

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-683-695

PROSPECTS FOR UNESCORTED NAVIGATION OF TRANSIT VESSELS IN THE REGION OF THE NEW SIBERIAN ISLANDS

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 Arc4 ice class transit vessels in the waters adjacent to the archipelago of the New Siberian Islands during the summer-autumn navigation period are explored. Considering the global tendencies of climate warming, the growing interest of researchers and shipowners to the Northern Sea Route as an alternative route from Europe to Asia via the Suez Canal is noted. However, currently the risks for commercial shipping companies are too high to venture the consistent cargo transportation voyages along the route; the main hazard is a heavy and unpredictable ice situation, as well as poor hydrometeorological support of the Arctic seas.

The ICDC reanalysis is proposed to use to estimate the ice conditions and their change trends. The applicability of this method is confirmed by comparing its results with the actual ice measurements carried out at polar weather stations “Ostrov Kotelnii” and “Proliv Sannikova” in 1979–2017 period. According to the reanalysis data the mean values of ice thickness in the waters surrounding the New Siberian Islands in summer/autumn months of the above period are derived and the probability estimates to meet ice of unacceptable thickness, which exceeds 0.8 m for Arc4 ice class vessels, are obtained. The mean rates of such probabilities change for all sites of the studied water area are determined that allows us to reveal the main trends in ice conditions changes over the next decade. The results are presented graphically on contour maps by use of Delaunay triangulation technique.

It was concluded that, in general, ice situation in the region is gradually improving, but in different areas of the region the improvement rates greatly varies. Challenging conditions are predicted to remain in the Sannikov Strait and on the approaches to it. Due to the increasing greenhouse effect and anticipated intensification of monsoons, the coastal water areas are expected to encounter the growing water surges from the Arctic, which in turn will bring the arctic ice to the coastal areas and make the ice situation worse. It is demonstrated that the high-latitude routes to the north of the New Siberian Islands tend to clear of ice more quickly in the summer/autumn period and thus become safer and more preferable for navigation by transit vessels. Further studies on continuous basis to estimate the trends in ice situation development in the rapidly changing Arctic and the impact of this situation on the shipping routes and navigation safety are required.

Keywords: Northern Sea Route, New Siberian Islands, Sannikov Strait, safety of shipping, summer/autumn navigation, ice class, trend, transit passage, reanalysis

For citation:

Kholoptsev, Aleksandr V., and Sergey A. Podporin. “Prospects for unescorted navigation of transit vessels in the region of the New Siberian islands.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.4 (2019): 683–695. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-683-695.

УДК 656.61.052: 551.583

ПЕРСПЕКТИВЫ БЕЗЛЕДОКОЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ТРАНЗИТНЫХ СУДОВ В РАЙОНЕ НОВОСИБИРСКИХ ОСТРОВОВ

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 транзитных судов ледового класса Arc4 в акваториях, прилегающих к архипелагу Новосибирские острова, в летне-осенний навигационный период. Отмечен возрастающий интерес исследователей и судовладельцев к Северному морскому пути

как альтернативному маршруту из Европы в Азию в свете глобальных тенденций потепления климата. Указаны риски, которые на сегодняшний день сдерживают рост транзитных грузоперевозок в Арктике. В качестве основного препятствия отмечаются сложная ледовая обстановка и недостаточное гидрометеорологическое обеспечение маршрута. Для оценки ледовых условий и тенденций их изменения предложено использовать результаты реанализа ICDC. Их адекватность подтверждена путем сравнения с данными реальных измерений параметров льда, полученных на полярных станциях «Остров Котельный» и «Пролив Санникова» за период с 1979 по 2017 гг. По данным реанализа, получены средние значения толщины льда в акваториях, прилегающих к Новосибирским островам. Оценены вероятности, с которыми суда с ледовым классом Arc4 могут встретить лед недопустимой толщины в месяцы летне-осенней навигации. Определены средние скорости изменения таких вероятностей для всех участков исследуемой акватории, что позволило выявить основные тенденции изменения ледовых условий на ближайшее десятилетие. Результаты представлены графически на контурных картах с использованием метода триангуляции Делоне. Сделаны выводы о том, что в целом ледовые условия улучшаются, но на разных участках это происходит с разной скоростью. Отмечается, что сложная обстановка останется в проливе Санникова и на подходах к нему. Из-за усиливающегося парникового эффекта и активизации муссонов ожидается усиление нагонов арктических вод вместе со льдом к прибрежным участкам. Показано, что высокоширотный маршрут при этом будет становиться более доступным и безопасным для судоходства в летне-осенний период. Отмечается необходимость дальнейшего изучения тенденций изменения условий судоходства в Арктике, вызванных климатическими изменениями.

Ключевые слова: Северный морской путь, Новосибирские острова, пролив Санникова, безопасность судоходства, летне-осенняя навигация, ледовый класс, тенденция, транзитный проход, реанализ.

Для цитирования:

Холопцев А. В. Перспективы безледокольной навигации транзитных судов в районе Новосибирских островов / А. В. Холопцев, С. А. Подпорин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 683–695. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-683-695.

Введение (Introduction)

Одним из приоритетов «Транспортной стратегии Российской Федерации» является развитие Северного морского пути (СМП) как важной магистрали для внутренних и транзитных морских грузоперевозок [1]. В настоящее время суровый климат и ледовая обстановка арктических морей не позволяют большинству торговых судов заходить на СМП. Вместе с тем, согласно современным научным прогнозам, в первой половине XXI в. ожидается стабильное облегчение ледовых условий в Арктике, что улучшает перспективы развития судоходства на СМП в ближайшие десятилетия [2]. В связи с этим развитие представлений об изменениях гидрометеорологической обстановки и их влиянии на безопасность плавания по СМП с учетом глобальных тенденций изменения климата можно считать актуальной задачей океанографии и эксплуатации водного транспорта.

Вопросам безопасности и экономической целесообразности транзитного судоходства в Арктике в свете происходящих климатических изменений посвящено значительное количество научных публикаций [2]–[7]. В частности, в работе [2] даются прогнозные оценки доступности судоходных путей в Арктике в XXI в. Отмечается, что при сохранении нынешних темпов таяния арктических льдов к середине текущего столетия для массового судоходства будут открыты высокоширотные, в том числе трансполярные арктические маршруты. В работах [3]–[6] исследованы вопросы использования СМП в целях торгового судоходства между Европой и Азией и сделаны выводы о том, что такая торговля выгодна при безледокольном прохождении трассы СМП, что в настоящее время возможно лишь при наличии у судна ледового класса и только в ограниченный период года — как правило, с августа по октябрь. Аналогичные заключения сделаны также авторами работы [7]. В исследовании [8] выполнен анализ текущих возможностей круглогодичной навигации на СМП на примере наиболее сложного его участка — Восточно-Сибирского моря. Особый акцент при этом сделан на необходимости восстановления гидрометеорологического обеспечения данного района, с указанием при этом на высокие риски безледокольной навигации из-за крайне неустойчивого климата региона.

Район Новосибирских островов включает участки акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского моря и Северного Ледовитого океана, расположенные между меридианами 135°Е и 165°Е и параллелями 78°N с севера и побережьем Евразии с юга (рис. 1).



— основная трасса Севморпути, проходящая по проливу Санникова

² Pub. 183 Sailing Directions (Enroute). North Coast of Russia. Twelfth Edition, 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/SD/Pub183/Pub183bk.pdf (дата обращения: 01.04.2019).

за изменениями толщины льда в районе пролива Санникова 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 в других частях акватории района Новосибирских островов этой информации недостаточно. Недостаток подобных данных существенно осложняет планирование рейсов в указанном районе и выбор наиболее безопасных и быстрых для определенного месяца маршрутов. Одним из способов решения указанной проблемы является применение для оценки параметров льда метода математического моделирования.

Существующие математические модели, в том числе [10], 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, позволяет оценить вероятность появления в интересующем районе льда, представляющего опасность для конкретного судна, а также выявить современную тенденцию ее изменения. Тем не менее для водных путей района архипелага Новосибирские острова подобные исследования ранее не проводились. Выбираемые для прохода данного района маршруты не всегда являются оптимальными по критерию безопасность – затраты. Таким образом, выявление особенностей, происходящих в современном периоде изменений ледовых условий в районе Новосибирских островов, а также оценка вероятностей появления здесь льда недопустимой по ледовому классу толщины представляют немалый теоретический и практический интерес. Наиболее актуальными такие оценки можно считать для судов класса Arc4, которые, в принципе, могут применяться для осуществления безледокольного транзита по СМП в условиях в летне-осенней навигации².

Целью настоящей работы является оценка перспектив безледокольной навигации транзитных судов в районе Новосибирских островов в летне-осенний навигационный период. Для достижения указанной цели были рассмотрены следующие задачи:

1-я задача — определение средних значений толщины льда на различных участках акваторий, прилегающих к Новосибирским островам, для месяцев летне-осенней навигации в современном периоде;

2-я задача — оценка вероятности появления в рассматриваемом районе льдов, представляющих опасность для судов класса Arc4, в период летне-осенней навигации;

3-я задача — выявление тенденций изменения вероятности появления таких льдов в летне-осенний период в данном районе с учетом динамики изменения ледовой обстановки с 1979 по 2017 гг.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Знак «Arc4», присваиваемый судам Российским морским регистром судоходства (РМРС), представляет собой самый низкий арктический класс ледового усиления. Его эквивалентом является знак «IA», применяемый Американским бюро судоходства, Бюро «Веритас», Британским Ллойдом, Регистром DNV-GL и другими классификационными обществами. Согласно правилам РМРС, суда данного класса допущены к самостоятельному плаванию в летне-осеннюю навигацию в разреженных однолетних арктических льдах толщиной до 0,8 м. Плавание в канале за ледоколом разрешено в однолетних льдах толщиной до 1,0 м [11].

В соответствии с правилами плавания в акватории СМП, судам класса Arc4 разрешено самостоятельное плавание в юго-западной части Восточно-Сибирского моря при легком типе ледовых условий в течение года, плавание под проводкой ледокола — при легком и среднем типе ледовых условий с июля по ноябрь и при легком типе ледовых условий с декабря по июнь. Среди судов, работающих на трассе СМП в летне-осеннюю навигацию, доля судов ледового класса Arc4 (или

¹ Основные сведения о действующих гидрометеорологических станциях [Электронный ресурс]. Режим доступа: Станции <http://data.oceaninfo.ru/meta/gms/index.jsp> (дата обращения: 01.04.2019).

² Правила плавания в акватории Северного морского пути (утверждена приказом № 7 Министерства транспорта РФ от 17 января 2013 г.). С изменениями и дополнениями от 9 января 2017 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nsr.ru/ru/ofitsialnaya_informatsiya/pravila_plavaniya.html (дата обращения: 01.04.2019).

эквивалентного) составляет приблизительно 40–50 % от общего количества судов арктического класса (Arc4–Arc7) [12]. Это, как правило, суда-снабженцы, исследовательские суда, танкеры, суда типа «General Cargo» и др.¹. Допустимые для них ледовые условия вследствие потепления климата Арктики встречаются все чаще. Поэтому представляется вероятным, что именно суда класса Arc4 составят основу флота, используемого на СМП для транзитной перевозки грузов, в обозримой перспективе.

Учитывая ограниченность данных фактических измерений параметров льда в исследуемом районе, для решения поставленных задач было решено использовать результаты реанализа, проводимого на постоянной основе Объединенным центром климатических данных Гамбургского университета (Integrated Climate Data Center — ICDC)². 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. Подробно математическая основа реанализа представлена в работе [10].

Используемый в настоящей работе реанализ ICDC содержит результаты математического моделирования изменений среднемесячных значений толщины льда для любых районов Мирового океана с дискретностью 13×13 км, в том числе для арктических акваторий. На момент написания статьи указанная информация доступна с официального сайта ICDC за период с января 1979 г. по декабрь 2017 г.

Применимость данных реанализа ICDC для района Новосибирских островов не очевидна и требовала подтверждения. Ее проверка была проведена 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 ЕСИМО³. Измерения проводились полярниками в фиксированных пунктах акватории, удаленных от берега, соответственно, на 200 м и 360 м. В качестве примера в таблице приведены усредненные за период 1979–2017 гг. среднемесячные значения толщины льда в проливе Санникова для различных месяцев по данным обеих станций.

**Усредненные за 1979–2017 гг. среднемесячные значения толщины льда (*H*)
в проливе Санникова в разные месяцы**

Пролив Санникова				Остров Котельный			
Месяц	<i>H</i> , см	Месяц	<i>H</i> , см	Месяц	<i>H</i> , см	Месяц	<i>H</i> , см
Январь	120,00	Июль	86,52	Январь	117,5051	Июль	159,98
Февраль	148,93	Август	3,77	Февраль	149,8491	Август	—
Март	172,65	Сентябрь	0,67	Март	177,6959	Сентябрь	1,10
Апрель	178,85	Октябрь	12,55	Апрель	198,6366	Октябрь	26,54
Май	194,57	Ноябрь	41,27	Май	212,6996	Ноябрь	47,73
Июнь	180,23	Декабрь	80,29	Июнь	205,4183	Декабрь	81,18

¹ Разрешения на плавание судна в акватории Северного морского пути (официальный сайт Администрации Северного морского пути) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nsra.ru/ru/rassmotrenie_zayavleniy/razresheniya.html (дата обращения: 01.04.2019).

² Integrated Climate Data Center. Ocean. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/ocean/> (дата обращения: 01.04.2019).

³ Единая Государственная система информации об обстановке в Мировом океане [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://data.oceaninfo.ru/> (дата обращения: 01.04.2019).

Доступная с указанных полярных станций информация не является полной. Для ряда месяцев летне-осенней навигации за многие годы данных вообще нет, а для тех лет, когда они имеются, наблюдения проводились лишь в отдельные сутки, когда путь в точки наблюдения (по льду) был относительно безопасен. Наиболее полной является информация, полученная за июнь, поэтому верификация данных реанализа была выполнена только для этого месяца. Установлено, что измеренные на полярных станциях значения толщины льда несколько меньше аналогичных показателей реанализа. Это позволяет предположить, что по мере удаления от берега толщина льда в проливе может возрастать. При проведении проверки применимости реанализа оценивалась достоверность статистических выводов о том, что межгодовые изменения в 1979–2017 гг. среднемесячных значений толщины льда в июне (по данным реанализа), усредненных по всем участкам рассматриваемого района, статистически значимо связаны с изменениями того же показателя, полученного по данным полярных станций.

Принято допущение, согласно которому реанализ ICDC 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 [13]. 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. По результатам проверки установлено, что значения отношения коэффициента корреляции указанных временных рядов к пороговому уровню для полярной станции «Пролив Санникова» составляют 1,18, а для полярной станции «Остров Котельный» — 1,05, откуда следует, что результаты реанализа межгодовых изменений среднемесячных значений средней толщины льда в июне в акватории Новосибирских островов связаны с данными фактических измерений той же характеристики на полярных станциях статистически значимо. Таким образом, принято решение о допустимости применения реанализа ICDC в качестве источника фактического материала.

При решении первой задачи учитывалось, что в рассматриваемом периоде в Арктике происходило потепление климата, вследствие чего процесс изменения средней толщины льда на участках акватории изучаемого района и их ледовитости являлся нестационарным. Поэтому было признано целесообразным рассматривать в качестве современного период 2008–2017 гг. В течение этого десятилетия оценивались средние значения ледовитости участков акватории изучаемого района, а также толщины встречающихся на нем льдов.

В рамках второй задачи проводилась приближенная оценка вероятностей появления льдов, представляющих опасность для судов класса Arc4, за период 2008–2017 гг. для каждого участка района Новосибирских островов. Вероятность оценивалась как отношение количества относящихся к этому периоду лет, в течение которых среднемесячное значение толщины льда превышало допустимый предел (при условии плавания в однолетних разреженных льдах), к общему количеству таких лет. Поскольку в Правилах РМРС [11] указано максимально разрешенное значение толщины льда (0,8 м), соотношение которого к среднему значению не является очевидным (дисперсия распределения толщины льда зависит от множества факторов и слабо подлежит оценке), при проведении дальнейшей оценки представляющими опасность были приняты полученные, по данным реанализа, среднемесячные значения толщины льда, превышающие 0,5 м. Дрейфующий лед такой (либо меньшей) толщины в рассматриваемом районе, как правило, является однолетними (толщина многолетних паковых льдов гораздо больше). Кроме того, в связи с отсутствием точных данных о сплоченности льда было принято считать разреженным лед, если покрытие соответствующей акватории льдом не превышало 60 %.

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 и оцененную сверху вероятность встретить на нем лед

недопустимой толщины в период 2008–2017 гг. ($P_{2008-2017}$), можно оценить вероятность аналогичного события для следующего десятилетия P_{18-27} :

$$P_{2018-2027} = P_{2008-2017} + 10B.$$

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 и в будущем. Результаты, полученные при решении указанных задач, отображались на контурной карте изучаемого региона с использованием метода триангуляции Делоне [14].

Результаты (Results)

При решении первой задачи для месяцев с июля по ноябрь периода 2008–2017 гг. для каждого участка изучаемого района определены значения его средней ледовитости и средней толщины встречающегося на нем льда. Установлено, что средние за современный период значения ледовитости участков акватории изучаемого района минимальны в сентябре. В августе и октябре средние значения ледовитости акватории пролива Санникова, а также подходов к нему не превышали уровня 0,4, что свидетельствует о том, что преобладавшие здесь ледовые условия, как правило, были легкими. В ноябре значения средней ледовитости по всей акватории изучаемого района составляли единицу (образование льда здесь всюду начинается в октябре). Ноябрьские льды, таким образом, были в основном сплошными или сплоченными.

В июле периода 2008–2017 гг. средняя ледовитость участков акватории изучаемого района, расположенных на подходах к проливу Санникова со стороны Восточно-Сибирского моря, превышала уровень 0,6–0,8, а толщина льда доходила до 1,5 м, что делало безледокольную навигацию судов класса Arc4 недопустимой. В любые месяцы 2008–2017 гг. значения средней ледовитости участков акватории изучаемого района, относящихся к морю Лаптевых, были заметно меньше, чем для его участков, принадлежащих Восточно-Сибирскому морю. Данная особенность является следствием того, что в море Лаптевых впадают реки Лена, Хатанга, Оленек, Анабар и Яна, которые приносят в него за год более 730 км³ пресной воды, значительная часть которой поступает в летние месяцы. Эта вода, обладая относительно малой плотностью, растекается по всей поверхности моря Лаптевых тонким слоем. В рассматриваемые месяцы она является теплой, что способствует ускорению таяния морских льдов и снижению ледовитости участков акватории изучаемого района, на которых она присутствует.

На рис. 2, а, д отображены построенные по результатам решения первой задачи распределения по акватории района Новосибирских островов средней толщины льдов, встречающихся в современном периоде на различных ее участках с июля по ноябрь.

Из рис. 2 следует, что в современном периоде льды, представляющие опасность для судов ледового класса Arc4, в изучаемом районе встречались лишь в июле и ноябре. В 2008–2017 гг. в июле они встречались практически на всей акватории района. В августе (см. рис. 2, б) льды со средней толщиной более 0,5 м располагались в северо-восточной части данного района. Пролив Санникова для судов Arc4 был вполне проходим с августа по октябрь (см. рис. 2, б – г). Установлено также, что в ноябре во всей западной части Восточно-Сибирского моря преобладали льды со средней толщиной более 0,8 м, что делало невозможным выход в него из пролива Санникова судам рассматриваемого ледового класса. Поэтому безледокольная навигация таких судов в изучаемом районе в 2008–2017 гг. в ноябре была невозможна (см. рис. 2, д).

В результате решения второй задачи, для каждого рассматриваемого месяца и каждого участка акватории изучаемого района за период 2008–2017 гг. оценено значение $P_{2008-2017}$. Распределения значений этого показателя для месяцев летне-осенней навигации представлены на рис. 3.

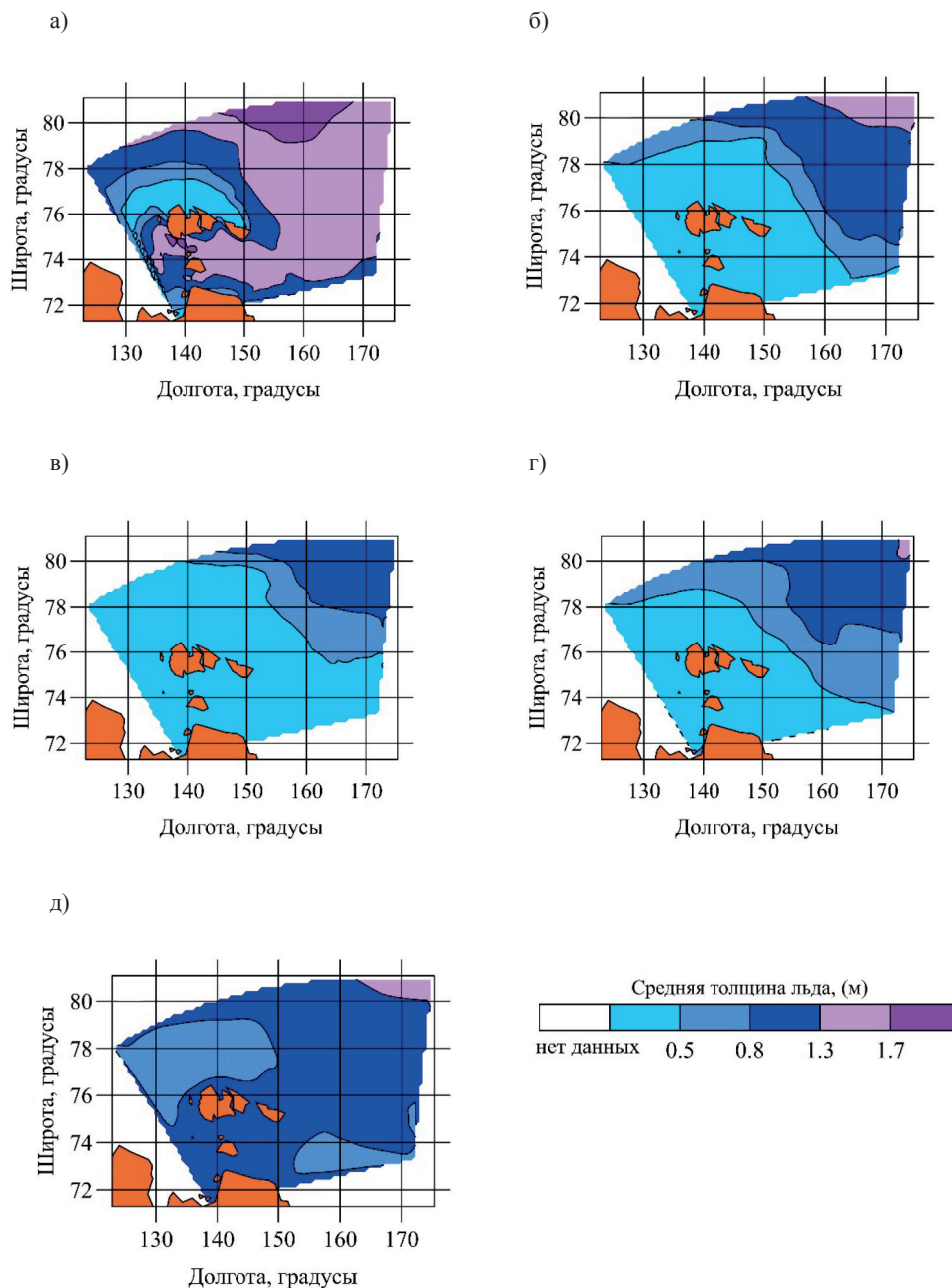


Рис 2. Средние среднемесячные значения толщины льдов (м) на различных участках акватории района пролива Санникова за период 2008–2017 гг.: а — в июле; б — в августе; в — в сентябре; г — в октябре; д — в ноябре

Из рис. 3 следует, что значения $P_{2008-2017}$ для рассматриваемых судов с августа по октябрь на всем участке СМП из моря Лаптевых в Восточно-Сибирское море, включая пролив Санникова, не превышали 0,3. Учитывая представленные на рис. 2 распределения в районе средней толщины льда, очевидно, что навигация судов ледового класса Arc4 здесь была на них достаточно безопасна. В июле значения $P_{2008-2017}$ на участках, расположенных на подходах к проливу Санникова со стороны как моря Лаптевых, так и Восточно-Сибирского моря, находились в пределах 0,5–1, что делало безледокольную навигацию здесь весьма рискованной.

В результате решения третьей задачи для каждого рассматриваемого месяца и каждого участка акватории изучаемого района оценена средняя скорость изменения вероятности встречи судами льдов с толщиной, выходящей за допустимые для класса Arc4 пределы. По этим данным

построены соответствующие распределения по акватории района Новосибирских островов значений указанных показателей, которые представлены на рис. 4.

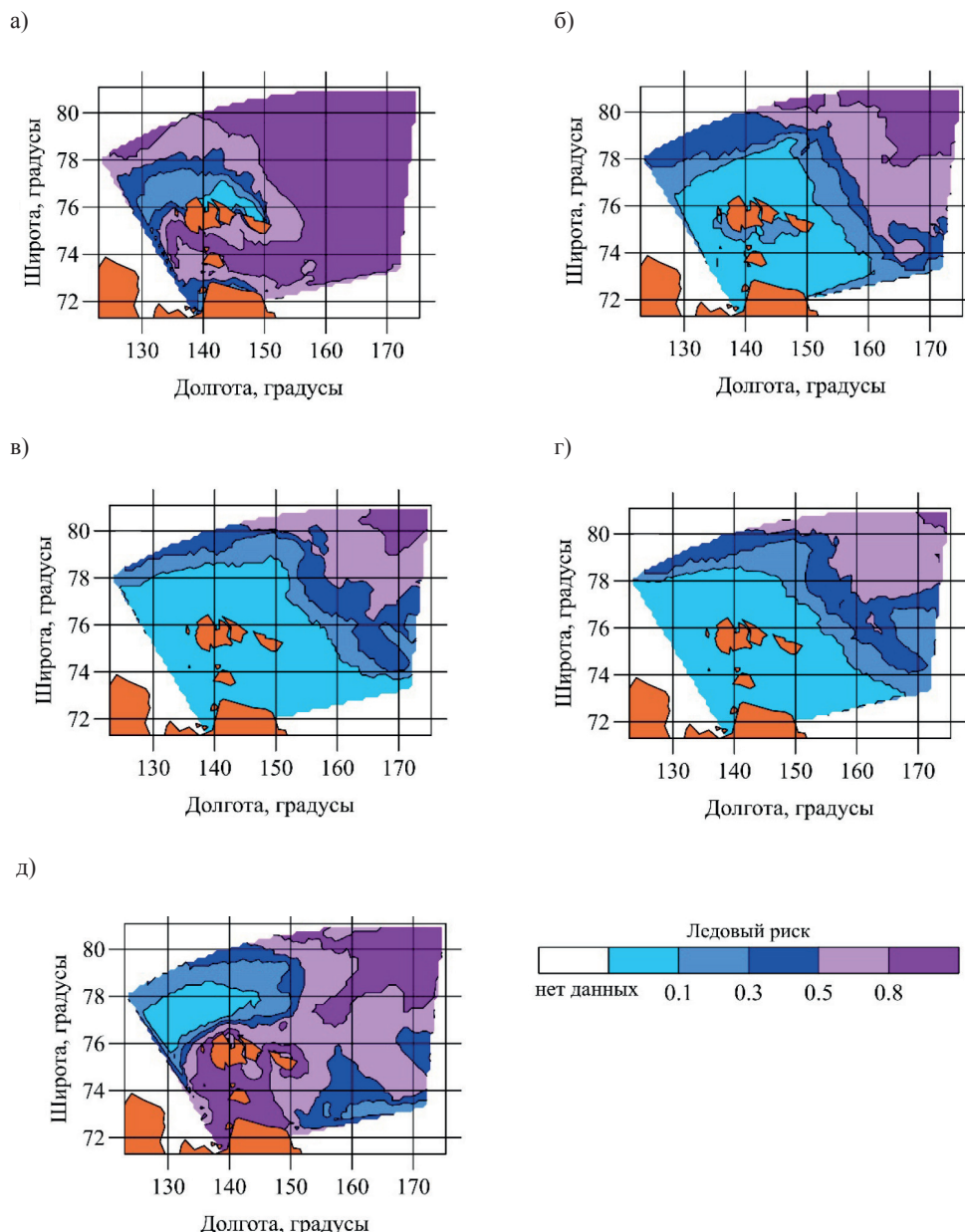


Рис. 3. Распределение по акватории изучаемого региона оцененных за период 2008–2017 гг. значений $P_{2008-2017}$ для судов ледового класса Arc4 для месяцев: а — в июле; б — в августе; в — в сентябре; г — в октябре; д — в ноябре

Из рис. 4 следует, что в августе–октябре вероятность появления льдов недопустимой толщины быстрее всего снижалась на участках, расположенных в его южной и северо-западной части (в море Лаптевых). В проливе Дмитрия Лаптева навигация судов с малой осадкой в 1979–2017 гг. становилась более безопасной. В июле вероятность появления льдов недопустимой толщины не снижалась практически на всей акватории района Новосибирских островов. Во все месяцы летне-осеннего навигационного периода невысокой была скорость снижения данной вероятности и непосредственно в акватории пролива Санникова, а также на подходах к нему как с запада, так и с востока. Последнее позволяет предположить, что характеристики ледовых условий на участке трассы СМП, проходящем по изучаемому району, отображенные на рис. 2–4, могут рассматриваться как их вероятные оценки сверху для периода 2018–2027 гг.

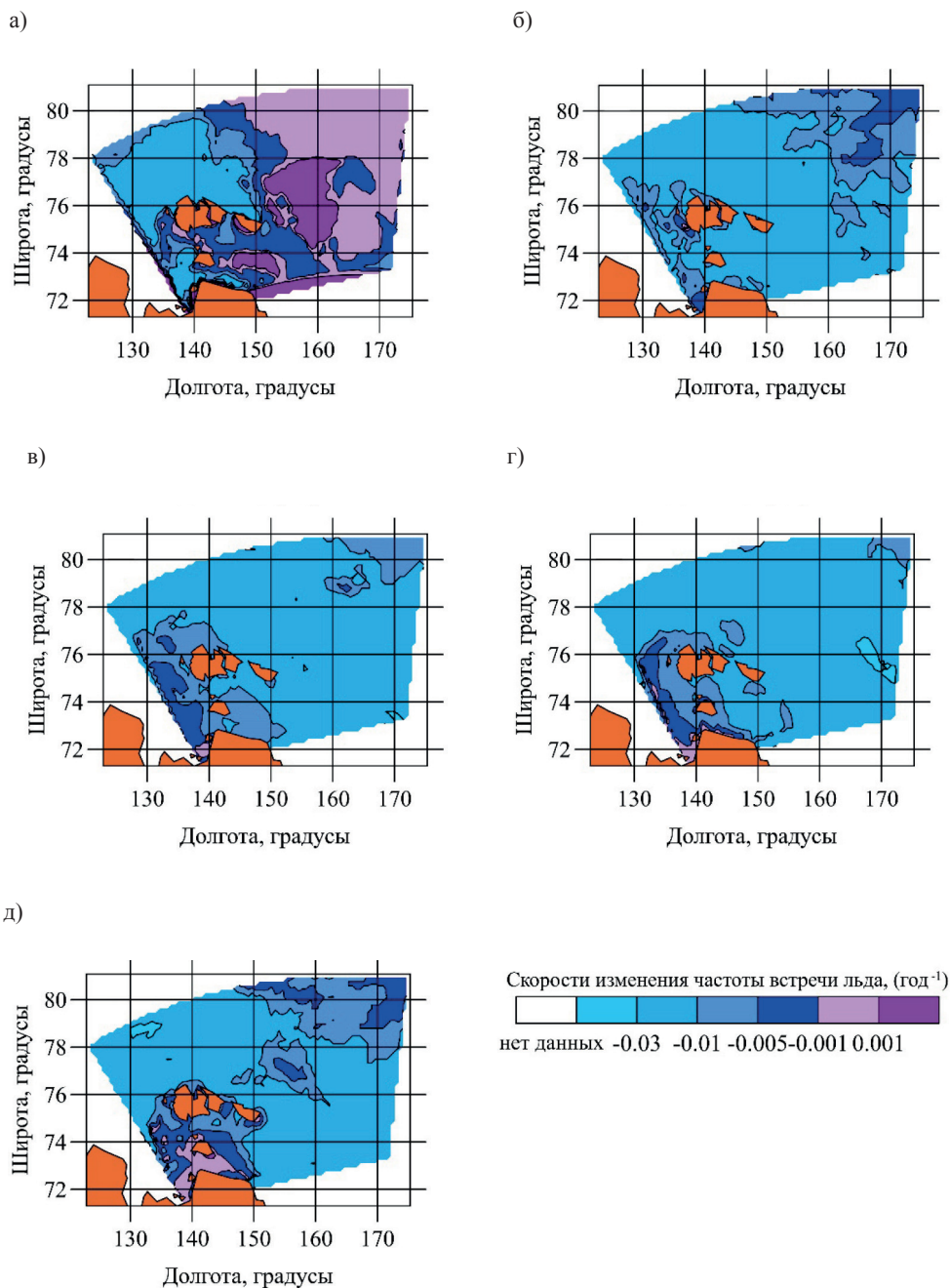


Рис. 4. Распределение по акватории района Новосибирских островов средней за период 1979–2017 гг. скорости изменения рисков появления опасных льдов: а — в июле; б — в августе; в — в сентябре; г — в октябре; д — в ноябре

Обсуждение (Discussion)

Выявленные особенности распределений по акватории района Новосибирских островов средних значений толщины льда, вероятности появления льдов недопустимой толщины, а также скорости изменения таких вероятностей в 1979–2017 гг. соответствуют современным представлениям о последствиях происходящего потепления климата Арктики, откуда следует, что безледокольная навигация судов ледового класса Arc4 в данном районе возможна и относительно безопасна в августе–октябре. Наиболее благоприятные условия в эти месяцы для нее складываются на высокоширотном маршруте, огибающем архипелаг с севера. За период 1979–2017 гг. вероятность появления здесь льдов с толщиной, превышающей допустимую для судов класса Arc4, снижалась быстрее всего.

В июле путь в обход островов Анжу с севера в современном периоде невозможен, так как в Восточно-Сибирском море располагается ледовый массив, практически непроходимый для судов рассматриваемого класса. Непрост в этом месяце и путь по проливу Санникова. Тем не менее представляется вероятным, что в ближайшем десятилетии для июля все более предпочтительным будет также являться высокоширотный маршрут СМП, что подтверждает справедливость выводов [2]. Выявленные закономерности не являются случайными. В летние месяцы вследствие усиления парникового эффекта в атмосфере происходит потепление климата внутренних районов Евразии. При этом над ними происходит снижение общего фона атмосферного давления. В то же время над акваториями Арктики, многие из которых летом сохраняют ледовый покров, температура воздуха меняется гораздо менее заметно. В результате в летние месяцы из-за парникового эффекта увеличивается разность атмосферных давлений *суша – море*, что, в свою очередь, вызывает усиление любых муссонов. Усиление муссонов в Арктике активизирует нагоны ее вод, а, следовательно, и дрейфующих льдов к побережьям, что способствует «запечатыванию» льдом прибрежных акваторий и проливов. При этом акватории, по которым проходит высокоширотный маршрут СМП, будут быстрее освобождаться от льда. Такое развитие событий будет происходить до тех пор, пока будет продолжаться усиление парникового эффекта в атмосфере. Высокоширотный маршрут СМП по этой причине будет становиться все более доступным.

Выводы (Conclusion)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Реанализ ICDC может быть использован для получения информации об изменениях среднемесячных значений средней толщины дрейфующих льдов в любых частях акватории района Новосибирских островов в период 1979–2017 гг. Он пригоден также для разработки долгосрочных прогнозов таких изменений, которые могут оправдаться в случае, если современные процессы потепления в Арктике продолжатся.
2. Безледокольная транзитная навигация судов ледового класса Arc4 в настоящее время возможна и относительно безопасна с августа по октябрь. Наилучшие условия для нее существуют в сентябре.
3. Происходящие перемены климата способствуют быстрому уменьшению толщины льда в южной части района Новосибирских островов и проливе Дмитрия Лаптева, однако в проливе Санникова скорость этого процесса относительно невелика, а ледовые риски здесь, по-видимому, будут оставаться высокими в ближайшие годы.
4. При дальнейшем потеплении климата Арктики все более доступным и безопасным будет становиться высокоширотный маршрут СМП, который проходит к северу от островов Анжу. Ожидается, что для транзитных судов в летне-осенний период он станет безопаснее традиционного маршрута, проходящего через пролив Санникова.
5. Актуальной проблемой развития СМП является совершенствование применяемых технологий менеджмента ледовых рисков при допуске на акваторию СМП водного транспорта, в том числе для выполнения безледокольного транзита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олерский В. Комплексный проект развития Северного морского пути / В. Олерский // Транспортная стратегия – XXI век. — 2015. — № 29. — С. 8–9.
2. 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.
3. 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.

4. Beveridge L. Interest of Asian Shipping Companies in Navigating the Arctic / L. Beveridge, M. Fournier, F. Lasserre, L. Huang, P. L. Têtu // *Polar Science*. — 2016. — Vol. 10. — Is. 3. — Pp. 404–414. DOI: 10.1016/j.polar.2016.04.004.
5. 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.
6. 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.
7. Абрамов А. В. Организация ледокольной проводки транспортных судов / А. В. Абрамов, М. А. Загородников // *Управленческое консультирование*. — 2017. — № 10 (106). — С. 111–117. DOI: 0.22394/1726-1139-2017-10-111-117.
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. 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. Chrut, P. de Rosnay. — ECMWF, 2017. — No. 795. — 44 p. DOI: 10.21957/cub7mq0i4.
11. Правила классификации и постройки морских судов. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2010. — Т. 1. — 479 с.
12. Ольховик Е. О. Исследование изменения структуры транспортного флота в акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1225–1233. DOI: 10.21821/2309-51802018-10-6-1225-1233.
13. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. — М.: Юнити, 1998. — 1022 с.
14. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. — Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2002. — 128 с.

REFERENCES

1. Olerskii, V. "Kompleksnyi proekt razvitiya Severnogo morskogo puti." *Transportnaya strategiya – XXI vek* 29 (2015): 8–9.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Abramov, Aleksey V., and Mikhail A. Zagorodnikov. "Organization of Icebreaking Conducting of Transport Courts." *Administrative Consulting* 10(106) (2017): 111–117. DOI: 0.22394/1726-1139-2017-10-111-117.
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. Zuo, H., M. Alonso-Balmaseda., E. de Boisseson, S. Hirahara, M. Chrust, 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
11. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov*. Vol. 1. SPb.: Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2010.
12. Ol'khovik, Evgeniy O. "Research of changes in the transport fleet structure in the water area of the Northern Sea Route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1225–1233. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1225-1233.
13. Aivazyan, S. A., and V. S. Mhitarian. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki*. M.: Yuniti, 1998.
14. Skvortsov, A. V. *Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2002.

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: kholoptsev@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: kholoptsev@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 2 июня 2019 г.
Received: June 2, 2019.