<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-3-236-248>
УДК 551.467

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПЛАВАНИЯ СУДОВ ЛЕДОВОГО КЛАССА ARC7 В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Т.А. АЛЕКСЕЕВА^{*1,2}, С.В. ФРОЛОВ¹, В.Е. ФЕДЯКОВ¹, Е.И. МАКАРОВ¹, Е.У. МИРОНОВ¹,
Ю.В. СОКОЛОВА^{1,2}

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия

² — Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

^{*}taa@aari.ru

Резюме

Начиная с 2006 г. на трассе Северного морского пути работают суда нового поколения усиленного ледового класса Arc7. Для безопасного и эффективного плавания в морских льдах судов данного типа необходимо детальное изучение ледовых условий. Накопление и анализ данных о ледовых и гидрометеорологических условиях по всей Арктике в сопоставлении с ледовыми условиями на пути плавания судов является неотъемлемой частью разработки оптимальных вариантов и оптимальных маршрутов ледового плавания. Задачей исследования являлось обобщение ледовых условий плавания судов типа «Норильский никель» по оптимальным вариантам плавания в юго-западной части Карского моря. Для этого по информации из диспетчерских сообщений о плавании судов типа «Норильский никель» за период 2006–2014 гг. была рассчитана вероятность выбора оптимального пути плавания по маршруту Мурманск — Дудинка: через пролив Карские Ворота (мористым, центральным или прибрежным маршрутом) или к северу от мыса Желания. Описаны особенности ледового режима, обуславливающие выбор того или иного пути плавания. Рассчитаны скорости движения судов типа «Норильский никель» по различным маршрутам плавания в дрейфующих льдах юго-западной части Карского моря.

Ключевые слова: арктическое судоходство, гидрометеорологическое обеспечение, ледовые условия плавания, оптимальный маршрут.

Для цитирования: Алексеева Т.А., Фролов С.В., Федяков В.Е., Макаров Е.И., Мионов Е.У., Соколова Ю.В. Анализ ледовых условий круглогодичного плавания судов ледового класса Arc7 в юго-западной части Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2021. Т. 67. № 3. С. 236–248. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-3-236-248>.

Поступила 25.07.2021

После переработки 03.09.2021

Принята 15.09.2021

ANALYSIS OF ICE CONDITIONS OF YEAR-ROUND NAVIGATION OF ARC7 VESSELS IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE KARA SEA

TATIANA A. ALEKSEEVA^{*1,2}, SERGEI V. FROLOV¹, VALERY YE. FEDYAKOV¹,
EVGENY I. MAKAROV¹, EVGENY U. MIRONOV¹, YULIA V. SOKOLOVA^{1,2}

¹ — State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

² — Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*taa@aari.ru

Summary

Since 2006, a new generation of reinforced ice class Arc7 vessels has been operating on the Northern Sea Route. Safe and efficient sailing of this type of vessels in sea ice demands a detailed study of ice conditions. Accumulation and analysis of data on ice and hydrometeorological conditions for the entire Arctic in comparison with ice conditions along the route of vessels is an essential part of the development of optimal variants and optimal routes for ice navigation.

The main aim of the study was to generalize the conditions of ice navigation of Norilskiy Nickel vessels along the optimal navigational routes in the south-western part of the Kara Sea. Based on the reports on sailing obtained from vessels of the “Norilskiy Nickel” type for the 2006–2014 period, we calculated the probability of choosing the optimal route along the Murmansk – Dudinka passage: through the Kara Gate Strait (seaward, central or coastal route) or the north of Cape Zhelaniya. During the year, vessels move predominantly through the Kara Gate. However, for three month per year, from April to June, the most appropriate route lies to the north of the Zhelaniya Cape. In April – May it is, on average, every second navigation, and in June – more than 80 % of all navigation. The features of the ice regime determining the choice of the specific navigation route, are described. The speeds of vessels of the “Norilskiy Nickel” type along various navigation routes in drifting sea ice of the Kara Sea are calculated. The fastest speed in drifting ice was recorded in the winter navigations of 2007–2008 and 2011–2012, in the January-May of these years the average speed was 10.2 and 11.2, correspondingly. The minimum speed in these years, even during the months of maximum ice cover growth, was not less than 4.8 knots. In other years, the average speeds were in the range of 9.2–9.8 knots. During the whole period of study, ice conditions that were extremely difficult for navigation formed three times: at the end of May 2009, at the end of March 2010 and in the middle of March 2011, these are considered in more detail in the present article.

Keywords: Arctic shipping, conditions of ice navigation, hydrometeorological support, optimal route of navigation.

For Citation: Alekseeva T.A., Frolov S.V., Fedyaikov V.Ye., Makarov E.I., Mironov E.U., Sokolova Yu.V. Analysis of ice conditions of year-round navigation of Arc7 vessels in the southwestern part of the Kara Sea *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2021, 67 (3): 236–248. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-3-236-248>.

Received 25.07.2021

Revised 03.09.2021

Accepted 15.09.2021

ВВЕДЕНИЕ

В 2006 г. в Арктике начали работать суда нового поколения усиленного ледового класса Arc7. Эти суда имеют движительный комплекс Azipod®. Суда этого типа — double acting ships (суда двойного действия) предназначены для самостоятельного (безледокольного) плавания в условиях Арктики.

Активное безледокольное плавание судов усиленного ледового класса Arc7 в зимний период выявило новые требования к информационному гидрометеоро-

логическому и ледовому обеспечению (ГМО) арктического судоходства. Одно из основных требований к ГМО — прогноз ледовых условий непосредственно на пути движения судна, который реализуется в рекомендациях по оптимальному варианту и оптимальному маршруту плавания. Оптимальный вариант плавания (ОВП) предсказывается с большей заблаговременностью (до 30 суток), чем оптимальный маршрут ледового плавания (ОМП) — заблаговременность до 5 суток.

Разработка таких прогнозов является важной частью специализированного гидрометеорологического и ледового обеспечения (СГМО). Специализированные прогнозы предназначены для определенных морских операций или конкретных судов. Они используются как в планировании морских операций, так и для их оперативного регулирования.

Разработка ОВП и ОМП основывается на специализированных базах данных (СБД). В таких СБД проводится накопление, хранение и обработка данных о ледовых и гидрометеорологических условиях по всей Арктике в сопоставлении с ледовыми условиями на пути плавания судов. Диспетчерские донесения с судов являются одним из источников таких данных в СБД.

В марте 2006 г. на трассу Северного морского пути (СМП) вышло первое транспортное судно нового поколения — дизель-электроход (д/э) «Норильский никель», открыв принципиально новую страницу в арктическом судоходстве. Д/э «Норильский никель» построен судостроительной компанией Aker Finnyards Inc. на верфи в Хельсинки, сдан в эксплуатацию 28 февраля 2006 г. Судно построено в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства (РС) и имеет категорию ледовых подкреплений Arc7. Основной особенностью судна является то, что оно построено по концепции DAS (Double Acting Ship). Суть этой концепции заключается в том, что при плавании по чистой воде и в легких ледовых условиях судно движется носом вперед, как судно традиционной конструкции, а при плавании в тяжелых ледовых условиях может двигаться кормой вперед. Такую возможность изменения варианта движения предоставляет использование движительной установки типа Azipod. У каждого классификационного сообщества, присваивающего технический класс судам, существует своя система классификации, и сопоставление этих классов весьма приблизительное. Поэтому приведем требования РС для судов класса Arc7: самостоятельное плавание в сплоченных однолетних арктических льдах толщиной до 1,4 м в зимне-весеннюю навигацию и толщиной до 1,7 м в летне-осеннюю навигацию при эпизодическом преодолении ледяных перемычек набегам, плавание в канале за ледоколом в однолетних арктических льдах толщиной до 2,0 м в зимне-весеннюю и до 3,2 м в летне-осеннюю навигацию (<https://rs-class.org/>). По правилам Администрации Северного морского пути (АСМП, <http://nsra.ru/>), государственного учреждения, созданного в 2013 г. для осуществления организации плавания судов в акватории СМП, плавание судов класса Arc7 разрешено круглогодично в юго-западной части Карского моря при любых ледовых условиях (легких, средних, тяжелых) без сопровождения ледокола.

Ледопроходимость (под которой понимается предельная толщина сплошного ровного льда, которую может преодолеть судно, двигаясь с минимально устойчивой скоростью (приблизительно 1,5–3 узла) при работе главной энергетической установки на полную мощность [1]) судов такого типа сопоставима с ледопроходимостью мощных линейных ледоколов, при этом мощность их судовой энергетической установки в разы меньше мощности энергетической установки подобных ледоколов. Например,

ледопроходимость танкера «Енисей», оборудованного кормовым движительным комплексом типа Azipod мощностью 13 МВт и подруливающим устройством в носовой части судна, — кормой вперед — 1,5 м при скорости около 2 узлов, носом вперед — 1,5 м при скорости около 1 узла [2]. Ледопроходимость атомного ледокола типа «Таймыр» составляет 1,7 м (мощность на валах 32,5 МВт) (<http://www.rosatomflot.ru/flot/universalnyy-atomnyy-ledokol-proekta-22220/>). Этот факт делает суда типа Arc7 наиболее перспективными для транспортировки грузов в данном регионе Арктики.

В Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) к 2006 г. была разработана и успешно используется система СГМО. На борт работающих в Арктике судов ледового класса Arc7 поступает фактическая и прогностическая информация о ледовых и гидрометеорологических условиях плавания, а также рекомендуемый маршрут плавания, а в ААНИИ ежедневно поступают диспетчерские сообщения, содержащие данные о движении судов, гидрометеорологических и ледовых условиях плавания. Информация о системе СГМО ААНИИ представлена в публикациях [3–6].

В 70–80-х гг. XX в. научными сотрудниками ААНИИ был проведен анализ ледовых условий плавания современных на тот период судов [7–8]. Для планирования того, суда каких типов и в каком количестве целесообразно использовать для транспортировки грузов в Арктике, весьма полезным является анализ фактической информации, поступающей с борта уже действующих судов. На основе диспетчерских сообщений с судов типа «Норильский никель», впервые после исследования, проведенного в 1980-х гг., были проанализированы маршруты плавания и скорости движения в дрейфующих льдах юго-западной части Карского моря за период 2006–2014 гг.

Задачей исследования являлось обобщение ледовых условий плавания судов типа «Норильский никель» по оптимальным вариантам плавания в юго-западной части Карского моря. Результаты, приведенные в данной статье, являются первым шагом в направлении классификации ледовых условий плавания в юго-западной части Карского моря для современных судов.

ДАННЫЕ

Начиная с 2006 г. с борта д/э «Норильский никель» в ААНИИ дважды в сутки поступают регулярные диспетчерские сообщения, содержащие в себе следующую информацию на 12 и 24 часа (МСК): координаты положения судна, время, ледовые и гидрометеорологические условия. В 2008–2009 гг. было выведено на трассу еще четыре судна: д/э «Мончегорск», «Заполярный», «Талнах» и «Надежда», а в 2011 г. — д/э «Енисей» (танкер). Таким образом, в настоящее время на трассе СМП эксплуатируется 6 судов указанного типа. На основе диспетчерских сообщений, доступных к анализу, за период с 2006 по 2014 г. рассчитаны повторяемость положения оптимальных вариантов плавания и скорости движения судов в дрейфующих льдах юго-западной части Карского моря (рис. 1). Для расчета распределения скоростей движения использовались данные за 12-часовые интервалы при следовании судна в дрейфующих льдах (скорости движения в канале припая Енисейского залива не учитывались).

Для анализа ледовых условий по пути плавания, наряду с информацией из диспетчерских сообщений, использовались снимки ИСЗ NOAA (AVHRR), находящиеся в свободном доступе на сайте <http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>, снимки Terra (MODIS) (<https://earthdata.nasa.gov/>) и ледовые карты из архива Центра ледовой и гидрометеорологической информации ААНИИ (еженедельные обзорные карты представлены на сайте <http://aari.ru>).

Рис. 1. Варианты плавания в юго-западной части Карского моря (1 — прибрежный, 2 — центральный, 3 — мористый, 4 — через мыс Желания)

Fig. 1. Standard routes of navigation in the south-western part of the Kara Sea (1 — coastal, 2 — central, 3 — seaward, 4 — to the north of the Zhelaniya Cape)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Многолетний опыт плавания в арктических морях определил основные варианты маршрутов плавания с благоприятными для судоходства ледовыми условиями. Эти маршруты являются рекомендованными (стандартными) трассами (рис. 1), их расположение зависит от сезона, района, типа судов, но решающим фактором являются ледовые условия [7].

Положение оптимального варианта плавания судов в юго-западной части Карского моря

Общий принцип выбора оптимального пути предусматривает, что движение судна во льдах осуществляется по кратчайшему пути через зоны, в которых:

- преобладающая ориентация нарушений сплошности ледяного покрова (разрывы, трещины, каналы) примерно совпадает с генеральным курсом движения судна;
- предлагаемый маршрут плавания должен удовлетворять навигационным ограничениям (глубины, районы, закрытые для мореплавания, и т. п.);
- общая сплоченность льда минимальна;
- количество молодых видов льда (в осенне-зимний) и разрушенность льда (в весенне-летний период) максимальны;
- отмечается минимальная торосистость и повышенная раздробленность льда.

При выборе оптимального маршрута плавания учитываются метеорологические условия (в основном видимость и ветер), а также явления в ледяном покрове, оказывающие существенное влияние на эффективность плавания (сжатия, обледенение корпуса и т. д.).

Вероятность использования различных вариантов плавания по маршруту Мурманск (Архангельск) — Дудинка приведена на рис. 2а. Три месяца в году с апреля по

Рис. 2. Вероятность (P) использования различных вариантов плавания в Карском море судами типа «Норильский никель» в период 2006–2014 гг. по маршрутам Мурманск (Архангельск) — Дудинка: *a* — вероятность выбора пути через м. Желания, пр. Карские Ворота или пр. Югорский Шар, *б* — вероятность выбора прибрежного, центрального или мористого варианта плавания в юго-западной части Карского моря в случае прохода судна через пр. Карские Ворота или Югорский Шар

Fig. 2. Frequency (P) of using the various navigational routes in the south-western part of the Kara Sea by vessels of the “Norilskiy Nikel” type during the period 2006–2014 along the navigational routes “Murmansk (Arkhangelsk) – Dudinka”. *a* — the frequency of selecting the route from the Barents Sea to the Kara Sea – through the Zhelaniya Cape, Kara Gate Strait or Yugorsky Shar Strait. *б* — the frequency of selecting coastal, central or seaward route in the south-western part of the Kara Sea when the vessel moves through the Kara Gate or Yugorsky Shar Straits.

июнь наиболее часто выбирается маршрут через мыс Желания. В апреле–мае — это в среднем каждый второй рейс, а в июне — более 80 %. В апреле происходит разделение Новоземельского и Североземельского ледяных массивов, вследствие чего появляется зона льдов пониженной сплоченности и повышенной раздробленности, пролегающая от мыса Желания до о. Диксон. В июне–июле в этой зоне лед уже вытаивает, а Новоземельский массив остается у берегов Новой Земли.

В случае плавания через проливы Карские Ворота или Югорский Шар во льдах юго-западной части Карского моря существует три оптимальных варианта плавания: прибрежный, центральный и мористый (рис. 3–5). Повторяемость положения этих трех оптимальных вариантов плавания приведена на рис. 2б.

Повторяемость широтных направлений зимнего дрейфа в юго-западной части Карского моря имеет большие различия: повторяемость дрейфа восточной четверти составляет 40–60 %, а западной четверти — примерно 10 %. Это означает более частое и устойчивое образование заприпайных зон тонких льдов вдоль Ямала и редкое их появление вдоль Новой Земли. При смещении льдов в сторону Новой Земли образуется Ямальская полынья. При смещении дрейфующих льдов в сторону п-ова Ямал вдоль ямальского припая возникают значительные сжатия льдов и образуются ледяные нагромождения [9]. В юго-западной части Карского моря в зимне-весенний период формируются две стационарные полыньи — Амдерминская и Обь-Енисейская, а также три устойчивые — Северная Новоземельская, Южная Новоземельская и Ямальская [10]. Режим формирования заприпайных полыней и зон сжатий в юго-западной части Карского моря играет определяющую роль в выборе оптимального пути плавания.

Рис. 3. Снимок ИСЗ NOAA (AVHRR) от 22 марта 2011 г. и пример маршрута плавания (мористого)
 Fig. 3. Satellite image NOAA (AVHRR) obtained on 22 March 2011 and example of seaward route

Рис. 4. Снимок ИСЗ Terra (MODIS) от 24 марта 2008 г. и пример маршрута плавания (прибрежного)
 Fig. 4. Terra (MODIS) obtained on 24 March 2008 and example of coastal route

Рис. 5. Снимок ИСЗ NOAA (AVHRR) от 03 января 2012 г. и пример маршрута плавания (центрального)
 Fig. 5. NOAA (AVHRR) obtained on 03 January 2012 and example of central route

Наиболее редко выбирается мористый путь плавания вдоль восточных берегов Новой Земли, в случае наличия Южной и Северной Новоземельских полыней. В период максимального развития ледяного покрова в юго-западной части Карского моря с февраля по май в более чем половине случаев выбирается прибрежный путь плавания. Данный выбор обусловлен наличием Амдерминской и Ямальской полыней, а также наличием и ориентацией разрывов в ледяном покрове между югорским и ямальским побережьями. С июня по январь, когда юго-западная часть Карского моря либо свободна ото льда, либо покрыта начальными видами льдов, в подавляющем большинстве случаев суда идут по кратчайшему центральному пути.

На основе диспетчерских сообщений, поступающих с борта судов типа «Норильский никель», были рассчитаны средние скорости движения судов в дрейфующих льдах юго-западной части Карского моря за период 2006–2014 гг. При расчете скоростей движения судов были исключены задержки, связанные с производством грузовых операций и с техническими остановками.

Средние скорости движения судов типа «Норильский никель» были определены отдельно для периода начала образования ледяного покрова в ноябре–декабре и для периода дальнейшего развития ледяного покрова в январе–мае. Наиболее высокие средние скорости движения в дрейфующих льдах наблюдались в зимние навигации 2007/08 и 2011/12 гг., в январе–мае они составляли 10,2 и 11,2 узла соответственно. В эти же годы минимальные скорости движения, даже в период максимального развития ледяного покрова, были не менее 4,8 узлов. В остальные годы средние скорости движения судов были в пределах 9,2–9,8 узлов. За весь исследуемый период лишь в третьей декаде мая 2009 г., третьей декаде марта 2010 г. и второй декаде марта 2011 г.

Таблица

Средние, минимальные и максимальные скорости движения судов типа «Норильский никель» в дрейфующих льдах за 12-часовые интервалы

Table

Average, minimum and maximum speed of the vessels of the Norilskiy Nikel type moving in drifting ice in the south-western part of the Kara Sea in 12-hour intervals

Год	Число ДПР, используемых для расчетов скорости		Скорость, узлы					
	Ноябрь– декабрь	Январь– май	Минимальная		Максимальная		Средняя	
			Ноябрь– декабрь	Январь– май	Ноябрь– декабрь	Январь– май	Ноябрь– декабрь	Январь– май
2006–2007	68	183	6,3	2,0	13,9	14,9	10,7	9,5
2007–2008	10	38	9,7	5,5	12,8	13,3	11,2	10,2
2008–2009	33	288	8,3	1,5	13,1	18,9	10,7	9,3
2009–2010	54	254	7,4	0,2	13,2	16,4	11	9,8
2010–2011	72	276	6,6	1,6	14,0	14,6	10,5	9,5
2011–2012	44	229	8,7	4,8	14,4	16,4	11,5	11,2
2012–2013	51	363	7,6	0,6	15,0	14,8	10,6	9,7
2013–2014	61	327	6,9	3,3	13,1	15,3	10,7	9,2

Рис. 6. Ледовая карта ААНИИ юго-западной части Карского моря 18–20 мая 2009 г. и наложенные на нее маршруты плавания д/з «Надежда» (маршрут 1) и д/з «Талнах» (маршрут 2). Белым прямоугольником выделен участок маршрута д/з «Надежда», на котором зафиксировано снижение скорости до 0,2 узла

Fig. 6. The AARI's sea ice chart of the south-western part of the Kara Sea on 18–20 May 2009 and routes of navigation of the vessels Nadezhda (route 1) and Talnakh (route 2) in the extremely severe ice conditions. The white rectangle denotes part of the navigational route of Nadezhda, where the speed dropped to 0.2 knots

сформировались наиболее тяжелые для данного региона ледовые условия плавания. Наиболее легкий маршрут плавания, рекомендуемый специалистами ААНИИ на основе анализа ледовой и гидрометеорологической информации, в этих рейсах проходил через пролив Карские Ворота.

Во всех случаях максимальных затрат времени и наименьших скоростей движения в дрейфующих льдах суда двигались в зонах высокой торосистости (до 4 баллов) и сильных сжатий (2–3 балла), вследствие чего скорость судов на протяжении 1–3 суток (в зависимости от времени действия сжатий) падала до 0–3 узлов. Ледовая карта на момент одной из таких ситуаций показана на рис. 6.

На рис. 7 приведено распределение скоростей движения судов в период становления ледяного покрова в ноябре–декабре и в период максимального развития

Рис. 7. Распределение скорости движения судов типа «Норильский никель» в дрейфующих льдах юго-западной части Карского моря в ноябре–декабре 2010 г. и марте 2011 г.

Fig. 7. Distribution of the “Noril'skiy Nikel” vessels speed in drifting ice in the south-western part of the Kara Sea in November–December 2010 and March 2011

ледяного покрова в марте в зимнюю навигацию 2010/11 г. (одна из навигаций со средним значением среднегодовых скоростей движения во льдах, см. табл.). Для «легких» условий плавания в ноябре–декабре характерно одномодальное распределение скоростей движения с максимумом в диапазоне 10–12 узлов (относительная протяженность 48,6 %), для максимального развития ледяного покрова в марте — относительно равномерное распределение скоростей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты анализа вариантов плавания в юго-западной части Карского моря и скорости движения судов ледового класса Arc7 в зависимости от ледовых условий плавания. Представлена вероятность использования различных вариантов плавания в юго-западной части Карского моря во время круглогодичной навигации за период 2006–2014 гг. Подобное исследование выполнялось в 1980-х гг. на основе данных за 1979–1985 гг. [8]. В период 1979–1985 гг. в преобладающем большинстве случаев (90,2 %) оптимальный маршрут плавания проходил через Новоземельские проливы. В период 2006–2014 гг. оптимальный маршрут плавания в 84,2 % случаев проходил через Новоземельские проливы, а в 15,7 % случаях

к северу от мыса Желания. В случае прохода судна через Новоземельские проливы, как в период 1979–1985, так и в 2006–2014 гг., в ноябре–декабре наиболее часто плавание судов происходило по кратчайшему центральному пути. По мере формирования массива однолетних льдов и заприпайных полыней трасса смещалась в зону Ямальской заприпайной полыни. Мористый путь вдоль восточных Новоземельских островов выбирался достаточно редко, так как при выходе из Новоземельских полыней дальнейший курс движения судна часто не совпадает с преобладающей ориентацией разрывов ледяного покрова. В 2006–2014 гг. центральный путь выбирался в 58,8 % случаев, прибрежный — в 38,9 % случаев и мористый — в 2,3 % случаев.

Основным направлением развития специализированной информации в Арктике является автоматизация рутинных процессов обработки данных [11], получения экспертных оценок, формирования базы знаний. Комплексная информация о среде судоходства — специализированная информация — в настоящее время получила мощный стимул в своем развитии, связанный с перспективными планами судоходства по СМП. Информация, получаемая из диспетчерских сообщений, регулярно поступающих с судов, совместно с обработкой ледовых карт ААНИИ, спутниковых снимков высокого разрешения и другой гидрометеорологической информации используется для круглогодичного мониторинга так называемой «среды судоходства» [12].

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИТР НИУ Росгидромета на 2021–2024 гг. по теме 5.1.2. Развитие существующих и разработка новых методов и технологий долгосрочного (месячного и сезонного) прогнозирования элементов ледово-гидрологического режима арктических морей, низовьев и устьевых областей рек в условиях климатических изменений (Т.А. Алексеева, В.Е. Федяков, Е.И. Макаров, Е.У. Миронов). Работа со спутниковыми данными выполнялась в рамках темы «Мониторинг» гос. регистрация № 01.20.0.2.00164 (Т.А. Алексеева, Ю.В. Соколова).

Благодарности. ГМК «Норильский никель», экипажам судов, регулярно отправляющих оперативную информацию о ледовых условиях в ААНИИ.

Competing interests. The authors have no competing interests.

Funding. The work was carried out within the framework Roshydromet topic 5.1.2. for 2021–2024. Development of existing and new methods and technologies for long-term (monthly and seasonal) forecasting of the elements of the ice-hydrological regime of the Arctic seas, lower reaches and estuarine areas of rivers in conditions of climatic changes (T.A. Alekseeva, V.E. Fedyakov, E.I. Makarov, E.U. Mironov). The work with satellite data was carried out within the framework of the topic “Monitoring”, state registration No. 01.20.0.2.00164 (T.A. Alekseeva, Yu.V. Sokolova).

Acknowledgments. The authors are grateful to the MMC “MKF Norilsk Nickel”, the crews of the vessels that regularly send updated information about ice conditions to the AARI.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупина Н.А., Лихоманов В.А., Чернов А.В. Оценка ледовой ходкости НЭС «Академик Трешников» // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 3 (97). С. 57–64.
2. Платонов В.В., Тряскин В.Н. Архитектурно-конструктивные особенности арктических судов двойного действия // Арктика: экология и экономика. 2019. № 3 (35). С. 84–96. doi: 10.25283/2223-4594-2019-3-84-96

3. Фролов С.В. Основные принципы организации и современные технологии специализированного гидрометеорологического обеспечения судоходства в замерзающих морях // Северный морской путь: состояние, проблемы, перспективы. СПб.: РГО, СЗНИИ наследия, 2007. С. 142–155.
4. Миронов Е.У., Бресткин С.В., Смирнов В.Г. Адаптируемый комплекс мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы для обеспечения судоходства в замерзающих морях // Морская биржа. 2007. № 1 (19). С. 56–58.
5. Бресткин С.В., Миронов Е.У., Смирнов В.Г., Юлин А.В. Опыт ледового обеспечения морских операций в арктических и замерзающих морях России с использованием терминала конечного пользователя // Тезисы докладов 9-й межд. конференции «Российское судостроение и судоходство, деятельность портов, освоение океана и шельфа», 25–26 сентября 2007, Санкт-Петербург. СПб., 2007. С. 101–102.
6. Миронов Е.У., Клячкин С.В., Смоляницкий В.М., Юлин А.В., Фролов С.В. Современное состояние и перспективы исследований ледяного покрова морей российской Арктики // Российская Арктика. 2020. № 10. С. 13–29.
7. Бузуев А.Я. Влияние природных условий на судоходство в замерзающих морях. Л.: Гидрометеониздат, 1981. 200 с.
8. Адамович Н.М. Ледовые условия западного района Советской Арктики в холодный период года и учет их влияния на судоходство: Автореф. дис ... канд. геогр. наук. Л.: ААНИИ, 1987. 19 с.
9. Изменчивость природных условий в шельфовой зоне Баренцева и Карского морей / Под ред. А.И. Данилова, Е.У. Миронова, В.А. Спичкина. СПб.: ААНИИ, 2004. 431 с.
10. Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные полыньи Арктических морей Сибирского шельфа в конце XX — начале XXI века. СПб.: ААНИИ, 2012. 180 с.
11. May R.I., Fedyakov V.E., Frolov S.V., Tarovik O.V., Alex G.T. Method for finding the optimal ship route in ice based on Vector Geo-algorithms // Int. J. Offshore Polar Eng. 2020. V. 30. P. 78–85. doi: <https://doi.org/10.17736/ijope.2020.jc785>
12. Федяков В.Е., Фролов С.В. Новые алгоритмы учета влияния ледяных образований на надежность движения судов во льдах // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 3 (97). С. 28–35.

REFERENCES

1. Krupina N.A., Likhomanov V.A., Chernov A.V. Estimation of ice capability of research vessel “Akademik Tryoshnikov”. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2013, 97 (3): 57–64. [In Russian].
2. Platonov V.V., Tryaskin V.N. Architectural and structural features of Arctic double-acting vessels. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. Arctic: Ecology and Economy. 2019, 3 (35): 84–96. doi: 10.25283/2223-4594-2019-3-84-96. [In Russian].
3. Frolov S.V. Basic principles of organization and modern technology of hydrometeorological support of navigation in the freezing seas. *Severnyi morskoi put': sostoianie, problemy, perspektivy*. The Northern Sea Route: state, problems, prospects. St. Petersburg: RGO, SZNI naslediia, 2007: 142–155. [In Russian].
4. Mironov E.U., Brestkin S.V., Smirnov V.G. Adaptive complex for monitoring and forecasting the state of the atmosphere and hydrosphere for support of navigation in the freezing seas. *Morskaya birzha*. Maritime market. 2007, 1 (19): 56–58. [In Russian].
5. Brestkin S.V., Mironov E.U., Smirnov V.G., Iulin A.V. Experience of ice support for offshore operations in the Arctic and freezing seas of Russia using an end-user terminal. *Tezisy dokladov 9-i mezhd. konferentsii «Rossiiskoe sudostroenie i sudokhodstvo, deiatel'nost' portov, osvoenie okeana i shel'fa»*. Proc. 9th Int. Conf. “Russian shipbuilding and shipping, port activities, ocean and shelf development”. St. Petersburg, 2007: 101–102. [In Russian].

6. Mironov Ye.U., Klyachkin S.V., Smolyanitsky V.M., Yulin A.V., Frolov S.V. Current state and perspectives of ice cover studies in the Russian Arctic seas. *Rossiyskaya Arktika*. Russian Arctic. 2020, 10: 13–29. [In Russian].
7. Buzuev A.Ia. *Vliianie prirodnnykh uslovii na sudokhodstvo v zamerzaiushchikh moriakkh*. Influence of environmental conditions on shipping in the freezing seas. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981: 200 p. [In Russian].
8. Adamovich N.M. *Ledovye usloviia zapadnogo raiona Sovetskoi Arktiki v kholodnyi period goda i uchet ikh vliianiia na sudokhodstvo*. Avtoref... kand. geogr. nauk. Ice conditions of the western part of the Soviet Arctic during the cold season and taking into account their impact on shipping. Aurhor's abstract of dissertation for the degree of PhD in Geography. Leningrad: AARI, 1987. 19 p. [In Russian].
9. *Izmenchivost' prirodnnykh uslovii v shel'fovoi zone Barentseva i Karskogo morei*. Variability of environmental conditions in the shelf zone of the Barents and Kara seas. St. Petersburg: AARI, 2004: 431 p. [In Russian].
10. Karelin I.D., Karklin V.P. *Pripai i zapripainye polyn'i Arkticheskikh morei Sibirskogo shel'fa v kontse XX — nachale XXI veka*. Fast ice and flaw leads of the Arctic seas of the Siberian Shelf at the end of XX — beginning of XXI century. St. Petersburg: AARI, 2012: 180 p. [In Russian].
11. May R.I., Fedyakov V.E., Frolov S.V., Tarovik O.V., Alex G.T. Method for finding the optimal ship route in ice based on Vector Geo-algorithms. *Int. J. Offshore Polar Eng.* 2020, 30: 78–85. doi: <https://doi.org/10.17736/ijope.2020.jc785>
12. Fedyakov V.Ye., Frolov S.V. The new algorithms of taking into account the affect of ice features upon ice navigation reliability. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2013, 3 (97): 28–34. [In Russian].