдов. Прежде всего это касается пролива Санникова и подходов к нему.

Обсуждение (Discussion)

Выявленные особенности распределений по акватории района Новосибирских островов средних значений толщины льда, вероятностей появления льдов недопустимой толщины, а также скоростей изменения таких вероятностей в 1979–2017 гг. для зимних месяцев в целом соответствуют современным представлениям о последствиях происходящего потепления климата Арктики. Результаты исследования показывают, что в следующем десятилетии безледокольная навигация судов с ледовым классом Arc7 в исследуемом районе с большой вероятностью будет доступна в декабре и начале января. Улучшение ледовых условий в указанный период ожидается на высокоширотном маршруте, огибающем острова Анжу с севера. За период 1979–2017 гг. вероятности появления здесь льдов, представляющих опасность для судов класса Arc7, снижались быстрее всего.

Постепенно открывающаяся высокоширотная трасса находит применение на практике, подтверждением этого является рейс танкера-газовоза «Борис Вилькицкий» (тип «Ямалмакс»), который в конце ноября 2017 г. прошел транзитом по СМП с востока на запад к северу от Новосибирских островов. При этом средняя скорость судна на высокоширотном участке находилась в приемлемых пределах (7–11 уз) [10]. Очевидно, в ближайшее время следует ожидать, что переходы «Ямалмаксов» по таким маршрутам в ноябре-декабре станут вполне обычными. Однако препятствием для активного использования высокоширотных трасс, как отмечается в работе [18], на сегодняшний день остается слабая гидрографическая исследованность и навигационная обеспеченность большинства районов Восточно-Сибирского моря. В феврале-марте ледовая обстановка во всем исследуемом районе, по всей видимости, останется тяжелой, что подтверждают выводы, сделанные в работе [8]. Самостоятельная навигация судов класса Arc7 в указанные месяцы будет невозможна. Вместе с тем устойчивые тенденции снижения толщины льда в феврале-марте также наблюдаются на высокоширотном участке рассматриваемого района. Неблагоприятным на ближайшее десятилетие остается прогноз о доступности основной трассы Севморпути, проходящей через пролив Санникова и подходы к нему в зимние месяцы. Очевидно, что смягчения ледовых условий в зимне-весеннюю навигацию в этом районе пока ожидать не следует.

Заключение (Conclusion)

Глобальное потепление климата открывает новые возможности для судоходства в Арктике, увеличивая периоды навигации и уменьшая риски плавания в северных морях. Вместе с тем для того чтобы обеспечить привлекательность и доступность Северного морского пути для транзитной навигации, морской администрации России предстоит решить актуальные вопросы, связанные с повышением качества гидрометеорологического, гидрографического, навигационного и коммуникационного обеспечения акваторий арктических морей, в первую очередь, наиболее сложных его участков.

Совокупность факторов, вызванных происходящими климатическими изменениями, в сочетании с недостатком объективных данных по одному из наиболее сложных участков Севморпути — району архипелага Новосибирские острова, затрудняет оценку его ближайших перспектив с точки зрения увеличения сроков навигации и стратегического планирования через него транзитного судоходства. Эффективным прогностическим инструментом в условиях подобной неопределенности могут быть реанализы ледовой обстановки, позволяющие оценить тенденции изменений интересующих параметров льда на любом участке изучаемой акватории. В настоящей работе по-

казано, что реанализ, проводимый Объединенным центром климатических данных Гамбургского университета, является достаточно надежным источником информации при моделировании ледовой обстановки в любых частях района Новосибирских островов в зимний период.

Практически важным результатом настоящего исследования можно считать оценку перспектив основной трассы Севморпути, проходящей через пролив Санникова. Несмотря на потепление климата и таяние арктических льдов, до 2030 г. не следует ожидать улучшения там ледовых условий в зимне-весенний период. Вместе с тем существенные улучшения ледовых условий ожидаются к северу от островов Анжу — на участках высокоширотной трассы СМП. За последние десять лет ледовая обстановка там зачастую была легче, чем в проливе Санникова и на подходах к нему.

В настоящее время безледокольная навигация современных судов класса Arc7 в районе Новосибирских островов возможна до начала января. В ближайшем будущем можно предвидеть ее постепенное продление до конца января при условии обоснованного выбора судами доступных высокоширотных трасс. Прогнозирование ее увеличения до февраля пока не выглядит обоснованным, так как наблюдаемые в настоящее время уникально быстрые темпы климатических изменений вполне могут замедлиться в обозримой перспективе.

Актуальным направлением дальнейших исследований является оценка тенденций изменений ледовой обстановки и поиск безопасных маршрутов зимней навигации в Восточно-Сибирском море и районе архипелага Северная Земля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aksenov Y.* On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice / Y. Aksenov, E. E. Popova, A. Yool. A. G. Nurser, T. D. Williams, L. Bertino, J. Bergh // *Marine Policy*. — 2017. — Vol. 75. — Pp. 300–317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027.
2. *Melia N.* Future of the Sea: Implications from Opening Arctic Sea Routes / N. Melia, K. Haines, E. Hawkins. — Foresight, Government Office for Science, 2017. — 39 p.
3. *Stephenson S. R.* Marine accessibility along Russia's Northern Sea route / S.R. Stephenson, L.W. Brigham, L.C. Smith // *Polar Geography*. — 2014. — Vol. 37. — Is. 2. — Pp. 111–133. DOI: 10.1080/1088937X.2013.845859
4. *Lee S. W.* Economic Possibilities of Shipping through Northern Sea Route / S. W. Lee, J. M. Song // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. — 2014. — Vol. 30. — Num. 3. — Pp. 415–430. DOI: 10.1016/j.ajsl.2014.12.009.
5. *Beveridge L.* Interest of Asian Shipping Companies in Navigating the Arctic / L. Beveridge, M. Fournier, F. Lasserre, L. Huang, and P. L. Têtu // *Polar Science*. — 2016. — Vol. 10. — Is. 3. — Pp. 404–414. DOI: 10.1016/j.polar.2016.04.004.
6. *Ha Y. S.* The Northern Sea Routes and Korea's Trade with Europe: implications for Korea's Shipping Industry / Y. S. Ha, J. S. Seo // *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*. — 2014. — Vol. 1. — Pp. 73–84. DOI: 10.1016/j.enavi.2014.12.007.
7. *Rahman N. S. F. A.* Effect of the Northern Sea Route Opening to the Shipping at Malacca Straits / N. S. F. A. Rahman, A. H. Saharuddin, R. Rasdi // *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*. — 2014. — Vol. 1. — Pp. 85–98. DOI: 10.1016/j.enavi.2014.12.008.
8. *Шаронов А. Ю.* Задачи гидрометеорологического обеспечения круглогодичной навигации в Восточно-Сибирском море / А. Ю. Шаронов, В. А. Шматков // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 170–182. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-170-182.
9. *Зонн И. С.* Восточно-Сибирское море: энциклопедия / И. С. Зонн, А. Г. Костяной, А. В. Семенов; под ред. акад. РАН Г. Г. Матишова. — М.: Междунар. отношения, 2014. — 173 с.
10. *Ольховик Е. О.* Анализ скоростных режимов СПГ-танкеров в акватории Северного морского пути в период зимней навигации 2017–2018 гг. / Е. О. Ольховик // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 300–308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.
11. *Alexandrov V. Y.* Sea ice circulation in the Laptev Sea and ice export to the Arctic Ocean: Results from satellite remote sensing and numerical modeling / V. Y. Alexandrov, T. Martin, J. Kolatschek, H. Eicken,

M. Kreyscher, A. P. Makshtas // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. — 2000. — Vol. 105. — Is. C7. — Pp. 17143–17159. DOI: 10.1029/2000JC900029.

12. Лоция Восточно-Сибирского моря. — СПб.: ГУНИО, 1988. — 207 с.

13. Гриняк В. М. Оценка перспектив использования данных метеоспутников для планирования маршрута судна в арктических водах / В. М. Гриняк, Д. А. Акмайкин, А. С. Девятисильный // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 209–221. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-209-221.

14. Zuo H. A Generic Ensemble Generation Scheme for Data Assimilation and Ocean Analysis. Technical Memorandum / H. Zuo, M. Alonso-Balmaseda, E. de Boisseson, S. Hirahara, M. Chrust, P. de Rosnay. — ECMWF, 2017. — No. 795. — 44 p. DOI: 10.21957/cub7mq0i4.

15. Правила классификации и постройки морских судов. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2010. — Т. 1. — 479 с.

16. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. — М.: Юнити, 1998. — 1022 с.

17. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. — Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2002. — 128 с.

18. Афонин А. Б. Комплексная оценка безопасности плавания в акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1132–1142. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1132-1142.

REFERENCES

1. Aksenov, Yevgeny, E. E. Popova, A. Yool. A. J. G. Nurser, Timothy D. Williams, Laurent Bertino, and Jon Berg. “On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice.” *Marine Policy* 75 (2017): 300–317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027.

2. Melia, Nathanael, Keith Haines, and Ed Hawkins. *Future of the Sea: Implications from Opening Arctic Sea Routes*. Foresight, Government Office for Science, 2017.

3. Stephenson, Scott R., Lawson W. Brigham, and Laurence C. Smith. “Marine accessibility along Russia’s Northern Sea route.” *Polar Geography* 37.2 (2014): 111–133. DOI: 10.1080/1088937X.2013.845859.

4. Lee, Sung-Woo, and Ju-Mi Song. “Economic possibilities of shipping though Northern Sea route.” *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 30.3 (2014): 415–430. DOI: 10.1016/j.ajsl.2014.12.009.

5. Beveridge, Leah, Mélanie Fournier, Frédéric Lasserre, Linyan Huang, and Pierre-Louis Têtu. “Interest of Asian Shipping Companies in Navigating the Arctic.” *Polar Science* 10.3 (2016): 404–414. DOI: 10.1016/j.polar.2016.04.004.

6. Ha, Yeong-Seok, and Jung Soo Seo. “The Northern Sea Routes and Korea’s Trade with Europe: implications for Korea’s Shipping Industry.” *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy* 1 (2014): 73–84. DOI: 10.1016/j.enavi.2014.12.007.

7. Rahman, NSF Abdul, Abdul Hamid Saharuddin, and R. Rasdi. “Effect of the Northern Sea Route Opening to the Shipping at Malacca Straits.” *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy* 1 (2014): 85–98. DOI: 10.1016/j.enavi.2014.12.008.

8. Sharonov, Andrei Yu., and Vladimir A. Shmatkov. “The problem of hydrometeorological maintenance of year-round navigation in the East Siberian Sea.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.1 (2018): 170–182. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-170-182.

9. Zonn, I. S., A. G. Kostyanov, and A. V. Semenov. *Vostochno-Sibirskoe more: entsiklopediya*. Edited by G. G. Matishova. M.: Mezhdunar. otnosheniya, 2014.

10. Ol’khovik, Evgeniy O. “Analysis of speed regime LNG-tankers in the Northern sea route in period of winter navigation 2017-18.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 10.2 (2018): 300–308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.

11. Alexandrov, Vitaly Y., Thomas Martin, Josef Kolatschek, Hajo Eicken, Martin Kreyscher, and Alexandr P. Makshtas. “Sea ice circulation in the Laptev Sea and ice export to the Arctic Ocean: Results from satellite remote sensing and numerical modeling.” *Journal of Geophysical Research: Ocean* 105.C7 (2000): 17143–17159. DOI: 10.1029/2000JC900029.

12. Lotsiya Vostochno-Sibirskogo morya. SPb.: GUNIO, 1988.

13. Grinyak, Victor M., Denis A. Akmaykin, and Alexander S. Devyatisilnyi. "Assessment of the prospects for using meteorological satellite data for planning a vessel route in the Arctic waters." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 209–221. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-209-221.

14. Zuo, H., M. Alonso-Balmaseda., E. de Boisseson, S. Hirahara, M. Chrut, and P. de Rosnay. *A generic ensemble generation scheme for data assimilation and ocean analysis. Technical Memorandum*. No. 795. ECMWF, 2017. DOI: 10.21957/cub7mq0i4.

15. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov*. Vol. 1. SPb.: Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2010.

16. Aivazyan, S. A., and V. S. Mhitaryan. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki*. M.: Yuniti, 1998.

17. Skvortsov, A. V. *Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2002.

18. Afonin, Andrej B. "A comprehensive assessment of the safety of navigation in the water area of the Northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1132–1142. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1132-1142.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Холопцев Александр Вадимович —
доктор географических наук, профессор
Севастопольское отделение ФГБУ
«Государственный океанографический институт
имени Н. Н. Зубова»
299011, Российская Федерация, г. Севастополь,
ул. Советская, 61
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»
299053, Российская Федерация, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
e-mail: khoptsev@mail.ru
Подпорин Сергей Анатольевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»
299053, Российская Федерация, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
e-mail: s.a.podporin@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kholoptsev, Aleksandr V. —
Dr. of Geographical Sciences, professor
Sevastopol branch
of FSBI "N.N. Zubov's
State Oceanographic Institute"
61 Sovetskaya Str., Sevastopol, 299011,
Russian Federation
Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str.,
Sevastopol, 299053,
Russian Federation
e-mail: khoptsev@mail.ru
Podporin, Sergey A. —
PhD, associate professor
Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str.,
Sevastopol, 299053,
Russian Federation
e-mail: s.a.podporin@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11 августа 2019 г.

Received: August 11, 2019.