

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1211-1224

ICE CONDITION FEATURES OF HYDROGRAPHIC VESSELS FOR WORK IN KARA SEA

R. V. Ivanov¹, D. A. Polubelov¹, A. A. Soboleva²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — LLC Tunnel technology

The features of the formation and evolution of the ice conditions of the Kara Sea are considered to determine the most favorable period of operation of hydrographic vessels. It is noted that the main type of nautical charts in the Kara Sea are travel maps of 1: 150 000 scale. The focus is on the navigational characteristics of ice, which have a significant impact on the polar shipping. The characteristic of the time component of the processes of ice formation in the Kara Sea from 1996 to 2010 is given. The average repeatability and size of the fast ice glades of the Kara Sea for the period from October to June in the period from 1980–2008 are analyzed. An analysis of the timing of the purification of the water area at the polar stations of the southwestern part of the Kara Sea is provided. The conditions of ice navigation in spring and autumn are given. The nature of navigation in the Arctic waters is considered during the formation of three types of ice conditions: light, medium and heavy. An analytical review and synthesis of data on the percentage of light, medium and heavy ice conditions over 50 years, in the period from 1967 – 2017, is given for July, August and September. Examples of calculating ice figures for vessels of class Arc5 for different ice conditions are considered. An assessment is made of the possibility of operation of ice class vessels in conditions of year-round navigation. A comparative analysis of the compliance of the requirements of the Russian system for assessing the possibility of navigation of ships of various classes in the ice with the Canadian one was made. The safe navigation speed of Arc5 class hydrographic vessels is estimated from June to January and from February to May. The necessity of further hydrographic exploration is substantiated.

Keywords: ice cover, landfast, ice conditions, ice criterion, ice multiplier, ice class, hydrographic knowledge, ice figure, arctic shelf, safe speed.

For citation:

Ivanov, Roman V., Denis A. Polubelov, and Anastasiya A. Soboleva. "Ice condition features of hydrographic vessels for work in Kara sea." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1211–1224. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1211-1224.

УДК 551.506

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ СУДОВ В КАРСКОМ МОРЕ

Р. В. Иванов¹, Д. А. Полубелов¹, А. А. Соболева²

¹ — ФГБОУ «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ООО «Тоннельтехнология»

Рассмотрены особенности формирования и развития ледовых условий Карского моря на предмет определения наиболее благоприятного периода работы гидрографических судов. Отмечается, что основным видом навигационных морских карт в Карском море являются путевые карты масштабов 1:150 000. Основное внимание уделено навигационным характеристикам льда, оказывающим существенное влияние на полярное судоходство. Дана характеристика временной составляющей процессов ледообразования Карского моря в период 1996–2010 гг. Проанализирована средняя повторяемость и размеры заприпайных полыней Карского моря за период с октября по июнь в период 1980–2008 гг. Выполнен анализ сроков очищения акватории на полярных станциях юго-западной части Карского моря. Приведены условия ледового плавания в весенне-осенний период. Характер плавания в арктических водах рассматривается при фор-

мировании трех типов ледовых условий: легких, средних и тяжелых. Приводится аналитический обзор и обобщение данных о процентном соотношении легких, средних и тяжелых ледовых условий за 50 лет, в период 1967–2017 гг., в июле, августе и сентябре. Рассмотрены примеры расчета ледовой цифры для судов класса Arc5 для разных ледовых условий. Дана оценка возможности работы судов ледового класса в условиях круглогодичной навигации. Произведен сравнительный анализ соответствия требований российской системы оценки возможности плавания судов различных классов во льдах и канадской. Дана оценка безопасной скорости плавания гидрографических судов класса Arc5 в период с июня по январь и с февраля по май. Освещена необходимость выполнения дальнейших гидрографических исследований.

Ключевые слова: ледяной покров, припай, ледовые условия, ледовый критерий, ледовый множитель, ледовый класс, гидрографическая изученность, ледовая цифра, Арктический шельф, безопасная скорость.

Для цитирования:

Иванов Р. В. Характеристика ледовых условий работы гидрографических судов в Карском море / Р. В. Иванов, Д. А. Полубелов, А. А. Соболева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1211–1224. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1211-1224.

Введение (Introduction)

В связи с проблемами неполной геологической изученности большинства месторождений Карского моря, а также сложностями добычи и транспортировки значительно затрудняется освоение углеводородных месторождений шельфа. Между тем для развития транспортной системы с позиции экономической эффективности необходим масштабный рост грузопотоков. Обеспечить его, на наш взгляд, могут только перевозки арктических углеводородных ресурсов. В перспективе ожидаемое увеличение грузопотоков определяется достаточно быстро растущим спросом на энергоресурсы и масштабным характером этого спроса. В глобальном аспекте это связано с существующим неравенством уровня жизни и, соответственно, потребления ресурсов. Так, страны Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), население которых составляет около 1,2 млрд чел. (15 % населения Земли), потребляют 5,5 млрд т первичных энергоносителей (более 45 %). В дальнейшем этот разрыв будет сокращаться, что послужит «локомотивом» увеличения спроса на рынках нефти и газа. Кроме того, наличие нового морского порта и завода по сжижению газа в рамках проекта «Ямал СПГ» предусматривает проведение как навигационно-гидрографического, так и гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания.

Сложность ледовых условий и их влияние на различные виды морской деятельности в основном связана с колебаниями площадей ледяных массивов, которые подвержены не только межгодовой, но и климатической изменчивости. Анализу площадей ледяных массивов Карского моря в летний период для холодного (1954–1985 гг.) и теплого (1986–2017 гг.) климатических периодов в Арктике посвящена работа В. П. Карклина [1]. Анализ повторяемости типов развития ледяных массивов отдельно в холодный и теплый климатические периоды показал, что в каждом из них наблюдаются как тяжелый, так и легкий типы развития массивов. В течение указанных периодов чаще всего наблюдаются средние площади ледяных массивов, повторяемость которых близка к 50 %. На основе использования спутниковых данных И. Д. Карелиным совместно с В. П. Карклиным были получены площадные детальные съемки ледяного покрова с регулярностью 7–10 сут [2]. Эти данные позволили расширить имеющиеся представления о формировании припая и заприпайных полыней. Вместе с тем создание электронных ледовых карт и их анализ с помощью ГИС-технологий позволили оценить количество льдов различного возраста в период осенне-зимнего формирования ледяного покрова.

На основе опыта составления оперативных краткосрочных ледовых прогнозов, описанных в работе С. В. Клячкина [3], известно, что исходными данными для составления ледового прогноза служат электронные ледовые карты в формате ГИС ArcMap, которые составляются на основе спутниковых снимков и матрицы среднесезонных полей температуры и солености воды на стандартных горизонтах [4]. В зимний период электронные ледовые карты содержат инфор-

мацию о концентрации (общей и частной) и возрастном составе ледяного покрова, в летний — информацию только об общей концентрации. Анализ обобщенных результатов оценок достоверности прогнозов общей и частной концентрации льда по каждому региону (в течение всего периода наблюдений) позволил сделать ряд важных выводов:

– ввиду высокой оправдываемости (порядка 90 %) модель достаточно адекватно воспроизводит природный процесс;

– в среднем в течение 2–5 сут состояние ледяного покрова на 80–90 % остается неизменным, что свидетельствует о консервативности ледяного покрова как среды;

– молодые льды — наименее инерционная составляющая ледяного покрова, прогноз частной концентрации молодых льдов весьма сложен;

– эффективность прогнозов общей концентрации льда оказалась наибольшей (почти 4 %) несмотря на то, что оправдываемость примерно соответствует общему фону (около 92 %).

В гидрографическом отношении наименее изучена северная часть Карского моря и его юго-западный район, включая Новоземельский трог с глубинами до 400 м. Следует отметить, что в связи с увеличением осадки современных судов, которые планируется использовать на трассах Северного морского пути, его гидрографическая изученность уже не удовлетворяет современным требованиям, что является одной из основных причин проведения исследований в данном направлении на акватории упомянутого моря [5]. Таким образом, изменения погоды, ледовой обстановки и температуры в полярных водах весьма неожиданны, часто непредсказуемы, а решения должны приниматься в отношении рейсов, которые длятся в течение недель и месяцев, на основе пока еще ненадежных прогнозов. Ситуацию осложняет тот факт, что в полярных водах нет или мало портов-убежищ, ограничена доступность спасательных служб, что не позволяет уменьшить последствия возможной ошибки. При этом, по мнению А. Ю. Шаронова «Прохождение трассы и работа судов в водах Российской Арктики должны быть безопасными как для них, так и для экологии Арктики. Эти два аспекта ледовой навигации могут быть обеспечены хорошим знанием ледовых условий на трассе и способностью судна преодолевать льды без аварий» [6, с. 172]. Для выполнения гидрографических работ необходимо иметь сведения о ледовых условиях не только на трассе перехода в район работ, но и на акватории самого района. Различия географического положения арктических морей обуславливает пространственную и временную неоднородность распределения льдов и метеорологических характеристик на их акваториях.

Целью настоящей работы является обоснование возможных условий безаварийного плавания, а также вычисление безопасной скорости судов класса Arc5 с точки зрения выполнения комплексных гидрографических изысканий в Карском море.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Образование льда начинается в юго-западной части Карского моря в октябре – ноябре [7]. Средние сроки первого появления льда и наступления устойчивого ледообразования на полярных станциях юго-западной части Карского моря указаны в табл. 1 и 2 соответственно. Все характеристики временной составляющей процессов ледообразования Карского моря были получены на основе обобщения и анализа данных Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [8] за 14 лет в период 1996–2010 гг.

Таблица 1

Сроки первого появления льда на полярных станциях юго-западной части Карского моря

Сроки появления льда	Полярные станции					
	Болванский нос	Амдерма	Марре-Сале	Остров Белый	Остров Вилькицкого	Остров Диксон
Средний срок	16.12	10.11	28.10	23.10	16.10	10.10

Таблица 2

**Сроки наступления устойчивого ледообразования
на полярных станциях юго-западной части Карского моря**

Сроки наступления ледообразования	Полярные станции					
	Болванский нос	Амдерма	Марре-Сале	о. Белый	о. Вилькицкого	о. Диксон
Средний срок	18.12	19.11	31.10	26.10	15.10	09.10

Неподвижный лед зимой бывает только у берегов в виде припая. За припаем обычно идут плавучие льды, чаще всего в виде обширных ледяных полей. За зиму лед достигает толщины 0,5 – 1,5 м. Плавучий лед бывает различных размеров и форм от мелких обломков до обширных ледяных полей. Возрастной состав льда и характеристики дрейфующего льда в осенне-зимний период представлены в табл. 3.

Таблица 3

Возрастной состав льда в осенне-зимний период, %, и характеристики дрейфующего льда

Возраст льда	Месяцы			Апрель-май			
	X	II	V	Длина ледовых полей, м	Толщина, м	Торосистость	Средняя высота торосов, м
Начальный	60	0	0	—	—	—	—
Молодой лед	40	12	15	—	—	—	—
Однолетний тонкий	0	35	3	—	—	—	—
Однолетний средний	0	53	20	—	—	—	—
Однолетний толстый	0	0	62	3000–6000	1,4–1,6	2–3	1,3–1,5
Двухлетний, многолетний	0	0	0	—	—	—	—

Когда молодой лед вдоль побережья материка и островов достигает толщины 10–30 см, образуется припай. При наибольшем развитии припая его мористая граница проходит в пределах изобат 10–20 м. В Карском море припай может образовываться в период с конца сентября на севере моря до конца января вблизи Амдерминского побережья и о. Вайгач. Сроки установления устойчивого припая на полярных станциях юго-западной части Карского моря приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сроки становления устойчивого припая на полярных станциях юго-западной части Карского моря

Станции	Болванский нос	Амдерма	Марре Сале	о. Белый	о. Вилькицкого	о. Диксон
Средний срок	01.01	10.12	14.11	17.11	28.10	16.10

Вероятность сроков образования устойчивого припая, по данным спутниковых наблюдений, представлена в табл. 5. Сроки получены по данным искусственного спутника Земли (ИСЗ) в период 1980–2005 гг. [9].

Таблица 5

Вероятность сроков образования устойчивого припая, %, по данным спутниковых наблюдений

Районы	Месяцы												
	IX	X			XI			XII			I		
	Декады												
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Северная Земля	33	17	12	28	11	—	—	—	—	—	—	—	—
Подходы к проливу Вилькицкого	—	—	24	44	22	10	—	—	—	—	—	—	—
Пясинский залив — о. Норденшельда	—	9	26	41	14	5	4	—	—	—	—	—	—
Обь-Енисейский	—	—	8	53	31	4	4	—	—	—	—	—	—
Побережье Ямала	—	—	4	16	28	29	23	—	—	—	—	—	—
Амдерминское побережье	—	—	—	—	—	4	26	10	8	20	16	10	6

Чем ближе к Карским Воротам, тем больше растянут период образования припая. Так, образование припая вдоль побережья Ямала почти равновероятно в любой из декад ноября. На ноябрь приходятся 80 % случаев становления устойчивого припая. Самый большой разброс сроков образования припая наблюдается вблизи Амдерминского побережья и о. Вайгач. Припай образуется в период от середины ноября до конца января.

В течение зимнего периода за припаем образуются заприпайные полыньи — пространства с чистой водой или молодым льдом толщиной до 30 см (рис. 1), формирование которых зависит от направления и устойчивости ветровых потоков (табл. 6).

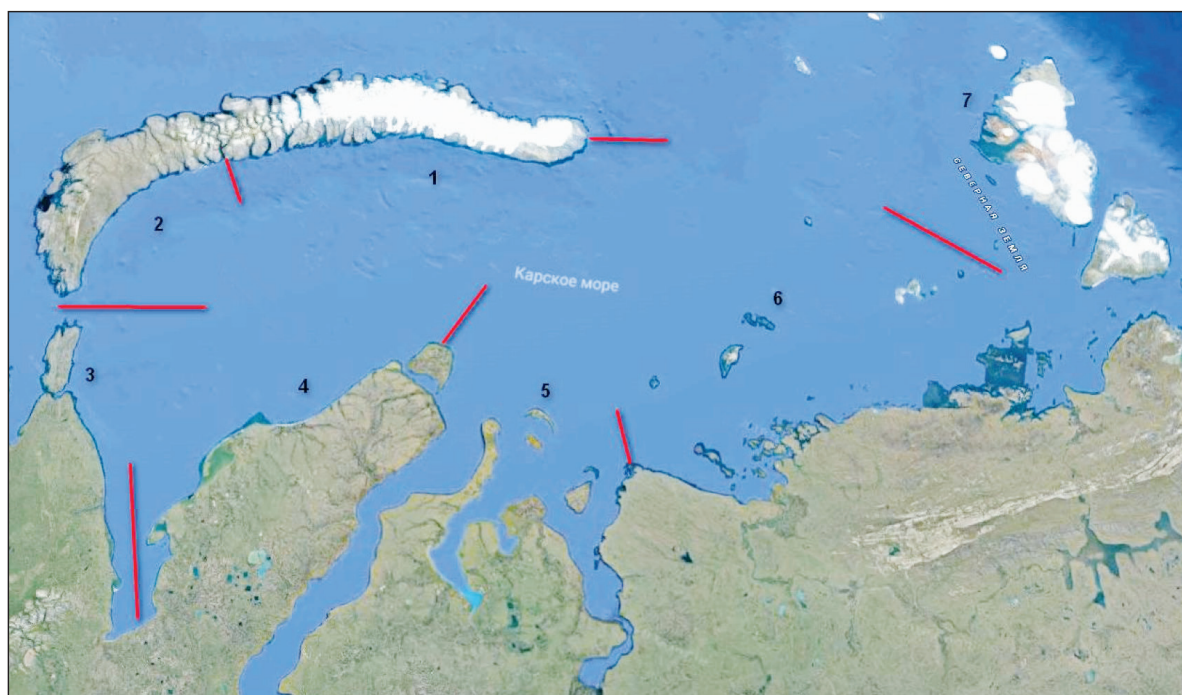


Рис. 1. Районы образования заприпайных полыньи в Карском море:
1 — Северная Новоземельская; 2 — Южная Новоземельская; 3 — Амдерминская;
4 — Ямальская; 5 — Обь-Енисейская; 6 — Центральная Карская;
7 — Западная Североземельская

Таблица 6

**Средняя повторяемость (P , %) и размеры заприпайных полыней Карского моря
за период с октября по июнь по данным за 1980–2008 гг.**

Название полыней	P , %	Характеристики					
		Длина, км		Ширина, км		Площадь, тыс. км ²	
		средняя	диапазон	средняя	диапазон	средняя	диапазон
Северная Новоземельская	59	341	50–630	28	2–110	10,0	0,5–66,0
Южная Новоземельская	58	271	60–350	42	2–160	10,4	0,5–45,0
Амдерминская	73	287	40–470	32	2–127	10,5	0,4–58,0
Ямальная	76	420	80–670	28	2–137	12,3	0,6–70,0
Обь-Енисейская	88	281	50–560	44	2–190	12,9	0,4–65,0
Центральная Карская	80	479	50–920	36	2–138	20,9	1,0–14,0
Западная Североземельская	66	259	50–620	29	2–170	8,0	0,4–56,0

Центральная Карская и Североземельская полыньи находятся в северо-восточном районе Карского моря. Если бы все полыньи Карского моря существовали одновременно, то их площадь в среднем составила бы около 9 % от площади Карского моря [10].

Статистические характеристики ледовых условий в весенне-летний период. В юго-западной части Карского моря таяние ледяного покрова начинается в среднем в конце мая. В июне вытаивают молодые и однолетние тонкие льды в полыньях и в разводьях и частично однолетние средние льды. В процессе таяния ледяного покрова происходит взлом, постепенное разрушение припая и распадение его на обширные дрейфующие поля. Раньше всего припай начинает разрушаться в Амдерминском районе. В течение июня в 80 % случаев припай успевает окончательно разрушиться. Вдоль Ямальского побережья и в Обь-Енисейском районе припай обычно взламывается в середине июля.

Средние сроки окончательного разрушения припая на полярных станциях юго-западной части Карского моря:

Болванский нос	11.07
Амдерма	21.06
Марре Сале	01.07
о. Белый	14.07
о. Вилькицкого	17.07
о. Диксон	15.07

К концу июля половина юго-западной части моря под влиянием тепловых и динамических процессов очищается ото льда (табл. 7). В конце августа – начале сентября в 80 % случаев этот район полностью освобождается ото льда [11].

Средние сроки очищения акватории на полярных станциях юго-западной части Карского моря:

Болванский нос	23.07
Амдерма	25.07
Марре Сале.....	02.08
о. Белый	23.07
о. Вилькицкого	26.07
о. Диксон	19.07

Таблица 7

**Площадь юго-западной части Карского моря,
освобождающаяся ото льда в период таяния ледяного покрова, %**

Месяцы											
Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
Декады											
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
8	11	12	22	38	48	80	91	94	100	100	100

Результаты (Results)

Характеристика работы гидрографических судов в весенне-летний период. Плавание в весенне-летний период, так же, как и в осенне-зимний, разделено на три типа: легкий (Л), средний (С) и тяжелый. В основу типизации положен коэффициент трудности плавания K_T . Этот коэффициент является отношением эксплуатационной скорости судна на чистой воде к эксплуатационной чистой ледовой скорости на данном участке трассы. Отдельные значения эксплуатационной чистой ледовой скорости вычисляются как частное от деления протяженности участка с «однородными» льдами на время, затраченное на переход. Дадим классификацию типов ледовых условий.

Легкий тип ледовых условий — на акватории района наблюдаются начальные, молодые и однолетние тонкие льды (до 0,7 м), возможно появление и присутствие однолетних средних льдов в количестве до 25 % ($S_{\text{средн}} < 25 \%$).

Средний тип ледовых условий — на акватории района наблюдаются однолетний средний лед (до 1,2 м) в количестве от 25 % и более ($S_{\text{средн}} \geq 25 \%$), возможно появление и присутствие однолетних толстых льдов в количестве до 25 % ($S_{\text{толст}} < 25 \%$).

Тяжелый тип ледовых условий — на акватории района наблюдаются однолетний толстый лед (более 1,2 м), и старые льды в количестве от 25 % ($S_{\text{толст}} \geq 25 \%$) и более.

На основе анализа и обобщения данных ЕСИМО процентное соотношение легких, средних и тяжелых условий за 50 лет (в период с 1967–2017 гг.) можно определить в виде гистограммы, представленной на рис. 2.

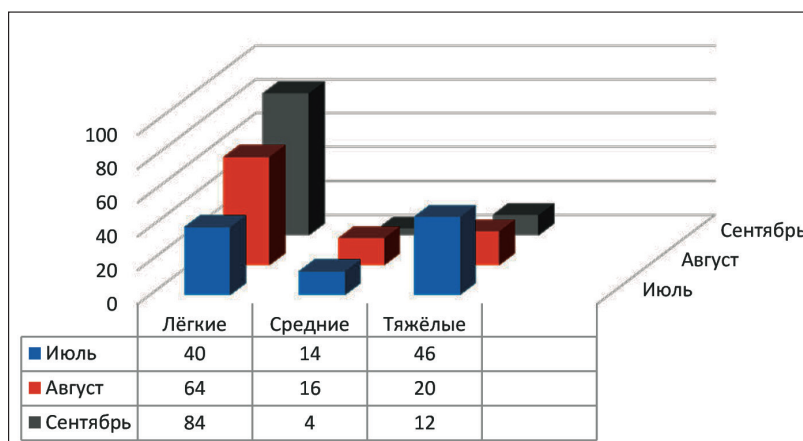
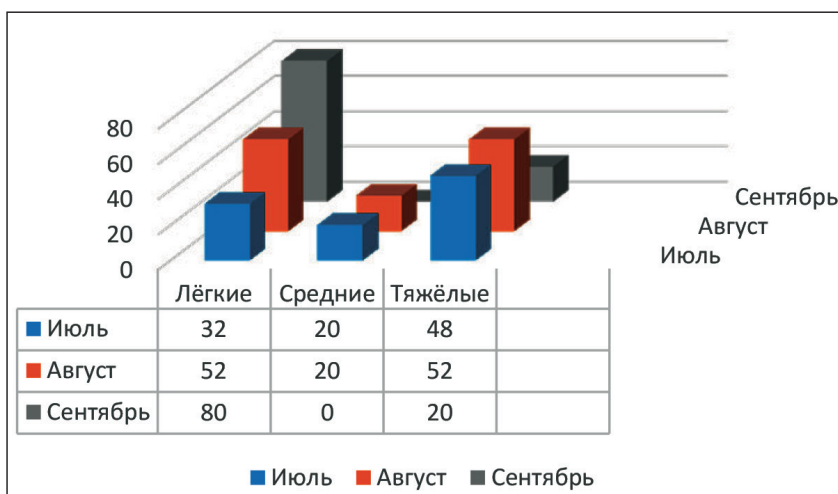


Рис. 2. Процентное распределение типов ледовых условий в период 1967–2017 гг.

При рассмотрении периодов продолжительностью 25 лет: 1967–1992 гг. и 1993–2017 гг., можно наблюдать степень смягчения ледовых условий, особенно в августе и сентябре. Данные за эти периоды представлены на гистограммах рис. 3, на которых отчетливо видно уменьшение количества тяжелых и средних ледовых условий в течение последних 25 лет, при этом в 5 раз уменьшился процент тяжелых условий (сокращение с 20 % до 4 % концентрации льда), а также в 5 раз уменьшился процент средних ледовых условий. Данная статистика вполне подтверждает смягчение климата.

а)



б)

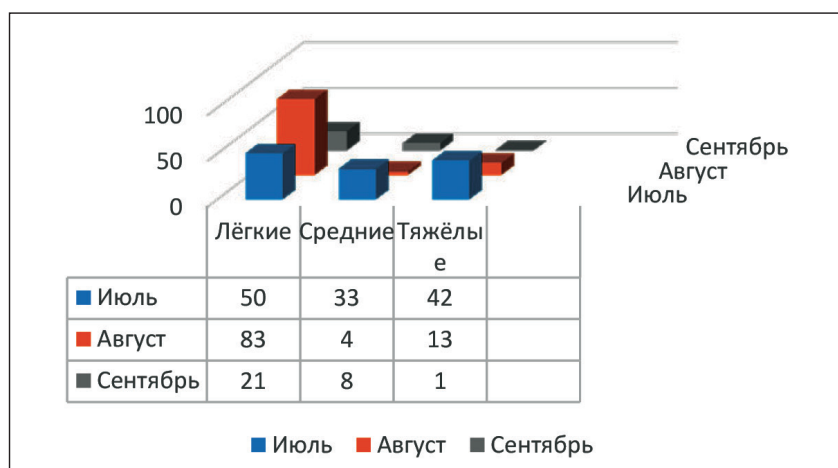


Рис. 3. Процентное распределение типов ледовых условий
а — в период 1967–1992 гг.; б — в период 1993–2017 гг.

Возможность работы судов ледового класса. Плавание транспортных судов в ледовых условиях согласно, требованиям Регистра судоходства [12] может происходить как самостоятельно, так и под проводкой ледоколов. При этом необходимо учитывать районы плавания судов и их назначение. По району ледового плавания морские транспортные суда, согласно Правилам Российского морского регистра судоходства, разделяются на две категории:

– арктические суда — разрешено плавание в Баренцевом, Карском морях, море Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях;

– неарктические суда — разрешено плавание в замерзающих неарктических морях. Кроме того, Российским морским регистром судоходства выделены еще две категории судов: ледоколы и буксиры ледового класса.

Согласно требованиям Российского морского регистра судоходства, под термином «суда ледового плавания» понимаются суда, предназначенные для самостоятельного плавания во льдах (с возможным преодолением ледовых перемычек) или плавания во льдах под проводкой ледокола.

При регламентации условий ледового плавания используются следующие определения:

– *сплоченность* — мера сплошности ледового покрова, характеризующаяся отношением площади, занимаемой льдами, к общей площади рассматриваемого участка акватории, оцениваемая по десятибалльной шкале;

– *разреженный лед* — лед сплоченностью 4–6 баллов, в котором отдельные льдины не соприкасаются между собой;

– *сплоченный лед* — лед сплоченностью 7–8 баллов, в котором отдельные льдины соприкасаются между собой, образуя ледовые переемы;

– *сплошной лед, или ледовое поле* — лед сплоченностью 9–10 баллов.

Согласно требованиям Российского морского регистра судоходства, для гидрографических судов класса Arc5 или ЛУ5 (ледовые усиленные) навигация в Карском море осуществляется согласно требованиям, представленным в табл. 8.

Таблица 8

Допустимая навигация в Карском море для судов класса Arc5

Способ ледового плавания	Период навигации							
	Зимне-весенняя навигация в морях				Летне-осенняя навигация в морях			
	Тип навигации							
	Э	Т	С	Л	Э	Т	С	Л
СП	—	—	—	+	—	+	+	+
ПЛ	—	—	*	+	*	+	+	+

Примечания: ПЛ — плавание под проводкой ледокола; + — эксплуатация допускается; – — эксплуатация не допускается; * — эксплуатация связана с повышенным риском получения повреждений; Э — экстремальная навигация (со средней повторяемостью один раз в 10 лет); Т, С, Л — тяжелая, средняя, легкая навигация (со средней повторяемостью один раз в 3 года) соответственно.

Необходимо отметить, что помимо требований Российского морского регистра судоходства, разработана и другая система оценки возможности плавания судов различных классов во льдах. В настоящее время в Канаде существует система Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) [13] — система оценки Арктического ледового режима судоходной системы, разработанная Министерством транспорта Канады для минимизации риска загрязнения в Арктике из-за повреждения судов льдом. Результат оценки реализован в виде ледового критерия, или ледовой цифры IN («Ice Numeral» или «Ice Decision Numeral»). Данный показатель получается путем простых расчетов, в которых учитывается специальный ледовый множитель IM (Ice Multiplier) и состояние ледяного покрова моря. Ледовый множитель IM различен для разных ледовых классов судов. Его значение соответствует определенному возрасту льда. Состояние ледового покрова моря определяется возрастом наблюдаемого льда и его концентрацией. Соответствие судов ледового класса Канады и Российского морского регистра судоходства показано в табл. 9.

Таблица 9

Соответствие судов ледового класса Канады и судов ледовых классов Российского морского регистра судоходства в период 1995–2008 гг.

Ледовый класс Канады	A	B	C	D	E	CAC4	CAC3
Ледовый класс Российского морского регистра судоходства 1995 г.	УЛ	Л1	Л2	Л3	Л4	ЛЛ3	ЛЛ2
Ледовый класс Российского морского регистра судоходства 2008 г.	Arc5	Arc4	Ice3	Ice2	Ice1	Icebreaker7	Icebreaker8

Как известно, для гидрографических целей используются суда класса Arc5. В табл. 10 рассмотрены параметры льдов, соответствующие именно этому классу.

Таблица 10

Параметры льдов, соответствующие проходу судов класса Arc5

Тип льда	Толщина льда, см	Тип льда (код ВМО)	Ледовый множитель IM	
			Обозначение	Значение
Многолетний лед	> 300	9•	IMMY	–4
Двухлетний лед	180–280	8•	IMSY	–3
Толстый однолетний лед	> 120	4•	IMTFY	–1
Однолетний лед средней толщины	70–120	1•	IMMFY	1
Однолетний лед второй стадии	50–70	9	IMFY	2
Однолетний лед первой стадии	30–50	8	IMFY	2
Серо-белый лед	15–30	5	IMGW	2
Серый лед	10–15	4	IMG	2
Начальные виды льда	–	1	IMN	2
Нет льда (чисто)	–	0	IMOW	2

Примечание. • — льды толщиной более 70 см.

Возможность плавания по системе AIRSS определяется в четыре шага. Шаг 1 — определяется, какие типы льда присутствуют в районе плавания и концентрация каждого из них. Шаг 2 — выбирается ледовый множитель IM в соответствии с рассматриваемым типом судна для каждого из типов льда. Шаг 3 — рассчитывается ледовый критерий IN по формуле $IN = \sum i C_i IM_i$, где i — тип льда; IM — ледовый множитель; C_i — частная концентрация льда (сплоченность) типа i в десятых долях. Шаг 4 — используется полученная ледовая цифра (IN) для определения того, может ли идти судно или нужно выбрать другой маршрут. Если значение IN равно нулю или положительному числу, судно может продолжать путь во льду. Если IN меньше нуля, судно должно найти альтернативный маршрут [14].

Рассмотрим примеры расчета ледовой цифры для класса Arc5 (класс «А» по ледовому классу Канады) для разных ледовых условий (рис. 5–7).



Рис. 5. Легкие условия плавания (преобладание чистой воды)

Вначале рассмотрим наиболее легкие условия (см. рис. 5), где преобладает чистая вода: $IN = [CMFY \cdot IMMFY] + [COW \cdot IMOW] = [3 \cdot 1] + [7 \cdot 2] = +17$, где CMFY — однолетний лед средней толщины концентрацией 3/10; IMMFY — ледовый множитель для однолетнего льда средней толщины; COW — концентрация, доля чистой воды в размере 7/10; IMOW — ледовый множитель для чистой воды.

Теперь рассмотрим пример с более тяжелыми условиями (см. рис. 6) : $IN = [CTFY \cdot IMTFY] + [CMFY \cdot IMMFY] + [COW \cdot IMOW] = [4 \cdot -1] + [1 \cdot 1] + [5 \cdot 2] = +7$, где CTFY — толстый однолетний лед концентрацией 4/10; IMTFY — ледовый множитель для толстого однолетнего льда; CMFY — однолетний лед средней толщины концентрацией 1/10; IMMFY — ледовый множитель для однолетнего льда средней толщины; COW — концентрация, доля чистой воды в размере 7/10; IMOW — ледовый множитель для чистой воды.



Рис. 6. Тяжелые ледовые условия плавания

Далее рассмотрим условия, где почти нет чистой воды (см. рис. 7): $IN = [CMY \cdot IMMY] + [CTFY \cdot IMTFY] + [COW \cdot IMOW] = [2 \cdot -4] + [7 \cdot -1] + [1 \cdot 2] = -13$, где CMY — многолетний лед концентрацией 2/10; IMMY — ледовый множитель для многолетнего льда; CTFY — толстый однолетний лед концентрацией 7/10; IMTFY — ледовый множитель для толстого однолетнего льда; COW — концентрация, доля чистой воды в размере 1/10; IMOW — ледовый множитель для чистой воды.



Рис. 7. Тяжелые условия плавания
при почти полном отсутствии чистой воды

Обсуждение (Discussion)

Планомерное изучение рельефа дна северных морей России началось после Второй мировой войны силами Гидрографического предприятия Министерства морского флота СССР. Первоочередные работы проводились в 50-е гг. XX в. в южной части Карского моря и вдоль всех побережий. На основе анализа и обобщения материалов промера на кафедре «Гидрография моря» Ленинградского высшего инженерного морского училища имени адмирала С. О. Макарова

совместно с Гидрографическим предприятием была составлена первая детальная батиметрическая карта, а также геоморфологическая карта Карского моря масштаба 1 : 1 000 000 [15]. На сегодняшний день комплект навигационных морских карт (НМК) на Карское море, изданных Управлением навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации, включает более 200 ед. При этом НМК масштаба 1 : 25 000 и крупнее включает всего 24 листа. Распределение НМК Карского моря по масштабам приведено в табл. 11. Анализ этой таблицы показывает, что основным видом НМК в Карском море являются путевые карты масштабов 1 : 150 000. Морские планы представлены в незначительном количестве и охватывают рейды портопунктов и полярных станций.

Таблица 11

Масштабы навигационных морских карт Карского моря по состоянию на 2014 г.

Виды НМК Масштаб	Масштабы НМК Карского моря на 2014 г.			
	Морские планы 1 : 500–1 : 25 000	Частные карты 1 : 50 000–1 : 100 000	Путевые карты 1 : 100 000–1 : 1 000 000	Генеральные карты 1 : 1 000 000–1 : 5 000 000
Количество НМК	24	70	104	4

По данным AIRSS, при рассмотрении ледового множителя получается, что судно не сможет пройти только в том случае, если толстого однолетнего льда (его ледовый множитель равен –1), будет больше, чем 50 % акватории, а оставшуюся часть пространства будет занимать однолетний лед средней толщины (его ледовый множитель равен единице). В таком случае ледовая цифра будет меньше нуля или на акватории будет большой процент двухлетних или многолетних льдов (их ледовые множители равны –2 и –3 соответственно). Но в ледовой характеристике юго-западной части Карского моря отмечается, что в 80 % случаев к началу сентября район полностью очищается ото льда, а значит, двухлетние и многолетние льды могут образовываться крайне редко.

Для оценки безопасной скорости судна класса Arc5 (A), используется выражение $V_s = 0,0022IN^3 - 0,0397IN^2 + 0,2834IN + 3,5729$ [16]. В среднем в период с июня по январь ледовый критерий равен своему максимальному значению ($IN = 20$). Это значение равно скорости судна в чистой воде, т. е. скорость судна равна 11 уз.

Для периода с февраля по май ледовый критерий находится в интервале 5–10. Рассчитаем по формуле скорости, соответствующие данным ледовым критериям:

$$V_s = 0,0022 \cdot 53 - 0,0397 \cdot 52 + 0,2834 \cdot 5 + 3,5729 = 4,2 \text{ уз для } IN = 5;$$

$$V_s = 0,0022 \cdot 103 - 0,0397 \cdot 102 + 0,2834 \cdot 10 + 3,5729 = 4,7 \text{ уз для } IN = 10.$$

Скорость, рекомендованная Российским морским регистром судоходства, равна 6–8 уз. Скорости 8 уз примерно соответствует скорость при ледовом критерии, равном 17:

$$V_s = 0,0022 \cdot 173 - 0,0397 \cdot 172 + 0,2834 \cdot 17 + 3,5729 = 7,9 \text{ уз.}$$

Заключение (Conclusion)

При рассмотрении карт ледовой обстановки Карского моря, находящихся на сайте ЕСИМО в разделе «региональные карты Евразийской Арктики», можно сделать вывод о том, что требования плавания к судам во льдах по Канадской методике намного мягче, чем те, которые регламентирует Российский морской регистр судоходства. По данным Российского морского регистра судоходства, суда класса Arc5 могут работать в зимне-весенний период только в легких условиях, предусматривающих плавание только в начальных, молодых и однолетних тонких льдах (толщина до 70 см) с включениями однолетнего среднего льда в количестве не более 25 % акватории. Вместе с тем с практической точки зрения, по данным карт ЕСИМО, получается, что суда класса Arc5 в юго-западной части Карского моря могут ходить почти круглогодично, в то время как их гарантированное плавание в северо-восточной части возможно лишь в августе и сентябре. На этом фоне возникает закономерный вывод о необходимости проведения дальнейших

гидрографических исследований в силу сохранившейся до настоящего времени изученности северо-восточной части моря, а также увеличения грузоподъемности современных судов, что влечет за собой сокращение общего объема глубин, безопасных для мореплавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карклин В. П. Климатическая изменчивость ледяных массивов Карского моря / В. П. Карклин, А. В. Юлин, М. В. Шаратунова, Л. П. Мочнова // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2017. — № 4 (114). — С. 37–46.
2. Карелин И. Д. Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века: режимно-справ. пособие / И. Д. Карелин, В. П. Карклин. — СПб: ААНИИ, 2012. — 180 с.
3. Клячкин С. В. Численная модель эволюции ледяного покрова арктических морей для оперативного прогнозирования / С. В. Клячкин, Р. Б. Гузенко, Р. И. Май // Лед и Снег. — 2015. — Т. 55. — № 3. — С. 83–96.
4. Conkright M. E. World Ocean Atlas 2001: Objective Analyses, Data Statistics and Figures. CD-ROM Documentation / M. E. Conkright, R. A. Locarnini, H. E. Garcia, T. D. O'Brien, T. P. Boyer, C. Stephens, J. I. Antonov. — National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD, 2002. — 17 p.
5. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — № 4. — С. 57–60.
6. Шаронов А. Ю. Задачи гидрометеорологического обеспечения круглогодичной навигации в Восточно-Сибирском море / А. Ю. Шаронов, В. А. Шматков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 170–182. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-170-182.
7. Думанская И. О. Ледовые условия морей европейской части России / И. О. Думанская. — М.; Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2014. — 608 с.
8. Единая Государственная система информации об обстановке в Мировом океане [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://data.oceaninfo.ru/> (дата обращения: 01.11.2018).
9. Наблюдения за ледовой обстановкой: учеб. пособие. — СПб.: ААНИИ, 2009. — 360 с.
10. Карклин В. П. Сезонные изменения возрастного состава льдов в северо-восточной части Карского моря в осенне-зимний период / В. П. Карклин, С. В. Хотченков, А. В. Юлин, В. М. Смоляницкий // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2016. — № 4 (110). — С. 41–50.
11. Olason E. A dynamical model of Kara Sea land-fast ice / E. Olason // Journal of Geophysical Research: Oceans. — 2016. — Vol. 121. — Is. 5. — Pp. 3141–3158. DOI: 10.1002/2016JC011638.
12. Правила классификации и постройки морских судов. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2010. — Т. 1. — 479 с.
13. AIRSS 1996. Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) Standards, Transport Canada, TP 12259E, 46 p, Ottawa. Ont., Canada.
14. Timco G. W. Canadian Ice Regime System: Improvements Using an Interaction Approach / G. W. Timco, I. Kubat // POAC'01: Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions. — 2001.
15. 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 имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 115–124.
16. Мاستрюков С. И. Методический подход к оценке ледовых условий плавания и оценка тенденций их изменения на примере азиатского побережья Берингова моря / С. И. Мастрюков // Арктика: экология и экономика. — 2012. — № 1 (5). — С. 074–081.

REFERENCES

1. Karklin, V. P., A. V. Yulin, M.V. Sharatunova, and L.P. Mochnova. "Klimaticheskaya izmenchivost' ledyanykh massivov Karskogo moray." *Problemy Arktiki i Antarktiki* 4(114) (2017): 37–46.
2. Karelin, I. D., and V. P. Karklin. *Pripai i zapripainye polyn'i arkticheskikh morei sibirskogo shel'fa v kontse KhKh – nachale XXI veka: Rezhimno-spravochnoe posobie*. SPb: AANII, 2012.
3. Klyachkin, S. V., R. B. Guzenko, and R. I. May. "May. Numerical model of the ice cover evolution in Arctic Seas for the operational forecasting." *Ice and Snow* 55.3 (2015): 83–96.

4. Conkright, M. E., R.A. Locarnini, H. E. Garcia, T. D. O'Brien, T. P. Boyer, C. Stephens, and J. I. Antonov. *World Ocean Atlas 2001: Objective Analyses, Data Statistics and Figures. CD-ROM Documentation*. National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD, 2002.
5. Reshetnyak, S. V. "Hydrographic study of the Arctic seas underwater relief of Russia." *Geodesy and Cartography* 4 (2006): 57–60.
6. 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.
7. Dumanskaya, I. O. *Ledovye usloviya morei evropeiskoi chasti Rossii*. M.; Obninsk: IG-SOTsIN, 2014.
8. Edinaya Gosudarstvennaya Sistema Informatsii ob Obstanovke v Mirovom Okeane. Web. 1 Nov. 2018 <<http://data.oceaninfo.ru/>>.
9. *Nablyudeniya za ledovoi obstanovkoi: ucheb. posobie*. SPb.: AANII, 2009.
10. Karklin, V. P., S. V. Khotchenkov, A. V. Yulin, and V. M. Smolyanitskii. "Sezonnye izmeneniya vozrastnogo sostava l'dov v severno-vostochnoi chasti Karskogo morya v osenne-zimnii period." *Problemy Arktiki i Antarktiki* 4(110) (2016): 41–50.
11. Olason, Einar. "A dynamical model of Kara Sea land-fast ice." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 121.5 (2016): 3141–3158. DOI: 10.1002/2016JC011638.
12. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov*. Vol. 1. SPb.: Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2010.
13. AIRSS 1996. Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) Standards, Transport Canada, TP 12259E, 46 r, Ottawa. Ont., Canada.
14. Timco, G. W., and Ivana Kubat. "Canadian Ice Regime System: Improvements Using an Interaction Approach." *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*. 2001.
15. Firsov, Yu. G. "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.
16. Mastrukov, S. "Methodical Approach to the Estimation of Ice Conditions of Navigation and Trends of Change as an Example of the Asian Coast of the Bering Sea." *Arctic: ecology and economy* 1(5) (2012): 074–081.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Роман Владимирович — аспирант
Научный руководитель:
Шматков Владимир Антонович —
 доктор технических наук, профессор
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: answerwww@yandex.ru
Полубелов Денис Алексеевич — аспирант
Научный руководитель:
Шматков Владимир Антонович —
 доктор технических наук, профессор
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: hydrohwhite@gmail.com
Соболева Анастасия Александровна —
 помощник геодезиста
 ООО «Тоннельтехнология»
 e-mail: soboleva_nastya1997@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivanov, Roman V. — Postgraduate
Supervisor:
Shmatkov, Vladimir A. —
 Dr. of Technical Sciences, professor
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
 Russian Federation
 e-mail: answerwww@yandex.ru
Polubelov, Denis A. — Postgraduate
Supervisor:
Shmatkov, Vladimir A. —
 Dr. of Technical Sciences, professor
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
 Russian Federation
 e-mail: hydrohwhite@gmail.com
Soboleva, Anastasiya A. —
 Surveyor assistant
 LLC Tunnel technology
 e-mail: soboleva_nastya1997@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30 ноября 2018 г.
 Received: November 30, 2018.