

THE TASKS FOR BATHYMETRIC INVESTIGATIONS AND CARTOGRAPHIC SUPPORT OF THE NORTHERN SEA HIGH LATITUDE ROUTES IN THE EAST SIBERIAN SEA

Yu. G. Firsov, D. A. Pozenkova

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The current state and issues of bathymetric investigations of the East Siberian Sea are examined in this study. The main sources of bathymetric data are characterized. The possibilities to solve these issues in order to improve the efficiency of the oncoming bathymetric investigation in the East Siberian Sea for supporting the urgent practical tasks of the Russian Federation concerning the Northern Sea high latitude routes are discussed. The importance of a new hydrographic investigation through the high latitude routes in the East Siberian Sea in order to provide the possibility of year-round navigation of the large-tonnage Arc7-class icebreaking LNG carriers is especially emphasized. Compiling of the new coastal electronic navigation charts for the new Northern Sea high latitude routes is stated as one of the main priorities. The lack of coastal electronic navigation charts of the high latitude routes in the East Siberian Sea will present a challenge for the establishing of year-round navigation for high ice-capable Arc7-class LNG carriers during the coming several years. The drafting of high latitude routes must also consider the seafloor gas venting in the East Siberian Sea. The satellite remote sensing data from passive microwave radiometers and optical sensors using «modis & amsr2» technology provided by the University of Bremen ensures the complementary observations of sea ice concentration in the eastern part of the East Siberian Sea. The re-analysis of data from microwave radiometers AMSR-2 beginning from 2018 provides the conclusion about the autumn degradation of the Aion ice massif. The analysis of the sea-ice concentration of the Aion ice massif during autumn–winter of 2022, the most severe in the last 5 years, allows us to give a recommendation concerning the new high latitude route in the East Siberian Sea. This route passes along the northern coast of Vrangeli island into the Chukchi Sea and it is more efficient for large-tonnage Arc7-class icebreaking LNG carriers ensuring year-round navigation in the East Siberian Sea. It is stated that hydrographic investigations carried out on the sections of the Northern Sea Route must adhere to the requirements of the International Hydrographic Organization. The urgency of developing the state integrated bathymetric database for the Arctic Ocean including the Arctic Seas data along with the necessity of providing all Russian bathymetric data acquired in the Arctic region to the assigned national centre is discussed. The FKU 280 ZKP VMF is proposed as such national centre. The importance of coastal electronic navigation charts for the high latitude routes in the East Siberian Sea created on the basis of modern technology is emphasized.

Keywords: Arctic region, Arctic Ocean, East Siberian Sea, arctic shelf, Arctic Basin, Northern Sea Route, bottom relief, mapping, hydrographic investigations, coastal electronic navigation charts, seafloor gas venting, Aion ice massif.

For citation:

Firsov, Yuri G., and Daria A. Pozenkova. "The tasks for bathymetric investigations and cartographic support of the northern sea high latitude routes in the East Siberian Sea." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.5 (2023): 744–766. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-744-766.

УДК 551.462.33(268)

ЗАДАЧИ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОШИРОТНЫХ ТРАСС СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

Ю. Г. Фирсов, Д. А. Позенкова

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрены современное состояние и проблемы батиметрических исследований в Восточно-Сибирском море. Показаны основные источники батиметрических данных. Рассмотрены пути решения имеющихся проблем в целях повышения эффективности дальнейшего батиметрического изучения Восточно-Сибирского моря для обеспечения реализации научных и практических задач в Арктическом регионе. Рассмотрена возможность гидрографических исследований на новых высокоширотных трассах в Восточно-Сибирском море для обеспечения круглогодичной навигации СПГ-танкеров ледового класса («Arc7»). В качестве основных проблем отмечается недостаточное картографическое обеспечение высокоширотных трасс, необходимых для проведения безопасной навигации СПГ-танкеров в Восточно-Сибирском море. Сформулирован вывод о том, что отсутствие путевых электронных навигационных карт в Восточно-Сибирском море, созданных на основе использования современных гидрографических технологий, может в ближайшие годы препятствовать осуществлению круглогодичной навигации СПГ-танкеров. Подчеркивается, что при проектировании новых высокоширотных трасс необходимо учитывать текущую ледовую обстановку для безопасного плавания в летне-осенний и зимний периоды, а также наличие донного газопроявления в Восточно-Сибирском море. Рассмотрен космический мониторинг Северного Ледовитого океана, представленный технологиями «Modis & Amsr2» университета Бремена. По реанализу данных микроволнового радиометра AMSR-2 сплоченности льдов в Восточно-Сибирском море, начиная с 2018 г. сделан вывод об осеннем разрежении Айонского ледового массива. Проанализировано состояние многолетних льдов Айонского ледового массива в 2022 г. как наиболее сложного в ледовом отношении за последние годы, и дана рекомендация по проектированию новой высокоширотной трассы, проходящей в Чукотское море к северу от острова Врангеля. Отмечается, что гидрографические съемки на трассе Северного морского пути должны выполняться в соответствии с требованиями стандартов Международной гидрографической организации. Отмечается отсутствие российского стандарта на гидрографические съемки и необходимость его разработки, согласования и утверждения. Обоснована необходимость формирования современной единой государственной базы батиметрических данных по Северному Ледовитому океану, включая арктические моря России, предоставления всех данных по рельефу дна, получаемых различными российскими организациями, выполняющими морские исследования, в единый национальный центр, в качестве которого может выступить ФКУ 280 ЦКП ВМФ РФ. Обращается внимание на то, что путевые электронные навигационные карты Восточно-Сибирского моря создаются на основе современных гидрографических технологий изучения морского дна северных морей России.

Ключевые слова: Северный морской путь, СПГ-танкер, Восточно-Сибирское море, рельеф морского дна, Айонский ледовый массив, гидрографические исследования, донное газопроявление, картографирование морского дна, электронные навигационные карты.

Для цитирования:

Фирсов Ю. Г. Задачи батиметрической съемки и картографического обеспечения высокоширотных трасс Северного морского пути в Восточно-Сибирском море / Ю. Г. Фирсов, Д. А. Позенкова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 744–766. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-744-766.

Введение (Introduction)

Последнее десятилетие ознаменовано проявлением повышенного внимания к Северному морскому пути (СМП), пролегающему по окраинным морям Северного Ледовитого океана (СЛО). Перерыв в изучении рельефа дна СЛО после событий 1991 г. продолжался в течение почти 20 лет. В 2010 г. в связи с необходимостью получения данных для дополнительного обоснования расширенного континентального шельфа России началось проведение батиметрической съемки в Центральном Арктическом бассейне. Гидрографические работы в окраинных морях по трассе Северного морского пути (СМП) были продолжены с 2011 г. и выполнялись главным образом в западном секторе Арктики. Отличительной особенностью съемки рельефа дна в СЛО явилось использование новых гидрографических технологий на основе применения многолучевых эхолотов (МЛЭ), многосистемных двухчастотных фазовых приемников глобальных навигационных спутниковых (ГНСС), а также специализированного гидрографического программного обеспечения, способного по-новому организовать процесс акустического исследования морского дна.

Первоначально гидрографические работы по трассе СМП, выполняемые в Карском море, имели целью обеспечение круглогодичной навигации для транспортировки сырья из верховьев Енисея (Норильский промышленный район), а позже также и сжиженного природного газа (СПГ) из порта

Сабетта. Изучению транспортных потоков в западном, а позже и в восточном секторе Арктики, а также их навигационно-гидрографическому обеспечению посвящены многочисленные исследования. Вопросы развития трасс СМП рассмотрены в работах [1]–[5]. Гидрографическая изученность СМП отражена в работах [6]–[9]. Различные способы оценки проходных глубин рассмотрены в работах [10]–[13]. Влияние состояния льда на плавание по СМП и проведение гидрографических работ исследовано в работах [14], [15]. В течение последних пяти лет вызывают интерес исследования маршрутов плавания крупнотоннажных судов в восточном секторе Арктики, изложенные в работах [16], [17].

Целью данного исследования является анализ и оценка текущего состояния гидрографических работ в Восточно-Сибирском море, а также картографического обеспечения высокоширотных трасс СМП для осуществления круглогодичной безопасной навигации СПК-танкеров в Восточно-Сибирском море. При выполнении анализа использованы современные публикации по предмету исследований, ресурсы Интернет, электронные карты с применением ГИС-технологий и ЭКНИС dKartNavigator.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В связи с экономической целесообразностью использования крупнотоннажных судов для транспортировки СПГ и началом массового строительства специализированных СПК-танкеров, а также изменением политической ситуации в мире актуальным маршрутом для СМП после 2014 г. являются восточные арктические моря и особенно Восточно-Сибирское море. С 2016 г. ФГУП Гидрографическое предприятие (далее — ГП) Министерства транспорта РФ приступило к выполнению современных гидрографических работ по традиционной трассе СМП в море Лаптевых и затем по новой высокоширотной трассе в Восточно-Сибирском море к северу от островов Анжу. Необходимость гидрографических исследований этой высокоширотной трассы была вызвана тем, что новые СПГ-танкеры, имеющие осадку 13 м, не могли следовать по традиционной трассе СМП через пролив Санникова с лимитирующими глубинами 14 м. Фрагмент НМК (Адмиралтейский номер 11125) пролива Санникова, демонстрирующий лимитирующие глубины 14,8 м, приведен на рис. 1.

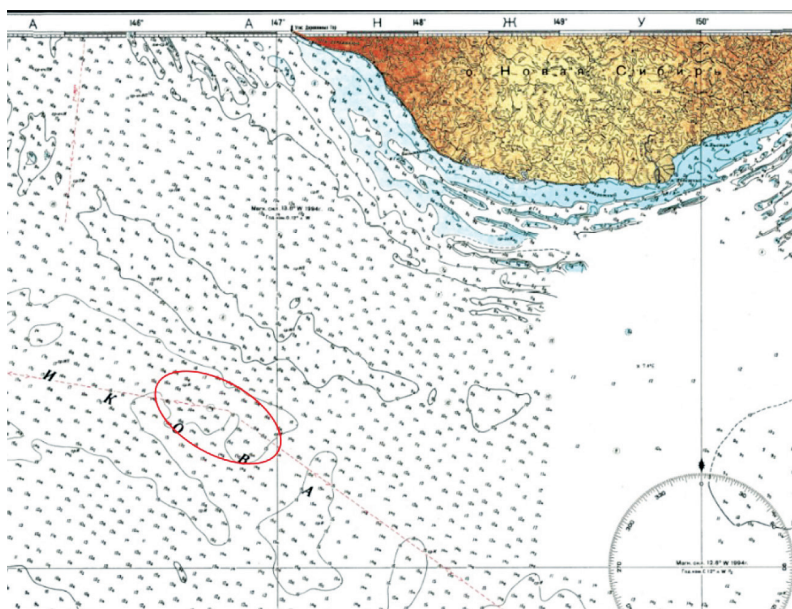


Рис. 1. Фрагмент НМК пролива Санникова с лимитирующими глубинами 14 м

Район с лимитирующими глубинами на рис. 1 обозначен красным овалом. Следует отметить, что в публикации [18] ошибочно утверждается, что в проливе Санникова «...глубина на фарватере составляет 24 м...». Вопросы гидрографической изученности пролива Санникова детально обсуждаются в работе [15].

Новосибирская часть Великой сибирской полыньи [19] к северу от островов Анжу позволяет выполнять гидрографические работы по чистой воде в летние месяцы. После 2016 г. работы были продолжены непосредственно в западной части Восточно-Сибирского моря и по высокоширотной трассе от пролива между островами Жохова и Вилькицкого в направлении острова Айон. Обзорная карта западной части Восточно-Сибирского моря с островами Анжу, входящими в состав островов Новосибирского архипелага, включая острова Жохова и Велькицкого, приведена на рис. 2.

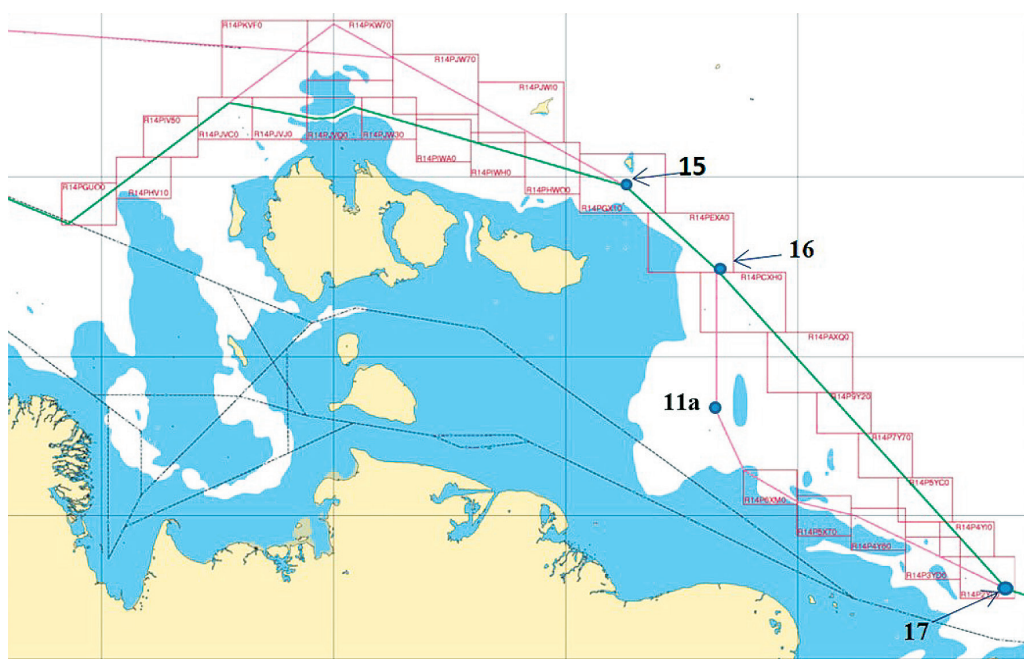


Рис. 2. Карта архипелага Новосибирских островов, включая острова Жохова и Велькицкого

В результате гидрографических исследований высокоширотной трассы в западной части Восточно-Сибирского моря в ГП были созданы цифровые справочно-информационные наборы, при этом переизданные НМК, официальные путевые электронные навигационные карты (ЭНК) по высокоширотной трассе до сих пор практически отсутствуют. Первоначально Министерство транспорта (Федеральное агентство морского и речного флота) и ГП планировали организовать структуру по подготовке ЭНК трассы СМП. Однако после перехода ГП в корпорацию «РосАТОМ» эти планы претерпели изменения. В результате создание НМК и ЭНК восточного сектора Арктики было поручено Министерству обороны в лице Управления навигации и океанографии (далее — УНиО) и ФКУ 280 — Центральное картографическое производство ВМФ (далее — 280 ЦКП).

Изучение рельефа дна северных морей СССР в послевоенные годы проводилось силами Гидрографического предприятия ММФ и было направлено главным образом на обеспечение безопасности мореплавания в первую очередь по трассам СМП. В 1950–70-е гг. для позиционирования гидрографических работ применялись отечественные фазовые радионавигационные системы (РНС) и однолучевые эхолоты (ОЛЭ). Позже, в 1980-е гг., на специализированных гидрографических судах ГП использовались зарубежные РНС и ОЛЭ типа Atlas DESO-20. Первоочередные работы в 1950-е гг. проводились в южной части арктических морей, вдоль всех побережий. Итогом первого этапа этих работ явилось создание комплекта навигационных морских карт (НМК) различного масштаба, обеспечивших навигационную безопасность плавания по трассе СМП для судов с осадкой 6–10 м. В настоящее время комплект навигационных морских карт (НМК) трассы СМП, изданных УНиО МО РФ, включает более 680 единиц, из них на Карское море приходится более 440 НМК.

В связи с появлением крупнотоннажных судов ледового класса для перевозки сжиженного газа (СПГ-танкеры), которые имеют осадку 13 м и поэтому не могут следовать через пролив Санникова, возникла необходимость проведения гидрографических работ на высокоширотных трассах в Восточно-Сибирском море. Дополнительным обстоятельством в пользу этого является изменение ледовых условий плавания в Восточно-Сибирском море в связи с потеплением климата. Начиная с 2011 г. ГП возобновило гидрографические исследования на существующей трассе СМП, включая высокоширотную трассу в Восточно-Сибирском море. Подготовлены цифровые справочно-информационные наборы (ЦСИН), границы рамок которых по состоянию на 2021 г. представлены на интернет-сайте ГП корпорации РосАтом¹. Общая коллекция ЦСИН трассы СМП на февраль 2021 г. составила 253 единицы. Положение рамок ЦСИН масштаба 1 : 45000 с их номерами в западной части Восточно-Сибирского моря на высокоширотной трассе СМП представлено на рис. 3. Однако ЦСИН не являются официальными ЭНК, которые прошли проверку в региональном центре МГО и включены в Каталог ЭНК МГО² и Каталог ЭНК УНиО МО РФ [20].



748

² IHO Online Catalogues. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iho.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=06d967702c7f4094bbce5b4f8e485b712&mobileBreakPoint=300>.

выполненных ГП до 2020 г. Начиная с 2020 г. ГП выполняется площадная съемка альтернативной высокоширотной трассы на юг от точки 16 и далее до соединения с точкой 17 (см. рис. 3). В полосе съемки 2020 г. (от точки 16 до точки 11а), которая выполнялась по чистой воде, была обнаружена минимальная глубина 21 м, а средние глубины составили 24–26 м. В 280 ЦКП отсутствуют материалы гидрографических исследований, выполненных ГП в западной части Восточно-Сибирского моря к северу и востоку от островов Анжу в период 2016–2020 гг. Не переданы в 280 ЦКП также ЦСИН, положения рамок которых показаны на рис. 3.

В процессе выполнения площадной съемки на высокоширотных трассах в ГП используются зарубежные многолучевые эхолоты и применяются современные гидрографические информационные технологии, однако нормы и правила съемки продолжают базироваться на устаревших нормативных документах, в частности ПГС-4 [22]. Эти нормы и правила не позволяют в полной мере использовать преимущества современных гидрографических технологий, требования к которым основаны на Стандартах на гидрографическую съемку Международной гидрографической организации (МГО) S-44, а также уступают этим требованиям в части точности съемки.

Результаты (Results)

Высокоширотная трасса СМП в Восточно-Сибирском море, полученная в результате многолучевой съемки ГП, выполненной в 2011–2019 гг., проходит по НМК с Адмиралтейскими номерами 11147, 11155, 11148 и 11149. Схемы гидрографической изученности с рамками НМК масштаба 1 : 500000 [20] и приблизительное положение линии высокоширотной трассы ГП между точками 15–17 показаны на рис. 4.

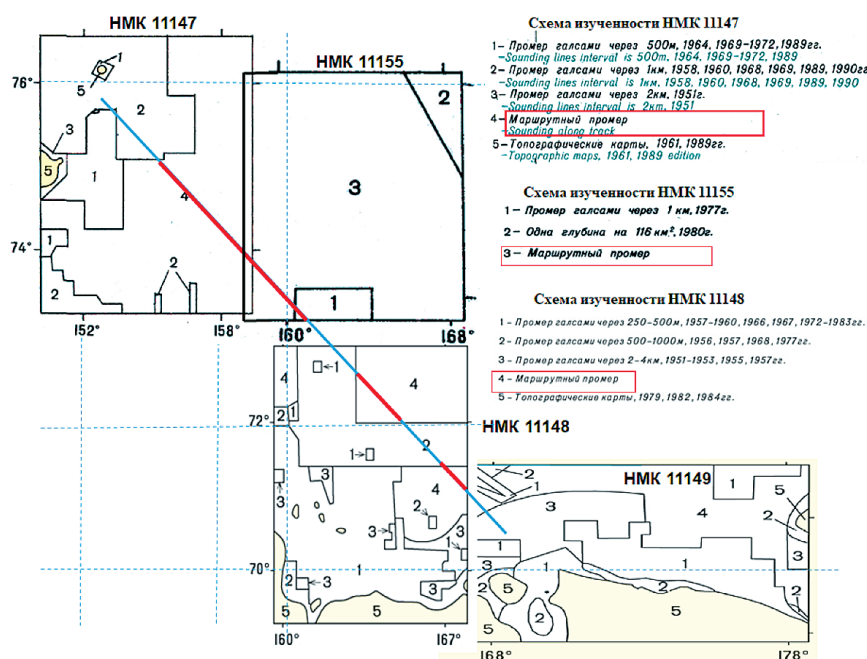


Рис. 4. Схемы гидрографической изученности на НМК 11147, 11155, 11148 и 11149

Анализ гидрографической изученности, представленной на НМК 11147 (изд. 1996 г.), 11155 (изд. 1993 г.) и 11148 (изд. 1994 г.), показал, что существенная часть высокоширотной трассы СМП в Восточно-Сибирском море (отмечена на рис. 3 красными линиями) от точки 15 проходит по районам с недопустимо низкой гидрографической изученностью, полученной по результатам маршрутного промера. Сведения по такому промеру на схемах изученности не приводятся (см. номера зон 3 и 4 на рис. 4). На НМК 11155 основную площадь занимает «белое пятно» с несколькими галсами маршрутного промера. Поэтому использование для навигации СПК-танкеров в Восточно-Сибирском

личительные глубины и линии рекомендованных трасс СМП в Восточно-Сибирском море. Высокоширотная трасса от точки 15 (остров Жохова) к точке 16 и батиметрические объекты, извлеченные из этих ЭНК, изданных в 2016 г., отмечены на рис. 7 двойной красной пунктирной линией.

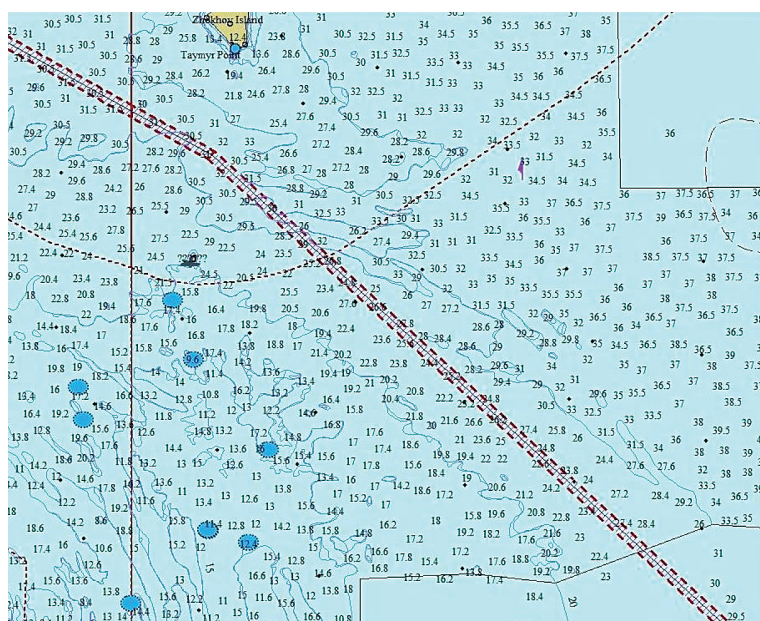


Рис. 7. Высокоширотная трасса на ЭНК RU2POX60 и RU20PXR0
масштаба 1 : 700 000 в западной части Восточно-Сибирского моря в ГИС Global Mapper

Фрагмент экрана ЭКНИС dKart Navigator с загруженной ЭНК RU2POX60 (1 : 700 000) показан на рис. 8. В ЭКНИС dKart Navigator ЭНК масштаба 1 : 700 000 положение высокоширотной трассы ГП от точки 15 может отображаться в диапазоне масштабов от 1 : 1000 до 1 : 1 000 000. На рис. 8 масштаб изображения ЭНК составляет 1: 500 000 и может быть увеличен для до 1 : 1000 для контроля следования по полосе шириной 2 км. Высокоширотная трасса в западной части Восточно-Сибирского моря, приведенная на рис. 5–8, является мелководной с глубинами 25–28 м и небезопасной ввиду возможного наличия донного газопоявления.

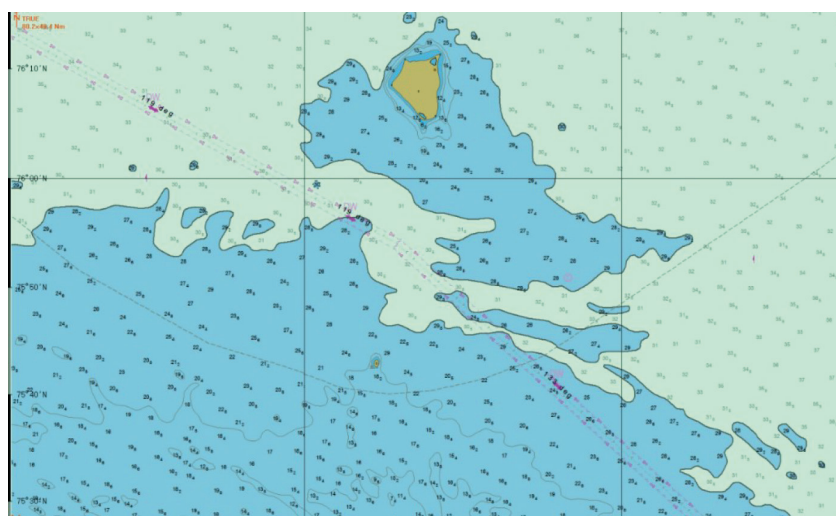


Рис. 8. Фрагмент экрана ЭКНИС dKartNavigator с ЭНК 1 : 700 000 (ЭНК RU2POX60)
в западной части Восточно-Сибирского моря

Для эффективной круглогодичной навигации СПГ-танкеров типа Yamalmax в ближайшие годы необходимо продолжить выполнение гидрографических работ по другим высокоширотным трассам СМП

в Восточно-Сибирском море, а также издание официальных путевых ЭНК РФ. Вопросы выбора оптимального положения этих высокоширотных трасс требуют дополнительного изучения и обоснования. Выполнение гидрографических работ в центральной части моря ранее усложнялось наличием практически круглогодичного ледового покрытия — Айонского ледового массива (АЛМ), состояние которого проанализировано в работах [23]–[27], в которых приведены статистические сведения, полученные с начала XXI в. при недостаточном привлечении данных космического зондирования. Исключением является монография [27], содержащая полезные сведения относительно текущего состояния АЛМ, сплоченность которого в осеннее время за последние 5–7 лет существенно сократилась. Это подтверждается также данными космического зондирования, которые находятся в свободном доступе в сети Интернет. Учитывая продолжающееся потепление Арктики, можно проводить гидрографическое обследование новых высокоширотных трасс в центральной и восточной частях Восточно-Сибирского моря.

Высокоширотная трасса шириной 2 км, обследованная ГП, не является единственно оптимальной для круглогодичной навигации СПГ-танкеров типа Yamalmax. Зимние переходы СПГ-танкеров по более северным высокоширотным трассам восточнее островов Анжу и далее в направлении севернее острова Врангеля начались еще в 2019–2020 гг. [28]. Следует изучить вопрос создания новой более северной трассы в восточной части моря, проходящей по большим глубинам, и, возможно, в более сложных ледовых условиях, которые не являются непреодолимыми для современных СПГ-танкеров.

Новую высокоширотную трассу рекомендуется начать от точки 15 (см. рис. 3) в направлении к острову Врангеля, обходя его с севера или запада с возможностью следования через пролив Лонга в зависимости от ледовой обстановки в восточной части Восточно-Сибирского моря. Информация о распределении и толщине льда на высокоширотной трассе в Восточно-Сибирском море в осенне-зимний период имеет решающее значение при проектировании новой высокоширотной трассы, безопасной в гидрографическом отношении для навигации СПГ-танкеров типа Yamalmax.

В январе 2021 г. ООО «ГК СКАНЭКС» приняла участие в информационном обеспечении СПГ-танкера «Кристоф де Марджери» ГК «Совкомфлот» при выполнении им транзитного перехода по трассе СМП в период зимней ледовой навигации. Отличительной особенностью этого перехода являлось отсутствие ледокольного сопровождения на всем пути следования. Высокоширотная трасса, использованная в период зимней навигации, представлена на изображении, выложенном на морском портале Scanex Maritime¹. Программное обеспечение, собранное в рамках платформы Scanex Maritime, предлагает пользователям сервисы мониторинга движения судов и условий ледовой обстановки в замерзающих морях.

В части новых источников данных для мониторинга ледовой обстановки подключены карты реанализа спутниковых данных CryoSat-2 для мониторинга толщины ледового покрова, внедрены результаты прогноза толщины льда по материалам модели ESRL NOAA на десять суток вперед. Дополнительно стали доступны новые детальные карты сплоченности морского льда, построенные по реанализу данных микроволнового радиометра AMSR-2 совместно с данными Terra/Aqua MODIS.

Начиная с 2019 г. информация по сплоченности льда и его толщине в СЛЮ доступна на сайте университета Бремена². Подробная информация о распределении многолетних и однолетних льдов, а также молодых льдов в осенне-зимний период доступна на одной из страниц сайта университета Бремена³ (1 km resolution sea ice concentration from modis & amsr2). Там же представлена и другая полезная информация по ледовитости СЛЮ, полученная с применением спутниковых технологий (MODIS-Aqua, AMSR2-GCOM_W1). В частности, приводятся графики ежемесячного распределения льда (в км²) с 1979 г. по 2022 г. с интервалами 8–12 лет. При этом отмечена минимальная ледовитость СЛЮ, полученная в 2021 г. Модели сплоченности *многолетних* льдов в СЛЮ в 2022 г., по данным сайта университета Бремена, полученные с использованием технологии Modis & Amr2, представлены на рис. 9.

¹ Группа компаний «СКАНЭКС». Морской портал. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.scanex.ru/cloud/maritime>.

² Sea Ice Remote Sensing at the University of Bremen <https://seaice.uni-bremen.de/start>.

³ Sea-ice concentration maps. 1 km resolution sea ice concentration from modis & amsr2. <https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/modis-amsr2>.

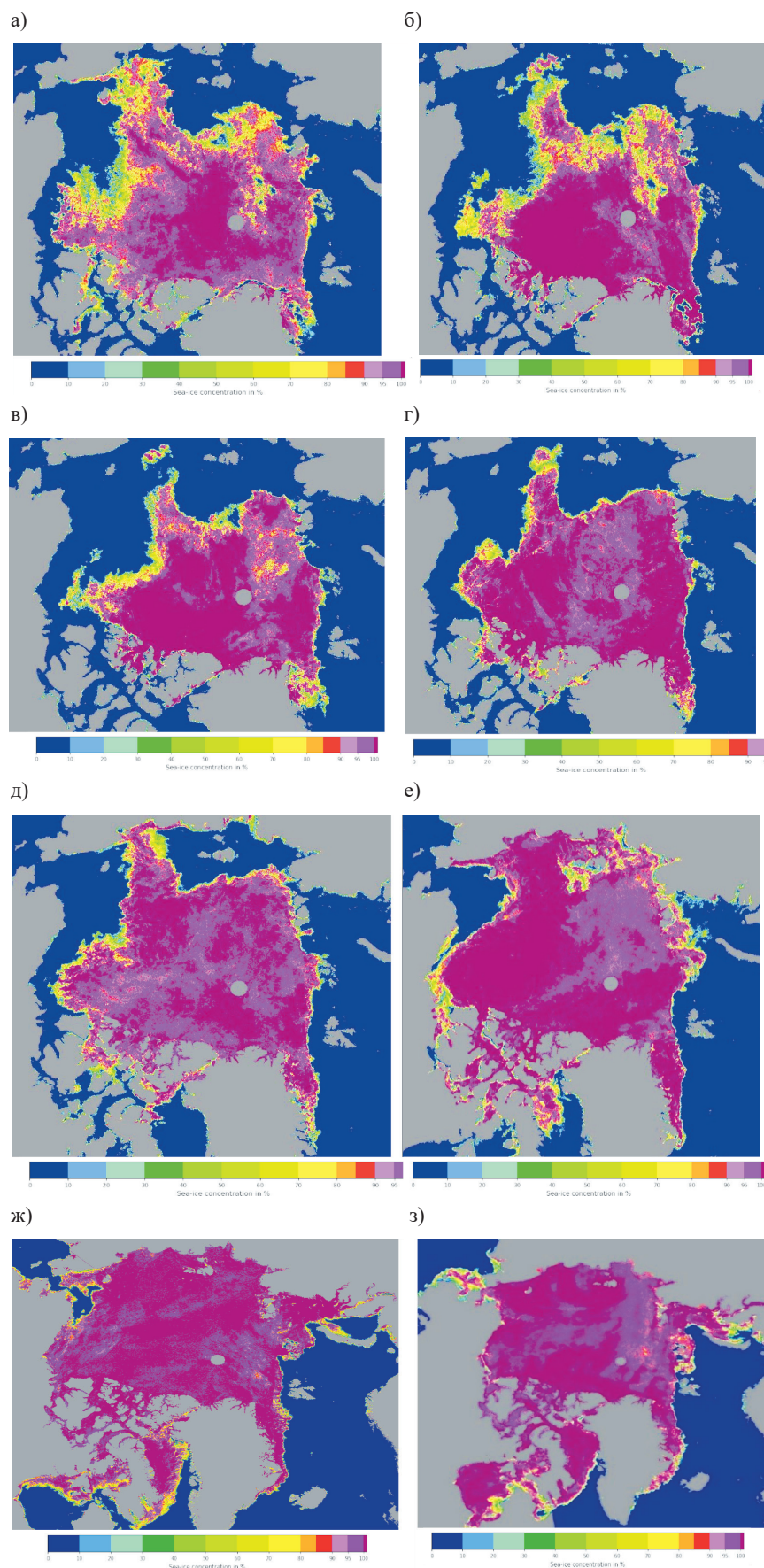


Рис. 9. Сплоченность многолетних льдов: а — на 15 августа 2022 г.; б — на 1 сентября 2022 г.; в — на 15 сентября 2022 г.; г — на 01 октября 2022 г.; д — на 15 октября 2022 г.; е — на 01 ноября 2022 г.; ж — на 01 декабря 2022 г.; з — на 01 января 2023 г.

Сведения, представленные на рис. 9, а, б и рис. 10, позволяют утверждать, что в августе только западная часть Восточно-Сибирского моря свободна ото льдов и доступна для проведения гидрографических работ. К началу сентября в АЛМ образуются разводья, позволяющие продлить съемки в восточном направлении. С начала сентября АЛМ начинает разрушаться и период с 1 по 15–20 сентября предположительно является наиболее благоприятным для выполнения работ по новой высокоширотной трассе (см. рис. 9, в, г). Такая ситуация наблюдается в течение последних 5–7 лет. После 1 октября происходит интенсивное наращивание АЛМ, что наглядно продемонстрировано на ледовых картах, представленных на рис. 9, д, е. После 15 октября проведение гидрографических работ по новой высокоширотной трассе в Восточно-Сибирском море возможно только к северу от острова Врангеля и предпочтительно с использованием гидрографических судов ледового класса. К концу октября южный край АЛМ составляет молодой лед толщиной 30–40 см, в западной части моря только начинается ледостав и толщина льдов не должна превышать 20 см. С конца октября начинается интенсивное ледообразование в юго-западной части Чукотского моря и уже к началу декабря лед покрывает практически все море, кроме его самой восточной части. На рис. 9, е показана ледовая обстановка в СЛО в ноябре. Проведение гидрографических работ в этот период в отдельные годы возможно только под проводкой ледокола и нецелесообразно. В ноябре плавание по традиционной трассе СМП вдоль сибирского берега проходит в ледовых условиях, а в районах к северу и востоку от острова Врангеля все еще чистая вода. В начале декабря Чукотское море покрывается молодым льдом, но в восточной его части все еще может оставаться чистая вода. Информация по толщине льда в СЛО в период с октября по апрель, начиная с 2010 г., публикуется на сайте университета Бремена¹. Расчет толщины льда выполнен на основе модели SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity)². На рис. 10 приведены модельные данные толщины льда в СЛО в октябре – декабре 2022 г., полученные на сайте университета Бремена.

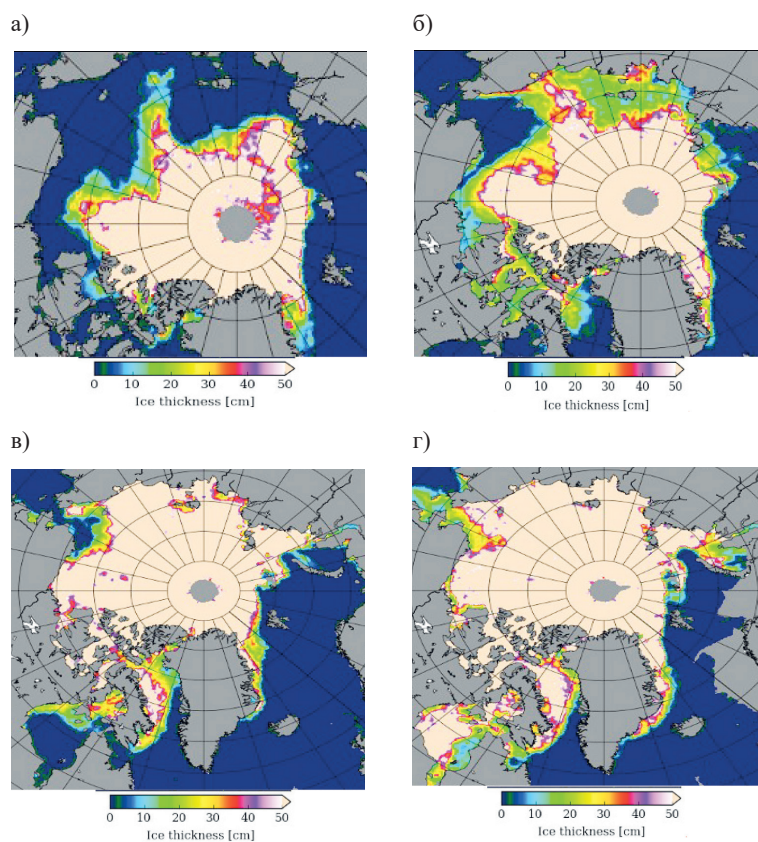


Рис. 10. Модельные данные толщины льда: а — 01 октября 2022 г.; б — на 01 ноября 2022 г.; в — 01 декабря 2022 г.; г — на 01 января 2023 г.

¹ SMOS Sea Ice Thickness ReadMe-first Technical Note (RM-TN). <https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/SMOS-L3-Sea-Ice-Thickness-Read-Me-First-Tech-Note.pdf>.

² SMOS Sea Ice Thickness. <https://spaces.awi.de/display/CS2SMOS/SMOS+Sea+Ice+Thickness>.

Приведенные сведения дополняют картину сплоченности льда в Восточно-Сибирском море и характеризуют возможность проектирования гидрографической съемки по новой высокоширотной трассе в восточной части моря. Имеющиеся сведения по состоянию Айонского ледового массива свидетельствуют о возможности проведения гидрографических работ в восточной части моря в осенний период с начала сентября и как минимум до 10–15 октября и согласуются с данными, приведенными в работе [29].

Анализ моделей сплоченности льдов Восточно-Сибирского моря в летне-осенний период, представленный на рис. 9, а — 10, в, показывает, что созданная ГП высокоширотная трасса (от точки 15 до точки 17 см. рис. 5) с 15 июля по 15 октября может быть свободна ото льда. Эта высокоширотная трасса будет сопряжена с новой трассой СМП вдоль сибирского берега, предназначенной для плавания крупнотоннажных судов с осадкой 15 м, обследованной современной площадной съемкой ГП в 2021 г. (см. рис. 5). В 2023 г. была продолжена площадная съемка новой трассы СМП вдоль сибирского берега между точками 17 и 20 с целью ее расширения (см. рис. 5).

В связи с ранее изложенным открывается возможность более полного гидрографического изучения Восточно-Сибирского моря, включая районы его центральной и восточной части, ранее практически недоступные ввиду наличия АЛМ. Приведенные спутниковые данные позволили прогнозировать изменения обстановки по ледовитости в АЛМ и наметить новую высокоширотную трассу. Предлагается от точки 15 (см. рис. 3) с координатами $75^{\circ}54'$ с. ш. и $152^{\circ}35'$ в. д. наметить трассу в точку N1 с координатами: 74° с. ш. и 165° в. д., далее в точку N2 с координатами: 74° с. ш. и 173° в. д. и затем в направлении острова Врангеля, обходя его с севера по изобате 40–50 м (координаты: точки N3: $71^{\circ}50'$ с. ш. и $175^{\circ}25'$ з. д.). Положение этой новой предлагаемой высокоширотной трассы приведено на рис. 11.

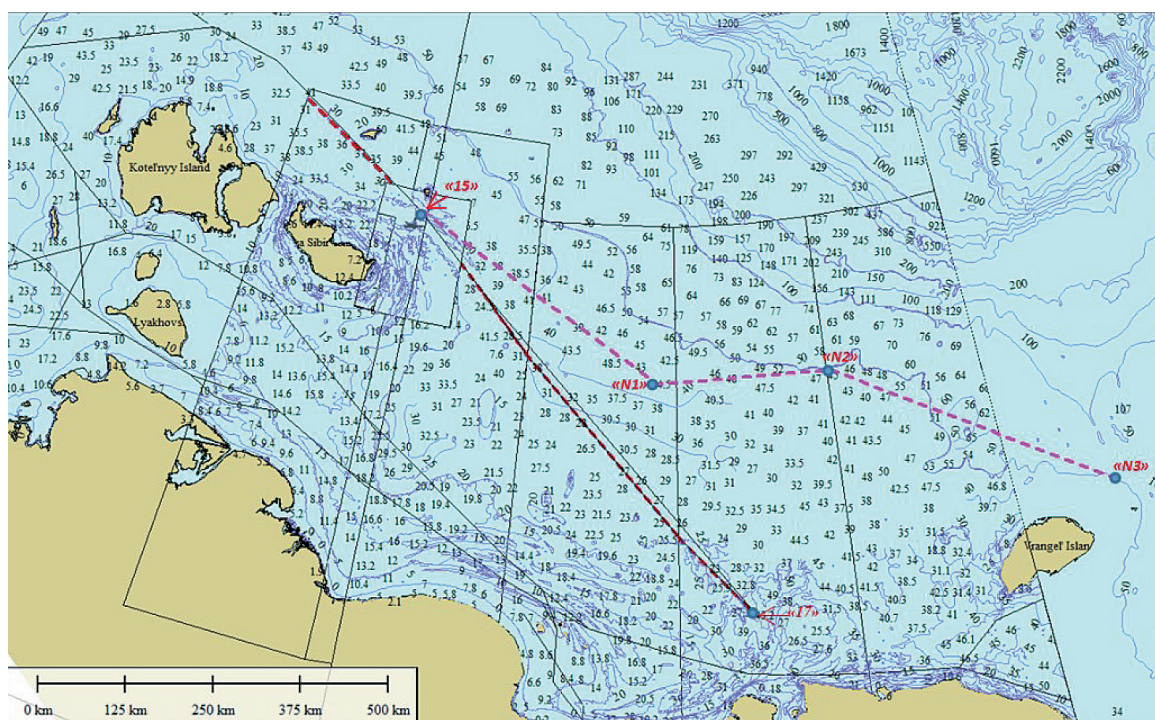


Рис. 11. Положение предлагаемой новой высокоширотной трассы в Восточно-Сибирском море на ЭНК масштаба 1 : 700000

На рис. 11 черными линиями показаны традиционные трассы СМП и высокоширотная трасса ГП (15–17). Участок трассы между точками N1 и N2 (длина 246 км) ориентировочно проходит по центру района, в котором, по спутниковым данным, в неблагоприятный в ледовом отношении в 2022 г. с начала сентября происходило первоначальное разрушение АЛМ (см. рис. 9, б, в). При использовании гидрографических судов (ГС), не имеющих ледового класса, выполнение съемки

на линии $N1-N2$ в условиях чистой воды даже в неблагоприятный в ледовом отношении год будет возможно в течение нескольких недель сентября. Съемка на линии $I5-N1$ (длина 417 км), а также на линии новой трассы к северу от острова Врангеля: $N2-N3$ длиной 460 км по чистой воде будет возможна с середины августа до начала ноября (см. рис. 9, з, д).

Для анализа сплоченности льда АЛМ был выбран 2022 г., который выдался аномально сложным в ледовом отношении по сравнению с предшествующим периодом после 2010 г. Сплоченность многолетних льдов в конце сентября в период 2018–2021 гг., по данным архива университета Бремена, представлена на рис. 12, а–г.

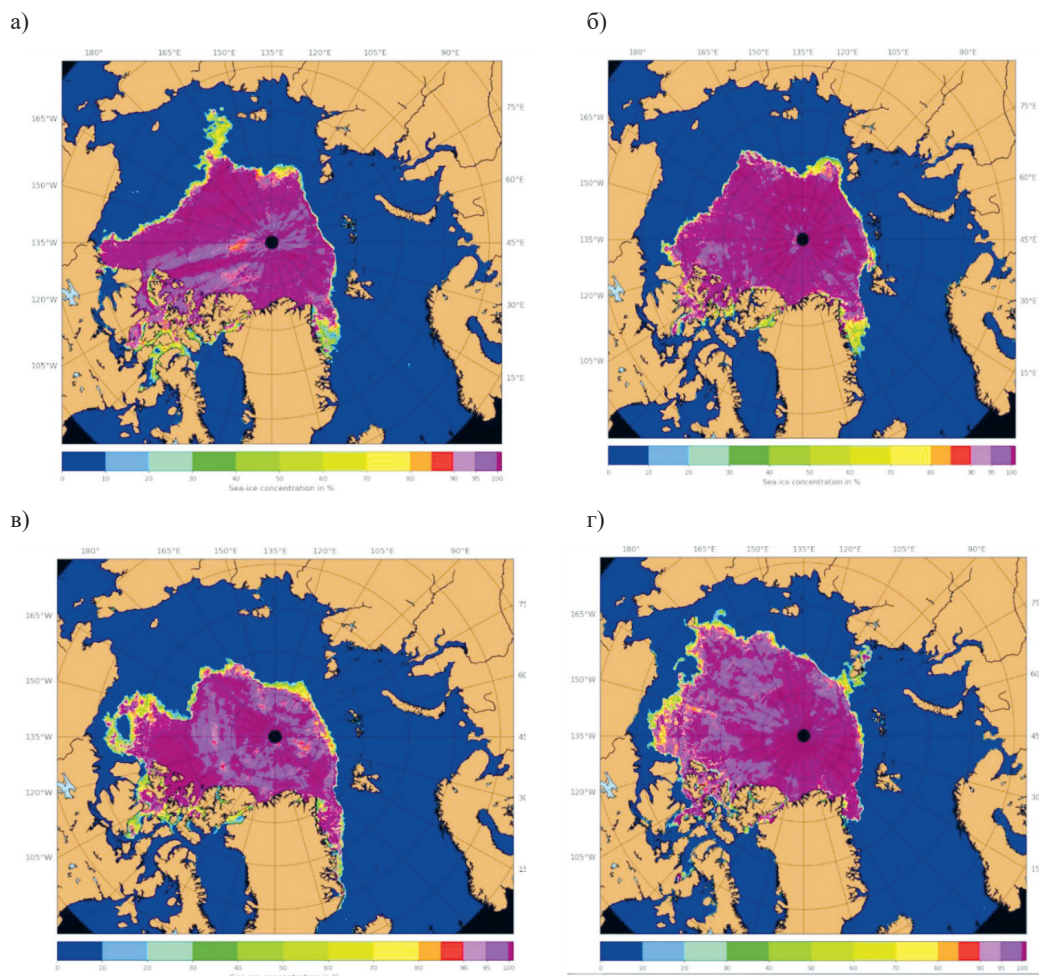


Рис. 12. Сплоченность многолетних льдов в сентябре:
а — 2018 г.; б — 2019 г.; в — 2020 г.; г — 2021 г.

Анализ сведений из этого архива, частично представленных на рис. 12, показывает, что сплоченность льдов Айонского ледового массива за последние 5 лет существенно снижается. В 2020 г. все море с августа по октябрь было свободно ото льда. Наиболее ледовитым был 2022 г., но тенденция снижения сплоченности льдов АЛМ, по-видимому, продолжится и в последующие годы, когда сложные и благоприятные ледовые условия будут чередоваться согласно данным, представленным в работе [25]. Снижение сплоченности льдов в Восточно-Сибирском море в период 2002–2021 гг., на основе анализа спутниковых данных микроволнового радиометра AMSR, отмечается также в работе [29]. У ГП нет ГС ледового класса, способных работать в центральной части моря на линии $N1-N2$ в октябре. Гидрографическое судно ледового класса Arc-6 для ГП пока находится в стадии проектирования. Возможным решением проблемы может быть использование имеющегося у МО РФ ледокола «Илья Муромец», оснащенного МЛЭ фирмы RESON и способного работать во льдах толщиной до 1 м.

Участок предлагаемой трассы между точками *N2* и *N3* (см. рис. 11) к северу от острова Врангеля остается свободным ото льда с середины августа до середины ноября (см. рис. 9, *е, ж*) что, по-видимому, связано с проникновением в Чукотское море течения, несущего более теплые и соленые воды из Берегового моря, согласно данным¹ и исследованию [27]. Использование участка трассы между точками *N2* и *N3* для навигации в осенне-зимний период обеспечит плавание по чистой воде до середины ноября. Позже здесь начнет формироваться молодой лед толщиной до 0,4–0,5 м, обеспечивающий благоприятную навигацию до конца ноября и, возможно, до середины декабря рис. 9, *е, ж*, что наглядно представлено на рис. 10, *а–г*. Участок трассы между точками *N2* и *N3* должен быть выбран с таким расчетом, чтобы он не проходил на глубинах менее 40 м ввиду возможного присутствия в этом районе стамух [30], [31], наиболее опасных для навигации в осенне-зимний период.

Обсуждение (Discussion)

Учитывая предполагаемый в будущем международный статус СМП, гидрографическая съемка по высокоширотным трассам должна выполняться с учетом требований МГО для особой либо первой «А» категорий съемки [32]. По-видимому, для трассы СМП с глубинами более 40 м возможно использование категории 1b, которая не предполагает полного акустического покрытия дна. При этом расстояние между крайними лучами полос обзора МЛЭ может быть принято равным трем глубинам. Этот вопрос требует дополнительного изучения и обоснования. В РФ нет национального стандарта для выполнения гидрографической съемки, основанного на Стандартах S-44 МГО. Этот вопрос рассмотрен в работе [33], посвященной четвертой редакции Стандартов S-44 МГО. В дальнейшем рассмотрению пятой редакции S-44 были посвящены работы [34], [35]. Инновационные требования Стандартов S-44 МГО нашли отражение в учебном пособии [36], а также в ряде публикаций, посвященных методике и контролю качества батиметрической съемки, выполненной в Арктическом бассейне для обоснования внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) [37]–[39]. Батиметрическая съемка для ВГКШ должна была проводиться на основе требований Стандартов S-44 МГО. В связи с отсутствием национальных стандартов для каждой экспедиции готовилось детальное техническое задание. Применительно к мелководной площадной съемке рельефа с применением электронных гидрографических информационных систем (ЭГИС) вопросы обеспечения качества в контексте требований Стандарта S-44 МГО рассмотрены в работе [40].

Основной проблемой, препятствующей использованию устаревших норм и правил выполнения гидрографической съемки, изложенных в ПГС 4 [22], является точность глубин и координат, основанная на 63%-й доверительной вероятности, в то время как в Стандартах S-44 МГО [32] требуется представление результатов съемки с 95%-й доверительной вероятностью. Таким образом, требования к точности Стандартов S-44 в два раза выше заданных в ПГС 4 [22]. Разработку новых национальных стандартов следует считать приоритетной задачей российской гидрографии, до введения которых в части точности предоставляемых результатов съемки, целесообразно руководствоваться требованиями и нормами Стандарта S-44 МГО (2022 г.).

Дополнительной проблемой при проектировании высокоширотных трасс в мелководных районах центральной и восточной части Восточно-Сибирского моря может являться нестабильность рельефа, обусловленная донным газопроявлением. Вопросам донного газопроявления в Мировом океане и в том числе в арктических морях посвящена обширная литература, включая ряд отечественных публикаций, например, [41]–[43], которые в основном касались моря Лаптевых. Вопросы поиска районов донного газопроявления с использованием гидроакустических средств (МЛЭ) и ЭГИС в Карском море обсуждались в работах [44]–[47]. Современные МЛЭ позволяют осуществлять обнаружение донного газопроявления одновременно с выполнением площадной съемки рельефа. Изучению донного газопроявления в российской Арктике, вклю-

¹ Arctic_climate. Past_and_present. <https://www.amap.no/documents/download/1083/inline>.

чая и Восточно-Сибирское море, была посвящена совместная Российско-шведская экспедиция SWERUS-2014, в отчетах которой приведена наиболее подробная информация по применению МЛЭ для поиска донного газопроявления. Отчеты экспедиции находятся в свободном доступе в сети Интернет^{1, 2}.

Среди наиболее интересных отечественных публикаций следует отметить работу [48], в которой исследуется донное газопроявление в северо-западной части Восточно-Сибирского моря, выявленное в процессе выполнения морских сейсмических работ. Поиск «газовых сипов» в акваториях арктических морей с использованием данных дистанционного зондирования обсуждался в работе [49]. При этом имеется предположение, что существование новосибирской части Великой сибирской полыньи обусловлено наличием донного газопроявления в районах к северу, северо-востоку от островов Анжу.

Вопрос изучения донного газопроявления в настоящее время приобретает актуальное значение в связи с предполагаемым ресурсным освоением Восточно-Сибирского моря и требует проведения дополнительного исследования, а также учета при выборе безопасного расположения высокоширотных трасс. Созданная ГП высокоширотная трасса (основная и альтернативная) между точками 15 и 17 проходит по малым глубинам. Вновь создаваемая прибрежная трасса от точки 17 до 20 также мелководна. Трассы от точки 11 до точки 20 (см. рис. 5) не предполагают обследование донного газопроявления. Поэтому даже площадное обследование этих мелководных трасс не гарантирует безопасность плавания в связи с нестабильностью рельефа в результате донного газопроявления, связанного с деградацией вечной мерзлоты. Этот процесс в ближайшей перспективе, по-видимому, будет усиливаться. Изучение нестабильности рельефа в результате донного газопроявления в арктических морях только начинается. Публикации по прибрежным районам моря Бофорта подтверждают существенную нестабильность рельефа³. Высокоширотные трассы на больших глубинах в перспективе будут более безопасны также и в плане возможного вынужденного выхода судна из «коридора», внутри которого выполнена площадная маршрутная съемка. Этот вопрос детально исследован в работах [2], [8], [13].

Дополнительным источником информации о рельефе дна для новой высокоширотной трассы СМП в Восточно-Сибирском море могут служить результаты морских геофизических работ, выполненных здесь в последние годы [48], [50]. С 2024 г. АО «РосГео» планирует проведение ежегодных геофизических работ в Восточно-Сибирском море с попутным промером ОЛЭ. Батиметрическую съемку, выполняемую в процессе геофизических работ, необходимо проводить по единой методике, а результаты представлять в 280 ЦКП для пополнения отечественной батиметрической базы данных (ББД) УНиО на арктические моря. Возможность использования таких данных лишней раз подтверждает необходимость повышения статуса 280 ЦКП ВМФ как единого национального центра, в который должны поступать результаты батиметрических съемок, выполняемых различными организациями РФ вне зависимости от их ведомственной принадлежности. В настоящее время от гидрографического и картографического обеспечения высокоширотных трасс СМП в Восточно-Сибирском море будут во многом зависеть сроки осуществления безопасной круглогодичной навигации СПГ-танкеров.

¹ The Swedish-Russian-US Arctic Ocean Investigation of Climate-Cryosphere-Carbon Interactions. The SWERUS-C3 2014. Expedition CRUISE REPORT – LEG 1 (of 2) The SWERUS Scientific Party. Cruise report SWERUS-C3 – Leg 1.pdf. [https://bolin.su.se/data/swerus/reports/leg1/Cruise%20report%20SWERUS C3%20E2%80%93%20Leg%201.pdf](https://bolin.su.se/data/swerus/reports/leg1/Cruise%20report%20SWERUS%20C3%20E2%80%93%20Leg%201.pdf).

² The Swedish-Russian-US Arctic Ocean Investigation of Climate-Cryosphere-Carbon Interactions The SWERUS-C3 2014 Expedition. CRUISE REPORT SWERUS-C3 LEG 2 Bolin Centre for Climate Research No 2. Cruise report SWERUS-C3 – Leg 2.pdf.

³ Charles K. Paulla,1,2 , Scott R. Dallimoreb,2, Young Keun Jinc , David W. Caressa, Eve Lundstena , Roberto Gwiazdaa , Krystle Andersona, John Hughes Clarked, Scott Youngblute, and Humfrey Mellingf. Rapid seafloor changes associated with the degradation of Arctic submarine permafrost. PNAS 2022 Vol. 119, No. 12 e2119105119. PP. 1–8. <https://doi.org/10.1073/pnas.2119105119>.

Неотложной задачей является также актуализация Руководства для сквозного плавания судов по Северному морскому пути [51] и Правил плавания по трассе СМП¹. В указанных документах следует учесть современные условия навигации на СМП, связанные с появлением СПГ-танкеров, а также гидрографическое и картографическое обеспечение высокоширотных трасс в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море. В Правилах плавания по трассе СМП картографическое обеспечение вообще не упоминается. В Постановлении Правительства № 1599 от 29.12.2014² картографическое обеспечение трасс СМП было поручено Министерству транспорта (Федеральное агентство морского и речного флота). Позже Постановлением Правительства № 1418 от 21.12.2016³ оно было возвращено Министерству обороны (УНиО). Для решения проблем СМП Правительством РФ в августе 2022 г. было принято решение о создании Главного управления Северного морского пути в составе Госкорпорации «Росатом».

Распоряжением Правительства РФ № 2115-р от 1 августа 2022 г. был утвержден интегрированный план развития Северного морского пути до 2035 года⁴, первый раздел которого посвящен развитию экспортной грузовой базы, каботажных и транзитных перевозок. Во втором разделе планируется модернизация существующих арктических портов и строительство новых, создание железнодорожных и речных транспортных коридоров и дноуглубление. Третий раздел связан с развитием арктического грузового и ледокольного флотов, судостроительных и судоремонтных мощностей в арктических регионах. До 2035 г. предстоит построить 153 судна, включая 12 ледоколов и 46 судов аварийно-спасательного флота. В четвертом разделе рассмотрены планы формирования арктической спутниковой группировки, развития аварийно-спасательной службы, гидрографического и гидрометеорологического обеспечения. Необходимость создания новых ЭНК на трассах СМП в этом документе не упоминается несмотря на то, что для Восточно-Сибирского моря этот вопрос имеет особое значение.

Задачи планирования гидрографических работ и картографического обеспечения высокоширотных трасс должны стать одним из приоритетных направлений деятельности главного управления СМП. Если по результатам современных высокоточных гидрографических работ на трассах СМП не будут созданы международно-признанные ЭНК, ее превращение в международную круглогодичную транспортную магистраль может быть затруднено. В ближайшие годы предстоит большая работа для преобразования СМП в круглогодичную транспортную магистраль, обеспечивающую связь России с дальневосточным и тихоокеанским регионом. Для преобразования СМП в международную круглогодичную транспортную магистраль потребуется не одно десятилетие. Официальные ЭНК, основанные на правилах современной гидрографии, должны стать частью условий для признания СМП в качестве международной круглогодичной транспортной магистрали.

Выводы (Summary)

В результате выполненного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на то, что Восточно-Сибирское море остается самым ледовитым из окраинных морей российской Арктики, за последние годы ледовые условия в центральной части Айонского ледяного массива существенно улучшились. Данные космического мониторинга сплоченности льдов

¹ Правила плавания в акватории Северного морского пути [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nsra.ru/ru/ofitsialnaya_informatsiya/pravila_plavaniya.html. <http://www.nsra.ru/files/fileslist/137-ru893-2020.pdf>.

² Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2014 № 1599 "Об осуществлении федеральными органами исполнительной власти отдельных полномочий в целях реализации Федерального закона «О навигационной деятельности и о внесении изменений в Положение о полномочиях федеральных органов исполнительной власти по поддержанию, развитию и использованию глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах обеспечения обороны и безопасности государства, социально-экономического развития Российской Федерации и расширения международного сотрудничества, а также в научных целях». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201501040025>.

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2016 № 1418 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612260028>.

⁴ Распоряжение Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-р «Об утверждении Плана развития Северного морского пути на период до 2035 года». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_423713/e352a42f02b825088518c580070a2ea84a9cec57.

позволяют обосновать возможность создания новых высокоширотных трасс СМП в центральной и восточной части моря.

2. Условиями выбора новой высокоширотной трассы в Восточно-Сибирском море является наличие больших глубин, а также осеннее разряжение ледового покрытия в центральной части Айонского ледяного массива по параллели 74° с. ш. даже в сложных ледовых условиях (например, в 2022 г.).

3. Участок предлагаемой новой высокоширотной трассы, пересекающей Айонский ледяной массив по параллели $\approx 74^{\circ}$ с.ш. в его центральной части (меридиан $\approx 169^{\circ}$ в. д.), может быть доступен для выполнения маршрутной площадной съемки по чистой воде, используя ГС, не имеющие ледовый класс даже в годы, неблагоприятные по ледовитости (сплоченности льдов) в течение нескольких недель сентября.

4. Другие участки новой высокоширотной трассы могут быть доступны для выполнения съемки с середины августа до конца октября. Участок трассы к северу и востоку от острова Врангеля в октябре и ноябре имеет меньшую ледовитость, чем новая трасса СМП вдоль сибирского берега в Чукотском море, и более удобен для навигации крупнотоннажных судов, включая СПГ-танкеры типа Yamalmax, без ледокольного сопровождения.

5. Обследованная ГП высокоширотная трасса в обход Айонского ледяного массива и далее в проливе Лонга пока не нанесена на все существующие ЭНК Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Эта трасса нанесена на ЭНК масштаба 1 : 2 000 000 и 1 : 700 000, изданных в 2016 г., но на некоторых ЭНК масштаба 1 : 180 000 она пока отсутствует.

На основе оценки текущего состояния картографического обеспечения Восточно-Сибирского моря дополнительно можно сделать следующие выводы:

1. В период 2012–2022 гг. в ГП созданы ЦСИН по новым трассам СМП, которые не являются официальными государственными ЭНК РФ. Эти ЦСИН не переданы в 280 ЦКП ВМФ, которое является единственной в стране организацией, ответственной за издание государственных НМК и ЭНК РФ.

2. Гидрографическая съемка на трассах СМП выполняется на основе правил, не соответствующих требованиям Стандарта S-44 МГО. Поскольку национальные требования к гидрографической съемке, основанные на S-44, отсутствуют, необходима их незамедлительная разработка.

3. Необходимо обеспечить передачу всех доступных батиметрических материалов по арктическим морям, включая Восточно-Сибирское море, полученных различными ведомствами РФ, в 280 ЦКП ВМФ для создания ББД УНиО по Северному Ледовитому океану.

4. Маршрутные площадные гидрографические съемки на трассах СМП с использованием МЛЭ и ЭГИС целесообразно проводить одновременно с регистрацией данных водной толщи, что обеспечит поиск районов интенсивного донного газопроявления, потенциально опасного для мореплавания и имеющего также ресурсное значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олерский В. Комплексный проект развития Северного морского пути / В. Олерский // Транспортная стратегия — XXI век. — 2015. — № 29. — С. 8–9.
2. Афонин А. Б. Концепция развития судоходных трасс акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 81–87. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87.
3. Afonin A. Conventional and Deep-Water Shipping Passages Along the Northern Sea Route / A. Afonin, E. Olkhovik, A. Tezikov // Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development, and Sustainability in the Arctic. — IGI Global, 2019. — Pp. 314–337. DOI: 10.4018/978-1-5225-6954-1.ch015.
4. Ольховик Е. О. Исследование плотности транспортных потоков 2018 года в акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 975–982. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-975-982.
5. Vukovic N. A. Prospects of development of the transnational transport corridor of the northern sea route based on Sabetta sea port / N. A. Vukovic, Z. A. Mingaleva, A. V. Mekhrentsev // R-Economy. — 2019. — Vol. 5. — Is. 1. — Pp. 19–24. DOI: 10.15826/recon.2019.5.1.003.

6. Тезиков А. Л. Гидрографическая изученность акватории Северного морского пути / А. Л. Тезиков, А. Б. Афонин, Е. О. Ольховик // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 2 (75). — С. 19–21.
7. 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.
8. Андреева Е. В. Учет влияния гидрографической изученности на безопасность плавания крупнотоннажных судов в акватории Северного морского пути / Е. В. Андреева, К. Я. Исаулова, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-856-866.
9. Афонин А. Б. Повышения эффективности съемки рельефа дна в акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 302–309. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-302-309.
10. Афонин А. Б. Разработка методов оценки проходных глубин на трассах Северного морского пути в зависимости от подробности съемки рельефа дна / А. Б. Афонин, Е. О. Ольховик, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 4 (38). — С. 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.
11. Афонин А. Б. Исследование влияния подробности гидрографической съёмки на оценку проходных глубин / А. Б. Афонин, И. Ю. Королёв, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9 — № 5. — С. 1007–1016. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1007-1016.
12. Афонин А. Б. Оптимизация съёмки рельефа дна в акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин // Навигация и гидрография. — 2022. — № 67. — С. 37–45.
13. Ольховик Е. О. Обоснование плана проведения площадного обследования высокоширотных маршрутов / Е. О. Ольховик, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 296–304. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-296-304.
14. Ольховик Е. О. Влияние льда на формирование судоходных маршрутов в акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик, Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 2. — С. 26–36. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.
15. Тезиков А. Л. Исследование факторов, влияющих на продолжительность навигации в акватории Северного морского пути / А. Л. Тезиков, Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 734–744. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-734-744.
16. Исаулова К. Я. Исследование маршрутов движения крупнотоннажных судов в Восточном секторе акватории Северного морского пути / К. Я. Исаулова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 726–733. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-726-733.
17. Исаулова К. Я. Исследование навигационно-гидрографических характеристик заприпайных полыней в восточного сектора Северного морского пути / К. Я. Исаулова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 394–402. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-394-402.
18. 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.
19. Гуков А. Ю. Великая сибирская полынья, век XXI / А. Ю. Гуков // Наука и техника в Якутии. — 2009. — № 1 (16). — С. 99–103.
20. Каталог карт и книг Северный Ледовитый океан. УНиО МО РФ. Адмиралтейский № 7107. — СПб.: УНиО, 2020. — 79 с.
21. Каталог электронных навигационных карт. Юрисдикция Российской Федерации. — СПб.: УНиО МО РФ. — 81 с.
22. Правила гидрографической службы № 4. Съёмка рельефа дна. Ч. 2 : Требования и методы. — Изд. Министерства обороны СССР. Главное управление навигации и океанографии, 1984. — 264 с.

23. Юлин А. В. Сезонная и межгодовая изменчивость ледяных массивов Восточно-Сибирского моря / А. В. Юлин, М. В. Шаратунова, Е. А. Павлова, В. В. Иванов // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2018. — Т. 64. — № 3 (117). — Рр. 229–240. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-3-229-240.
24. Шаронов А. Ю. Задачи гидрометеорологического обеспечения круглогодичной навигации в Восточно-Сибирском море / А. Ю. Шаронов, В. А. Шматов // 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.
25. Холопцев А. В. Анализ изменений ледовых условий на Северном морском пути в конце XX — начале XXI века / А. В. Холопцев, С. А. Подпорин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 71–84. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-71-84.
26. Думанская И. О. Ледовые условия морей азиатской части России / И. О. Думанская. — М.: Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2017. — 640 с.
27. Моря российской Арктики в современных климатических условиях. — СПб: ААНИИ, 2021. — 360 с.
28. Соколова Ю. В. Сравнение самостоятельного движения и движения под проводкой ледокола газозовов типа «YAMALMAX» / Ю. В. Соколова, О. С. Девятаев, Е. В. Афанасьева, Ю. М. Титова // Российская Арктика. — 2020. — № 11. — С. 39–58. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12515.
29. Pang X. Analysis of sea ice conditions and navigability in the Arctic Northeast Passage during the summer from 2002–2021 / X. Pang, C. Zhang, Q. Ji, Y. Chen, Z. Zhen, Y. Zhu, Z. Yan // Geo-spatial Information Science. — 2022. — Рр. 1–15. DOI: 10.1080/10095020.2022.2124128.
30. Платонова Е. В. Многолетние наблюдения за стамухами Восточно-Сибирского моря с использованием спутниковых данных / Е. В. Платонова, И. А. Бычкова // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. — 2018. — № 53. — С. 103–112.
31. Создан атлас опасности прибрежно-шельфовой зоны российской Арктики [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rscf.ru/news/earth-sciences/atlas-opasnosti-pribrezhno-shelfovoy-zony/> (дата обращения: 01.08.2023).
32. IHO Standards for Hydrographic Surveys (6.1.0 Edition). S-44. — Monaco: International Hydrographic Bureau, 2022. — 43 p.
33. Фирсов Ю. Г. К вопросу о нормативных документах для выполнения гидрографических работ / Ю. Г. Фирсов // Навигация и гидрография. — 2006. — № 23. — С. 97–107.
34. Фирсов Ю. Г. Пятая редакции Международного стандарта на гидрографические съемки S-44 Международной гидрографической организации / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 1 (51). — С. 39–44.
35. Фирсов Ю. Г. Обоснование требований к оценке точности площадной съемки в соответствии с пятой редакцией Стандарта S-44 МГО / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 2 (52). — С. 42–46.
36. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использование гидрографических сонаров / Ю. Г. Фирсов. — СПб.: Нестор-История, 2010. — 348 с.
37. Фирсов Ю. Г. Анализ методики использования глубоководного многолучевого эхолота EM 122 при выполнении батиметрической съемки в Северном Ледовитом океане / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 4 (62). — С. 60–66.
38. Фирсов Ю. Г. Контроль качества многолучевой батиметрической съемки в Северном Ледовитом океане на научно-экспедиционном судне «Академик Федоров» / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 1 (63). — С. 39–45.
39. Фирсов Ю. Г. Методика и контроль качества батиметрической съемки в высокоширотных зонах Арктики, значимых для определения внешней границы континентального шельфа России / Ю. Г. Фирсов, В. Д. Каминский, В. А. Поселов // VII Российская научно-техническая конференция «Навигация, гидрография и океанография: приоритеты развития и инновации морской деятельности», НГО-2011 // Труды Конференции. — СПб.: ГНИНГИ, 2011. — С. 325–330.
40. Фирсов Ю. Г. Основные требования к обеспечению качества современной батиметрической (топографической) съемки / Ю. Г. Фирсов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2014 — № 3 (25) — С. 171–179.
41. Shakhova N. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice / N. Shakhova, I. Semiletov, V. Sergienko, L. Lobkovsky, V. Yusupov, A. Salyuk, A. Salomatin,

D. Chernykh, D. Kosmach, G. Pantelev, D. Nicolsky, V. Samarkin, S. Joye, A. Charkin, O. Dudarev, A. Meluzov, O. Gustafsson // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. — 2015. — Vol. 373. — Is. 2052. — Pp. 20140451. DOI: 10.1098/rsta.2014.0451.

42. Chernykh D. Sonar estimation of methane bubble flux from thawing subsea permafrost: A case study from the laptev sea shelf / D. Chernykh, V. Yusupov, A. Salomatin, D. Kosmach, N. Shakhova, E. Gershelis, A. Konstantinov, A. Grinko, E. Chuvilin, O. Dudarev, A. Koshurnikov, I. Semiletoy // *Geosciences*. — 2020. — Vol. 10. — Is. 10. — Pp. 411. DOI: 10.3390/geosciences10100411.

43. Черных Д. В. Новый акустический метод количественной оценки пузырькового потока метана в системе донные отложения — водная толща и его реализация на примере моря Лаптевых, Северный Ледовитый океан / Д. В. Черных, В. И. Юсупов, А. С. Саломатин, Д. А. Космач, А. В. Константинов, В. И. Силионов, А. К. Мазуров, А. Н. Салюк [и др.] // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. — 2018. — Т. 329. — № 11. — С. 153–167. DOI: 10.18799/24131830/2018/11/218.

44. Фирсов Ю. Г. Новый этап батиметрических исследований северных акваторий России на примере Карского моря / Ю. Г. Фирсов, М. В. Иванов, Е. Н. Колосков // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2014. — № 6 (28). — С. 115–124.

45. Колосков Е. Н. Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа и донного газопроявления в северных морях России / Е. Н. Колосков, Ю. Г. Фирсов // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2015. — № 3 (31). — С. 54–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-54-62.

46. Кожухов И. В. Электронная инженерная гидрография и перспективы получения новых данных по морфологии и геоэкологии арктических морей / И. В. Кожухов, Е. Н. Колосков, Ю. Г. Фирсов // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2015. — № 4 (32). — С. 95–103. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-123-129.

47. Ананьев Р. А. Использование комплексных акустических методов для мониторинга процессов эмиссии газов на шельфе арктических морей / Р. А. Ананьев, Н. Н. Дмитриевский, А. Г. Росляков [и др.] // *Океанология*. — 2022. — Т. 62. — № 1. — С. 151–157. DOI: 10.31857/S0030157422010014.

48. Богоявленский В. И. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового Океана: Восточно-Сибирское море / В. И. Богоявленский, А. В. Кишанков, А. Г. Казанин, Г. А. Казанин // *Арктика: экология и экономика*. — 2022. — Т. 12. — № 2 (46). — С. 158–171. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-158-171.

49. Бондур В. Г. Выявление газовых сипов в акваториях арктических морей с использованием данных дистанционного зондирования / В. Г. Бондур, Т. В. Кузнецова // *Исследование земли из космоса*. — 2015. — № 4. — С. 30–43. DOI: 10.7868/S020596141504003X.

50. Мельников П. Н. Итоги геологоразведочных работ на арктическом шельфе России в 2014–2019 гг. и перспективы проведения работ на ближайшее время / П. Н. Мельников, М. Б. Скворцов, М. Н. Кравченко [и др.] // *Геология нефти и газа*. — 2019. — № 6. — С. 5–18. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-6-5-18.

51. Руководство для сквозного плавания судов по Северному морскому пути. — СПб.: Изд. ГУНИО МО РФ, 1995. — 415 с.

REFERENCES

1. Olerskii, V. “Kompleksnyi proekt razvitiya Severnogo morskogo puti.” *Transportnaya strategiya — XXI vek* 29 (2015): 8–9.

2. Afonin, Andrej B., and Aleksandr L. Tezikov. “The concept of development of shipping routes along the northern sea route.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.1 (2017): 81–87. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87.

3. Afonin, Andrey, Evgeniy Olkhovik, and Alexander Tezikov. “Conventional and Deep-Water Shipping Passages Along the Northern Sea Route.” *Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development, and Sustainability in the Arctic*. IGI Global, 2019. 314–337. DOI: 10.4018/978-1-5225-6954-1.ch015.

4. Ol'khovik, Evgeniy O. “Research of the density of transports flows on the Northern Sea Route in 2018 year.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.5 (2018): 975–982. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-975-982.

5. Vukovic, Natalya A., Zhanna A. Mingaleva, and Andrey V. Mekhrentsev. “Prospects of development of the transnational transport corridor of the northern sea route based on Sabetta sea port.” *R-Economy* 5.1 (2019): 19–24. DOI: 10.15826/recon.2019.5.1.003.

6. Tezikov, A. L., A. B. Afonin, and Ye. O. Olkhovik. “The state of hydrographic exploration of the Northern Sea Route water area.” *Transport of Russian Federation* 2(75) (2018): 19–21.

7. 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.
8. Andreeva, Ekaterina V., Kristina Y. Esaulova, and Aleksandr L. Tezikov. "Accounting the impact of hydrographic studies on the safety of navigation of large-tonnage vessels in the Northern Sea Route water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-856-866.
9. Afonin, Andrej B. "Improving the hydrographic survey efficiency in the Northern Sea Route water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 302–309. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-302-309.
10. Afonin, A.B., E. O. Ol'hovik, and A. L. Tezikov. "Development of the assessment methods of anadromous depths on the Northern sea route depending on the detail of survey of the bottom relief." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(38) (2016): 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.
11. Afonin, Andrej B., Ivan Yu. Korolev, and Aleksandr L. Tezikov. "Research of influence of the detail of hydrographic surveys on assessment of depths through passage." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.5 (2017): 1007–1016. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1007-1016.
12. Afonin, A.B. "Optimization of the bottom relief survey in the waters of the Northern Sea Route." *Navigation and Hydrography* 67 (2022): 37–45.
13. Ol'hovik, Evgeniy O., Andrej B. Afonin, and Aleksandr L. Tezikov. "A planning rationale for conducting the areal surveys of high-latitude routes." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 296–304. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-296-304.
14. Ol'khovik, E.O., E. V. Andreeva, and A. L. Tezikov. "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* 2 (2019): 26–36. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.
15. Tezikov, Aleksandr L., and Evgeniy O. Ol'khovik. "Studying the factors affecting the duration of navigation in the Northern Sea Route water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 734–744. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-734-744.
16. Isaulova, Kristina Ya. "Research of traffic routes of the large-tonnage vessels in the eastern sector of the Northern Sea Route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 726–733. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-726-733.
17. Isaulova, Kristina Ya. "Research of navigational and hydrographic characteristics of flaw polynyas of the eastern sector of the Northern Sea Route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.3 (2022): 394–402. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-394-402.
18. 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.
19. Gukov, A. Yu. "Velikaya sibirskaya polyn'ya, vek XXI." *Nauka i tekhnika v Yakutii* 1(16) (2009): 99–103.
20. *Katalog kart I knig. Severni Ledoviti Okean. UNiO MO. RF. Admiralteisky nomer 7107.* SPb.: UNiO, 2009.
21. *Katalog elektronnih navigazionnih kart. Urizdikzia Rossiskoi Federasii.* SPb.: UNiO MO RF.
22. *Pravila gidrograficheskoi sluzhby № 4. S'emka rel'efa dna. Chast' 2. Trebovaniya i metody.* Izd. Ministerstva Oborony SSSR. Glavnoe upravlenie navigatsii i okeanografii, 1984.
23. Yulin, A. V., M. V. Sharatunova, E. A. Pavlova, and V. V. Ivanov. "Seasonal and interannual changes of ice massifs in East Siberian sea." *Arctic and Antarctic Research* 64.3(117) (2018): 229–240. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-3-229-240.
24. 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.
25. Kholoptsev, Aleksandr V., and Sergey A. Podporin. "Analysis of ice situation changes on the Northern Sea Route in the late XX — early XXI century." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.1 (2020): 71–84. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-71-84.
26. Dumanskaya, I. O. *Ledovye usloviya morei aziatskoi chasti Rossii.* M.: Obninsk: IG-SOTsIN, 2017.
27. *Morya rossiiskoi Arktiki v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh.* SPb.: AANII, 2021.

28. Sokolova, Yu.V., O. S. Devyataev, E. V. Afanasyeva, and Yu. M. Titova. "Comparison of independent navigation of LNG carriers of type yamalmax and their transition with an icebreaker escort." *Russian Arctic* 11 (2020): 39–58. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12515.
29. Pang, Xiaoping, Chenlei Zhang, Qing Ji, Yizhuo Chen, Zeng Zhen, Yamin Zhu, and Zhongnan Yan. "Analysis of sea ice conditions and navigability in the Arctic Northeast Passage during the summer from 2002–2021." *Geo-spatial Information Science* (2022): 1–15. DOI: 10.1080/10095020.2022.2124128.
30. Platonova, E.V., and I. A. Bychkova. "Long-term observation of grounded hummocks in the Eastern Siberian sea on satellite data." *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* 53 (2018): 103–112.
31. Sozdan atlas opasnosti pribrezhno-shel'fovoi zony rossiiskoi Arktiki. Web. 1 Aug. 2023 <<https://rscf.ru/news/earth-sciences/atlas-opasnosti-pribrezhno-shelfovoy-zony/>>.
32. *IHO Standards for Hydrographic Surveys (6.1.0 Edition)*. S-44. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2020.
33. Firsov, Yu. G. "K voprosu o normativnykh dokumentakh dlya vypolneniya gidrograficheskikh rabot." *Navigation and Hydrography* 23 (2006): 97–107.
34. Firsov, Yu. G. "5th edition of the international standard for hydrographic mapping S-44 of the International Hydrographic Organization (based on the materials from foreign sources)." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1 (2008): 39–44.
35. Firsov, Yu. G. "Justification of the requirements to the evaluation of the accuracy of the areal mapping in accordance with the 5th edition of the S-44 standard of the International Hydrographic Organization." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(52) (2008): 42–46.
36. Firsov, Yu. G. *Osnovy gidroakustiki i ispol'zovanie gidrograficheskikh sonarov*. SPb.: Nestor-Istoriya, 2010.
37. Firsov, Yu. G. "The analysis of implementation of deepwater multi beam echo sounder EM 122 for conducting the bathymetric survey in the Arctic Ocean." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(62) (2010): 60–66.
38. Firsov, Yu. G. "Quality control of the multibeam swath bathymetric survey in the Arctic ocean on board research vessel "Academic Fedorov"." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1(63) (2011): 39–45.
39. Firsov, Yu. G., V. D. Kaminskii, and V. A. Poselov. "Metodika i kontrol' kachestva batimetricheskoi s"emki v vysokoshirotnykh zonakh Arktiki, znachimykh dlya opredeleniya vneshnei granitsy kontinental'nogo shel'fa Rossii." *VII Rossiiskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Navigatsiya, gidrografiya i okeanografiya: priority razvitiya i innovatsii morskoi deyatel'nosti», NGO-2011, Trudy Konferentsii*. SPb.: GNINGI, 2011. 325–330.
40. Firsov, Yu. G. "The main requirements for the bathymetric (topographic) surveying quality control." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(25) (2014): 171–179.
41. Shakhova, Natalia, Igor Semiletov, Valentin Sergienko, Leopold Lobkovsky, Vladimir Yusupov, Anatoly Salyuk, Alexander Salomatin, Denis Chernykh, Denis Kosmach, Gleb Panteleev, Dmitry Nicolsky, Vladimir Samarkin, Samantha Joye, Alexander Charkin, Oleg Dudarev, Alexander Meluzov, and Orjan Gustafsson. "The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 373.2052 (2015): 20140451. DOI: 10.1098/rsta.2014.0451.
42. Chernykh, Denis, Vladimir Yusupov, Aleksandr Salomatin, Denis Kosmach, Natalia Shakhova, Elena Gershelis, Anton Konstantinov, Andrey Grinko, Evgeny Chuvilin, Oleg Dudarev, Andrey Koshurnikov, and Igor Semiletov. "Sonar estimation of methane bubble flux from thawing subsea permafrost: A case study from the laptev sea shelf." *Geosciences* 10.10 (2020): 411. DOI: 10.3390/geosciences10100411.
43. Chernykh, D. V., V. I. Yusupov, A. S. Salomatin, D. A. Kosmach, A. V. Konstantinov, V. I. Silionov, A. K. Mazurov, A. N. Salyuk, N. E. Shakhova, O. Gustafsson, A. A. Kolyubakin, E. V. Gershelis, L. I. Lobkovsky, and I. P. Semiletov. "New acoustical technique to quantify methane ebullition in sediment water column: a case study in the laptev sea, the arctic ocean." *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering* 329.11 (2018): 153–167. DOI: 10.18799/24131830/2018/11/218.
44. Firsov, Yu. G., M. V. Ivanov, and E. N. Koloskov. "The new stage of the Russian northern basins bathymetric investigations — Kara sea example." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(28) (2014): 115–124.
45. Koloskov, E. N., and Yu. G. Firsov. "Implementation of the new hydrographic technologies for bottom topography and seafloor gas venting investigations in the russian northern seas." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(31) (2015): 54–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-54-62.

46. Kozhuhov, I. V., E. N. Koloskov, and Yu. G. Firsov. "Elektronnaya inzhenernaya gidrografiya i perspektivy polucheniya novykh dannykh po morfologii i geoekologii arkticheskikh morej." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(32) (2015): 95–103.

47. Ananiev, R. A., N. N. Dmitrevsky, A. G. Roslyakov, D. V. Chernykh, I. P. Semiletov, E. A. Moroz, and Y. A. Zarayskaya. "Acoustic monitoring of gas emission processes in the arctic shelf seas." *Oceanology* 62.1 (2022): 127–132. DOI: 10.1134/S0001437022010015.

48. Bogoyavlensky, Vasily Igorevich, Aleksei Vladimirovich Kishankov, Aleksey Gennadyevich Kazanin, and Gennady Alekseyevich Kazanin. "Dangerous gas-saturated objects in the world ocean: the east siberian sea." *Arctic: ecology and economy* 12.2(46) (2022): 158–171. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-158-171.

49. Bondur, V. G., and T. V. Kusnetsova. "Detecting Gas Seeps in Arctic Sea Water Areas Using Remote Sensing Data." *Izvestiya — Atmospheric and Oceanic Physics* 4 (2015): 30–43 DOI: 10.7868/S020596141504003X.

50. Mel'nikov, P. N., M. B. Skvortsov, M. N. Kravchenko, I. G. Agadzhanyants, O. V. Grushevskaya, and I. V. Uvarova. "The results of geological exploration on the russian arctic shelf in 2014–2019 and prospects for future development." *Russian Oil And Gas Geology* 6 (2019): 5–18. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-6-5-18.

51. *Rukovodstvo dlya skvoznogo plavaniya sudov po Severnomu morskому puti*. SPb.: Izd. GUNIO MO RF, 1995.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фирсов Юрий Георгиевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: gidrograph@mail.ru, kaf_gm@gumrf.ru
Позенкова Дарья Андреевна —
инженер
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: dariapozenkova@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Firsov, Yury G. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: gidrograph@mail.ru, kaf_gm@gumrf.ru
Pozenkova, Daria A. —
engineer
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: dariapozenkova@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23 августа 2023 г.
Received: August 23, 2023.