

УДК 551.467

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-40-53

Для цитирования:

Е.У. Миронов, С.В. Калячкин, Е.И. Макаров, А.В. Юлин, Е.В. Афанасьева Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40–53

Получена: 14.12.2021

Принята: 22.12.2021

Опубликована: 24.12.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

ОСОБЕННОСТИ ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2021 Г. В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ОЦЕНКА ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ

Е.У. Миронов¹, С.В. Клячкин¹, Е.И. Макаров¹, А.В. Юлин¹, Е.В. Афанасьева¹

¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
mir@aari.ru; svkl@aari.ru; john143_143@mail.ru; icefor@aari.ru; afanasieva@aari.ru

Аннотация: Выполнен анализ ледовых процессов в осенний период 2021 г., показано, что ледообразование началось во всех российских арктических морях на 5-15 суток позже нормы. Оценка успешности долгосрочных прогнозов сроков ледообразования и достижения толщины льда значений 20-25 см показала, что оправдываемость прогнозов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском была успешной (100%), неудачными оказались прогнозы только в Чукотском море. Общая оправдываемость ледовых прогнозов в осенний период составила 75%. Выполнена оценка оправдываемости краткосрочных прогнозов типов ледовых условий для 28 районов в акватории СМП. Обобщенные оценки оправдываемости прогнозов ключевых критериев определения типа варьируются в пределах 85-95%, оправдываемости прогнозов типа - 90-95%. В заключении отмечено, что при плавании во льдах кроме общей фоновой информации об ожидаемых тенденциях развития ледовых процессов целесообразно заказывать специализированное ледовое и гидрометеорологическое обеспечение.

Ключевые слова: ледовые процессы, сроки ледообразования, тип ледовых условий, арктические моря, Северный морской путь

SEA ICE PROCESSES IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS IN AUTUMN OF 2021 AND ESTIMATION OF ICE FORECASTS ACCURACY

Ye.U. Mironov¹, S.V. Klyachkin¹, Ye.I. Makarov¹, A.V. Yulin¹, E.V. Afanasyeva¹

¹ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Abstract: Sea ice processes in the autumn season of 2021 have been analyzed. It is shown that formation of new ice began 5-15 days later than normal in all the Russian Arctic seas. Estimation of long-term forecast accuracy has revealed that dates of freeze-up and reaching ice thickness values of 20-25 cm were predicted successfully in the Laptev and East Siberian seas (100%); prediction was not successful in the Chukchi Sea. The overall accuracy of ice forecasts in autumn season was 75%. The accuracy of short-term forecast of ice conditions type within 28 NSR regions has been estimated. It is shown that the accuracy of forecast of all the key criteria determining sea ice conditions type varied between 85 and 95%; the accuracy of forecast of ice conditions type varied between 90 and 95%. In conclusion, it is noted that, when navigating in ice, it is important to use background information on the expected sea ice tendencies as additional to specialized sea ice and hydrometeorological support.

Keywords: sea ice processes, freeze-up dates, sea ice conditions type, Arctic seas, Northern Sea Route

Введение

Характерной чертой развития ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО) в XXI веке является устойчивая тенденция к сокращению площади льдов в океане как в зимний, так и в летний сезон года. Такие глобальные изменения в площади и составе льдов в СЛО не могли не отразиться на ледовых условиях российских арктических морей. Отдельные исследования ледового режима российских арктических морей показывают, что изменения, произошедшие за 15–20 лет, действительно очень значимы [1–4].

Тем не менее безопасность и эффективность судоходства в акватории Северного морского пути (СМП) зависит не только от общего количества льда и продолжительности ледового периода. Существенное влияние на безопасность судоходства оказывают опасные ледовые явления и образования – аномально раннее ледообразование, наличие сплочённых и мощных льдов на трассах, сжатия и повышенная торосистость, концентрация айсбергов и стамух [5].

Ледовые условия являются обобщённой характеристикой в определённом локальном или крупном районе акватории моря. Условия ледового плавания характеризуют ледовую обстановку по маршруту движения судна. Поэтому возможно возникновение сложных условий ледового плавания на фоне лёгких ледовых условий в акватории моря и наоборот.

Это наглядно проявилось в осенний период в середине ноября 2021 г., когда в целом при лёгких ледовых условиях, в акватории СМП попало в ледовый плен около 20 судов различных ледовых классов (Рис. 1). Целью статьи является анализ развития ледовых процессов в осенний период 2021 г. и оценка оправдываемости долгосрочных и краткосрочных ледовых прогнозов.

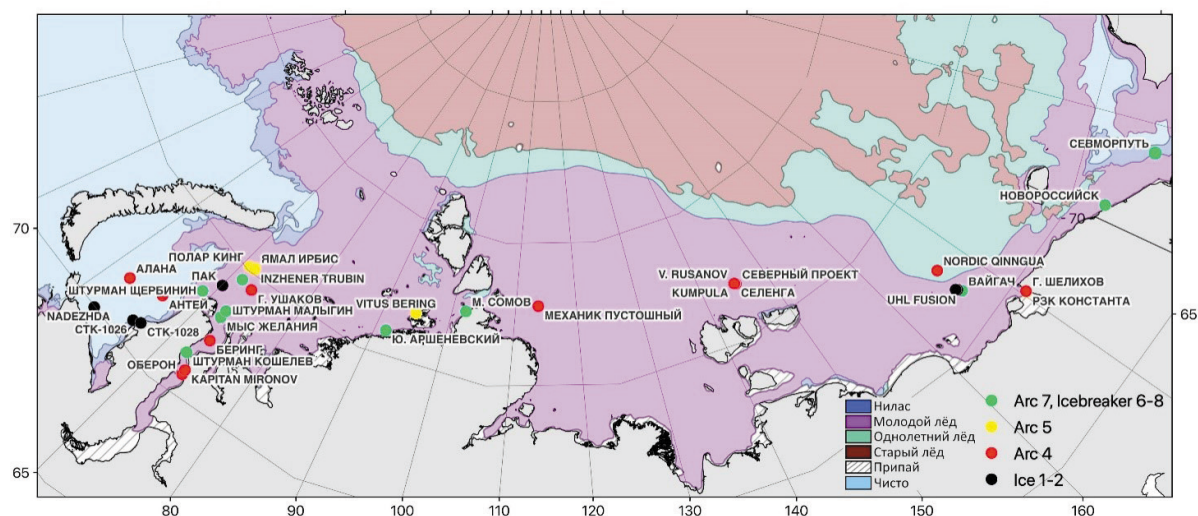


Рис. 1. Положение судов различных ледовых классов в акватории СМП на 16.11.2021 г.

Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г.

В течение года в Арктике отмечалась преобладающая повторяемость воздушных потоков с южной составляющей и формирование во всех месяцах положительных аномалий температуры воздуха. Наиболее высокие среднемесячные значения аномалии температуры отмечались в холодные месяцы года (октябрь-май), а низкие аномалии отмечались в тёплые месяцы (июнь-ноябрь). Западный сектор Арктики внёс наибольший вклад в формирование температурного фона. В нём преобладали наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха. Более низкие значения аномалий сформировались в 2021 г. в восточном секторе.

В акватории СМП в 2021 г. во всех морях преобладал положительный фон температуры воздуха. Наиболее высокие средние годовые значения с положительными аномалиями температуры воздуха до 2-4 °С отмечались в районе морей Карского и Лаптевых, а наиболее низкие в Чукотском море 1-2 °С. По сравнению с 2020 г., понижение температурного фона произошло во всех морях российской Арктики, наибольшее понижение отмечено в Чукотском и Карском морях. Особенно ярко понижение аномалии температуры воздуха произошло в октябре-ноябре 2021 г. (Рис. 2).

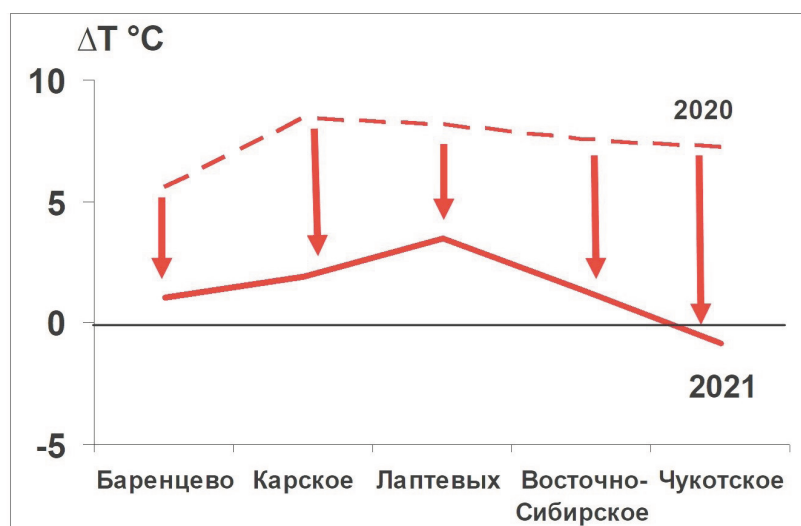


Рис. 2. Средние значения аномалии температуры воздуха (°С) за период октябрь-ноябрь в акватории Северного морского пути в 2021 и 2020 гг.

В соответствии с развитием атмосферных процессов в летний период 2021 г. наблюдалось быстрое и полное очищение акваторий большинства арктических морей – юго-западной части Карского, Лаптевых, западной части Восточно-Сибирского. В некоторых районах морей сохранились остаточные льды, это явилось основной особенностью осеннего сезона 2021 г. В середине сентября остаточные льды сохранялись в трёх районах СМП – в северо-восточной части Карского (23%), восточной части Восточно-Сибирского (23%) и юго-западной части Чукотского моря (6%).

Наличие остаточных льдов способствовало быстрому расходу теплозапаса в этих частях моря, что, в свою очередь, привело к более раннему началу ледообразования. Таким образом, в тех районах морей, в которых наблюдался остаточный лёд в первой декаде октября в сроки, близкие к норме или несколько позже (на 5-10 суток), началось устойчивое ледообразование (Рис. 3 - 4). В остальных районах устойчивое ледообразование началось на 15-20 суток позже нормы.

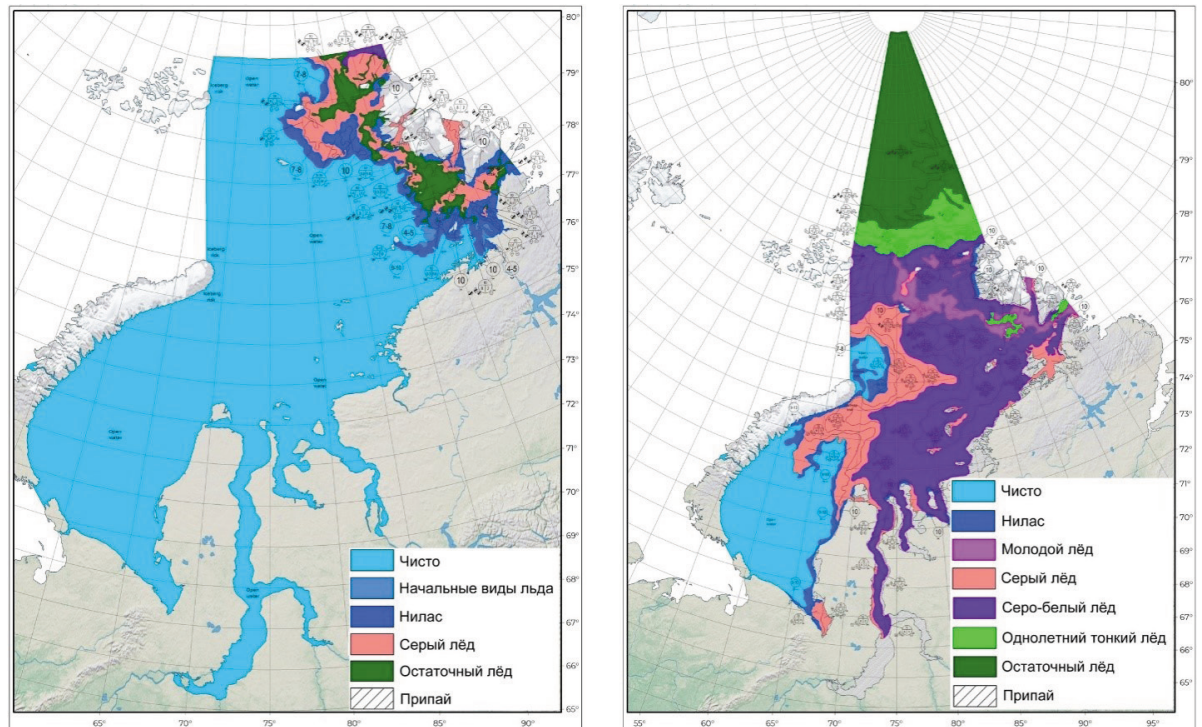


Рис. 3. Процесс нарастания льдов в Карском море 6-8 октября и 14-16 ноября 2021 г.

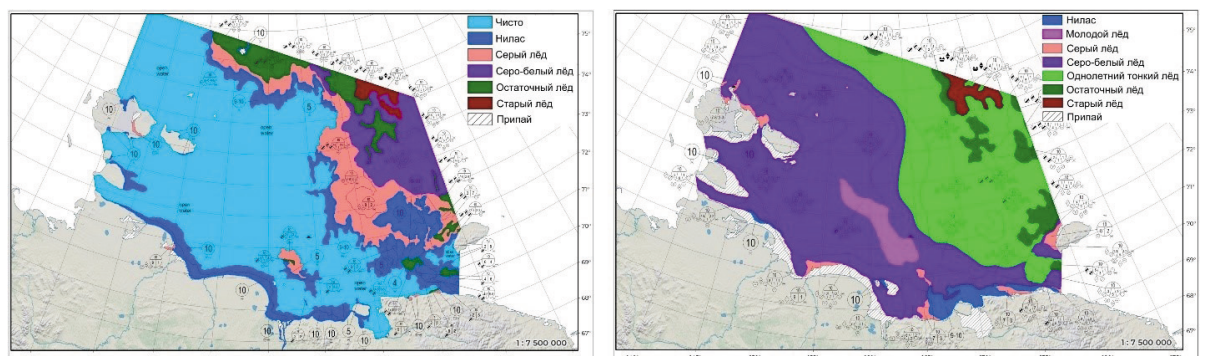


Рис. 4. Процесс нарастания льдов в Восточно-Сибирском море 6-8 октября и 17-19 ноября 2021 г.

В целом в Карском море процесс ледообразования развивался медленно, позже среднемноголетних сроков на 15-20 суток. В октябре льды отмечались только в районе архипелага Северная Земля, где присутствовали остаточные льды (в среднем северо-восточная часть моря полностью замёрзла к 10-15 октября).

В море Лаптевых ледообразование началось в первую декаду октября, что оказалось позже среднемноголетних сроков на 20-25 суток. В октябре льды отмечались только в районе архипелага Северная Земля, где присутствовали остаточные льды. В первой декаде ноября море Лаптевых полностью покрылось льдом.

На северной границе Восточно-Сибирского моря и среди массива остаточных льдов ледообразование началось в конце третьей декады сентября, что на 20 суток позже нормы. В первой декаде октября ледообразование началось вдоль материкового берега, а в третьей декаде октября море полностью покрылось льдом.

В Чукотском море ледообразование началось в первой декаде октября вдоль узкой прибрежной полосы и на северной границе моря, что на 7-10 дней позже среднемноголетних значений. В третьей декаде ноября море полностью покрылось льдом.

Таким образом, по сравнению со среднемноголетними значениями ледообразование во всех морях произошло позже нормы:

- на 7-14 суток в Карском море,
- на 10-15 суток в море Лаптевых,
- на 5-10 суток в Восточно-Сибирском море,
- в Чукотском море вдоль побережья на 1-5 суток, в мористой части (от пролива Лонга до Берингова пролива) – на 15 суток.

Тем не менее сложности возникли у двух десятков судов во второй половине ноября. Это было обусловлено, во-первых, наличием судов низких ледовых классов на трассе (в соответствии с Правилами плавания, суда до класса Arc4 должны быть выведены из акватории СМП до 15 ноября). Во-вторых, при наличии остаточных льдов (это наблюдалось впервые за последние пять лет) и возникновении сжатий во льдах суда испытывают значительные трудности даже при преобладании молодых льдов.

Особенности ледового плавания в осенний период

Ледовый режим – понятие, используемое для информирования судоводителей, и помещается в лоциях. Оно определяет среднемноголетние значения толщины льда естественного термического нарастания и мощности льда – характеристики толщины, формируемой в результате динамических процессов (наслоения и торошения) во льду. Описанная ситуация характерна для районов со сложными навигационно-гидрографическими условиями, именуемых «сложные навигационно-гидрографические районы» (СНГР). Обычно СНГР имеют сложную морфологию береговой черты, морфологию и батиметрию дна. В навигационно-гидрографическом плане СНГР должны быть обеспечены увеличенным объёмом промеров глубин и информацией о судоходной и гидрометеорологической обстановке.

В географическом плане это районы архипелагов Норденшельда, проливы Матиссена, Вилькицкого, Санникова, Дмитрия Лаптева и Лонга. В информационном плане в любой лоции по СНГР имеется утверждение – «... район имеет сложный ледовый режим...». Сложность ледового режима определяется многообразием типов рельефа дна, градиентов глубин, изменчивостью полей атмосферного давления, течений, приливо-отливных проявлений, наличием узких фарватеров (узкостей).

Скорость перемещения льда в узкостях может достигать 1,5-2,5 узлов, это может вызывать формирование «ледяной реки» [5]. Высокие скорости дрейфа льда, его неравномерность и изменчивость приводят к интенсивному торошению льдов и нарастанию их мощности. На Рис. 5 показан дрейф судна к востоку от пролива Вилькицкого, который соответствует приведённым значениям скоростей дрейфа льда.

Лёгкие ледовые условия в конце летнего периода навигации предполагают более поздние сроки ледообразования по сравнению с нормой. Этот сдвиг определяет прохождение самого процесса ледообразования в более динамичных условиях. Известно, что переход от «тёплого» к «холодному» периоду арктической навигации сопровождается усилением температурных контрастов, барических градиентов и, как следствие, усилением динамических процессов в ледяном покрове. Начальные и молодые виды льдов в этот период подвержены большему динамическому воздействию (наслоению), чем обычно, быстрее наращивают свою мощность. В СНГР эти процессы усиливаются в проливах, в районах

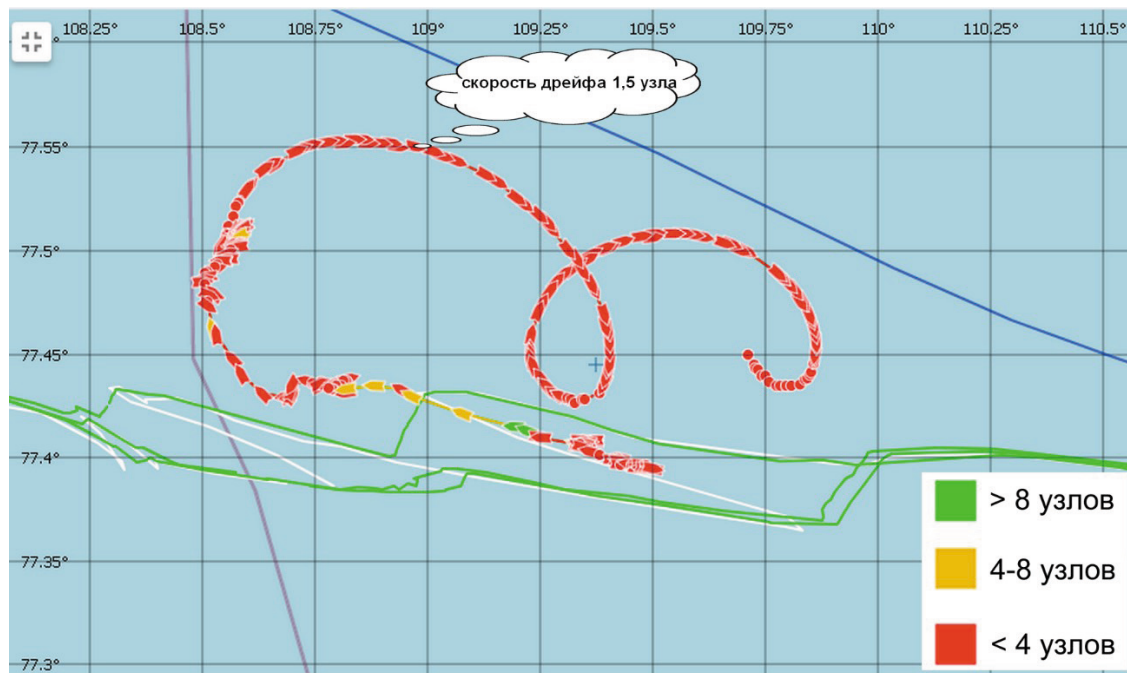


Рис. 5. Траектория дрейфа судна «УНК Flash» к востоку от пролива Вилькицкого 3-5 ноября 2021 г. Цветом показаны скорости дрейфа. Данные были взяты с геопортала «ScanexMaritime», разработанного компанией «СКАНЭКС».

многочисленных островов и подводных препятствий. Появляются стамухи – севшие на грунт ледяные нагромождения. Это, в свою очередь, усиливает неравномерность распределения льда, действие динамических факторов на деформацию ледяного покрова. Результатом описанных процессов является усложнение условий ледового плавания в СНГР при лёгком типе ледовых условий даже в сравнении со средним фоном ледовых условий на начальном этапе устойчивого ледообразования.

Отличительной особенностью ледовых условий плавания в позднесенний период навигации 2021 г. явилось наличие остаточных льдов. Это вызвало повышенное распреснение поверхностных вод указанных районов. Более поздние сроки начала ледообразования пришлись на период интенсивной циклонической деятельности, что, в свою очередь, привело к ускоренному нарастанию мощности молодых льдов за счёт динамических процессов.

Ярким отличием условий ледового плавания от предшествующих навигаций десятилетнего периода явилось наличие устойчивого сохранения прибрежного оптимального варианта плавания в течение всей навигации. Остальные северные СНГР, за исключением районов в море Лаптевых, были блокированы мощными льдами в течение всей навигации. Стандартный прибрежный вариант плавания предполагает необходимость использования судами ледовых классов Arc4 и ниже ледокольной поддержки на начальном и завершающем этапе периода арктической навигации.

Осенний период навигации 2021 г. начался во второй половине октября, при устойчивом ледообразовании в большинстве СНГР. Суда ледовых классов Arc4 и ниже, которые следовали без ледокольного обеспечения, начали испытывать ледовые затруднения. На Рис. 6 и 7 показаны треки судов различных ледовых классов в разных СНГР. Красные и жёлтые отрезки на треках свидетельствуют о низкой скорости движения и соответствуют участкам, на которых суда испытывали затруднения. В первой половине ноября эти суда оказались в ледовом плену.

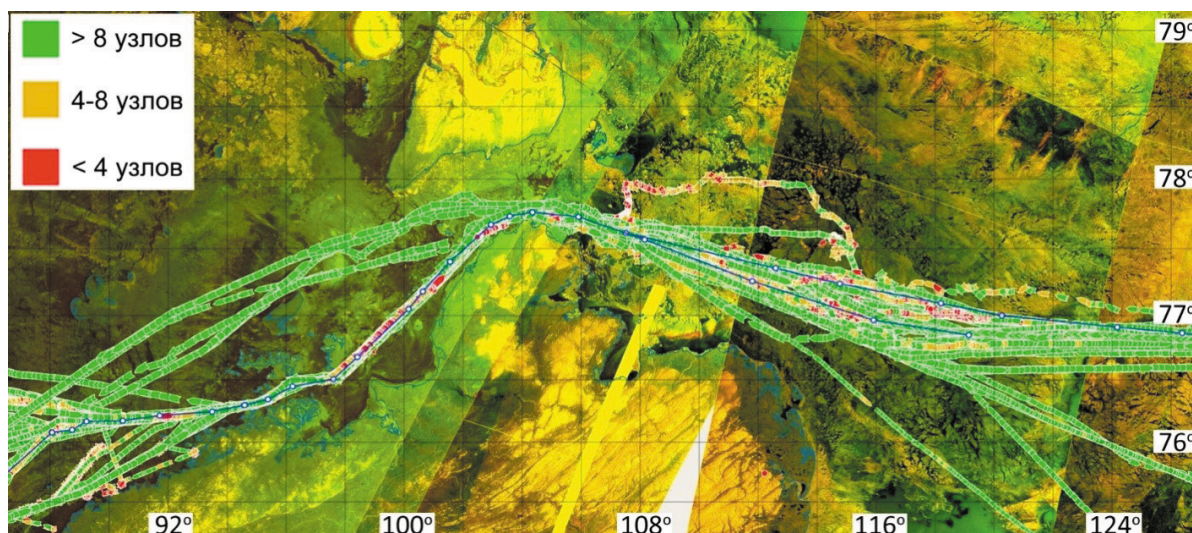


Рис. 6. Условия ледового плавания 28 - 30 октября в проливе Вилькицкого и на подходах к нему. Данные были взяты с геопортала «ScanexMaritime», разработанного компанией «СКАНЭКС».

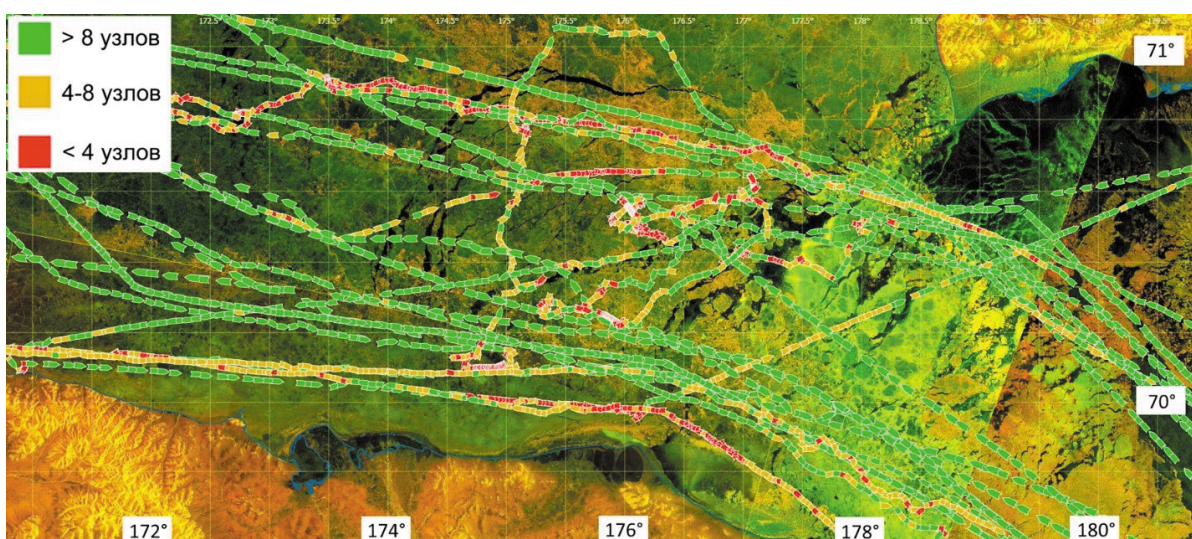


Рис. 7. Условия ледового плавания 28 - 30 октября в проливе Лонга и на подходах к нему. Данные были взяты с геопортала «ScanexMaritime», разработанного компанией «СКАНЭКС».

Долгосрочные ледовые прогнозы и их оправдываемость

В ААНИИ был разработан долгосрочный ледовый прогноз на вторую половину навигации (вторая половина августа – октябрь) в арктических морях 20 августа. Основные прогнозируемые элементы: ледовитость, сроки ледообразования и сроки достижения льдом толщины 20-25 см. Заблаговременность прогнозов – 1,5-3,0 месяца.

Оценка качества прогнозов регламентируется Наставлением [6], в соответствии с которым долгосрочный ледовый прогноз считается оправдавшимся, если прогнозируемая дата наступления ледового явления не отклоняется от фактически наблюдаемой даты на величину более $\pm 0,8\sigma$ (где σ – значение среднеквадратического отклонения ряда наблюдений за явлением). Оценка сроков фактического начала ледообразования проводится на сети станций Росгидромета. В тех случаях, когда по тем или иным причинам наблюдений отсутствуют, оценка явления проводится по снимкам ИСЗ или детализированным ледовым картам. Точность оценки начала ледового явления по снимкам ИСЗ составляет ± 1 суток, по детализированным ледовым картам ± 2 суток. Использование обзорных карт

для оценки сроков наступления ледовых явлений недопустимо, так как в этом случае ошибка составляет ± 7 суток. В Табл. 1 приводятся фактические даты наступления ледообразования, их прогноз в 2021 г., нормы и оценки оправдываемости прогнозов.

Таблица 1

Прогнозируемые и фактические сроки начала устойчивого ледообразования в осенний период 2021 г. и оценка успешности ледовых прогнозов

Море, полярная станция	Норма	Прогноз ААНИИ	Фактическая дата	Ошибка прогноза	Допустимая ошибка	Оправдываемость прогнозов
Карское						
о. Диксон	6.10	11.10	20.10	-9 суток	7 суток	0
о. Русский	27.09	7.10	3-5.10	+2...4 суток	10 суток	100%
мыс Челюскина	22.09	2.10	3-5.10	-1...-3 суток	8 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						67%
Лаптевых						
о. Андрея	25.09	10.10	10-12.10	0...-2 суток	10 суток	100%
бухта Тикси	4.10	12.10	10-12.10	0...-2 суток	5 суток	100%
мыс Кигилях	1.10	17.10	17-19.10	0...-2 суток	7 суток	100%
пр. Дм. Лаптева	1.10	13.10	10-12.10	+1...3 суток	5 суток	100%
пр. Санникова	4.10	17.10	17-19.10	0...-2 суток	6 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						100%
Восточно-Сибирское						
мыс Шалаурова	30.09	12.10	6-8.10	+4...6 суток	8 суток	100%
о. Четырехстолбовой	4.10	15.10	13-15.10	0...-2 суток	9 суток	100%
мыс Шелагский	6.10	11.10	10-12.10	-1...+1 сутки	8 суток	100%
мыс Биллингса	3.10	13.10	3-5.10	+8...10 суток	10 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						100%
Чукотское						
мыс Шмидта	1.10	26.10	3-5.10	+21...23 суток	7 суток	0
о. Врангеля	7.10	30.10	10-12.10	+18...20 суток	6 суток	0
мыс Ванкарем	6.10	29.10	3-5.10	+24...26 суток	8 суток	0
пр. Лонга	10.10	30.10	24-26.10	+4...6 суток	8 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						25%
Общая оправдываемость прогнозов по всем морям				оправдалось	12 прогнозов	75%
				не оправдалось	4 прогноза	

Как следует из приведённых данных, оправдываемость прогнозов по морям Лаптевых и Восточно-Сибирскому составляет 100%. Прогнозы правильно ориентировали на начало ледообразования в конце первой – начале второй декады октября.

В Карском море оправдываемость прогнозов составила 67%. Прогнозы по восточной части моря и подходы к проливу Вилькицкого (о. Русский, мыс Челюскина) полностью оправдались и правильно ориентировали на начало ледообразования в середине первой декады октября (фактически ледообразование наступило 3-5 октября). Не оправдался прогноз по Диксону, где ожидалось ледообразование 11 октября, а фактически оно произошло 20 октября.

В Чукотском море из четырёх разработанных прогнозов оправдался один, и не оправдались три прогноза. Средняя оправдываемость прогнозов составила 25%. Однако, ошибки прогнозов пришлись на ледообразование вдоль чукотского побережья. Прогноз в мористой части пролива Лонга (в судоходной части) оправдался. Прогнозировалось, что ледообразование вдоль чукотского побережья наступит в третьей декаде октября или на 20-25 суток позже нормы. Ледообразование здесь фактически наступило в первой декаде октября.

Такие значительные ошибки прогноза связаны с локальной перестройкой атмосферных процессов над Врангелевским районом в третьей декаде сентября и к выносу остаточных льдов из Восточно-Сибирского моря в Чукотское море, что привело к более раннему ледообразованию. Такая быстрая перестройка атмосферных процессов не могла быть учтена. При этом за узкой полосой ледообразования шириной 20-30 миль, в центральной части пролива Лонга, как и ожидалось, до конца октября сохранялась чистая вода.

Средняя оценка оправдываемости долгосрочных ледовых прогнозов ледообразования в 2021 г. по всем морям составила 75% (12 оправдавшихся прогнозов и 4 не оправдавшихся).

Кроме прогнозов начала ледообразования, были разработаны прогнозы сроков достижения молодым льдом толщины 20-25 см. Это важный показатель, который существенно ограничивает возможность операций во льдах судов низких ледовых классов (Ice1, Ice2 и Ice3). В Карском море достижение этих сроков ожидалось в период 23-31 октября, в море Лаптевых – в период 24-30 октября, в Восточно-Сибирском море – в период 18-22 октября, в Чукотском море – в период 10-14 ноября.

Как следует из приведённых выше сроков, окончание всех морских операций судов низких ледовых классов необходимо было планировать в морях Карском и Лаптевых в третьей декаде октября, в Восточно-Сибирском море в конце второй декады октября, а в юго-западной части Чукотского моря в начале второй декады ноября.

Все долгосрочные ледовые прогнозы были размещены на официальных сайтах АНИИ и Администрации Северного морского пути (АСМП) в открытом доступе.

Краткосрочные прогнозы типов ледовых условий и их оправдываемость

В рамках обеспечения деятельности АСМП в АНИИ была разработана методика краткосрочного прогноза типов ледовых условий. Методика состоит из двух базовых элементов:

- численная модель эволюции ледяного покрова в арктических морях;

- система критериев для определения типа ледовых условий.

Прогностическая численная модель позволяет прогнозировать пространственное распределение основных параметров ледяного покрова (сплочённость, возрастной состав, толщина, дрейф, сжатия, торошение, разрушенность) арктических и замерзающих неарктических морей РФ с заблаговременностью до 5 суток и с временной детализацией от 1 часа до 1 суток. Все версии модели, адаптированные к арктическим морям, получили одобрение Центральной методической комиссии Росгидромета по гидрометеорологическим прогнозам (ЦМКП) в период 2016-2021 гг.

Система критериев для определения типа ледовых условий, будучи составной частью метода долгосрочного прогноза ледовых условий морей СМП, также получила одобрение ЦМКП Росгидромета в период 2016-2019 гг. Эта система логически вытекает из принципов регламентации плавания судов различных ледовых классов. Регламентация определяется следующими документами:

- «Правила классификации и постройки морских судов» [7];
- «Правила плавания в акватории СМП» [8];
- Международный Полярный Кодекс [9].

В этих документах перечислены все требования к судам, осуществляющим ледовое плавание. В РФ ледовые классы судов регламентируются Российским морским регистром судоходства на основе первого документа из вышеприведённого списка. В частности, в нём указаны предельные ледовые условия, в которых могут осуществлять морские операции суда низких ледовых классов (от Ice1 до Arc4). При самостоятельном плавании эти ледовые условия варьируются от мелкобитых разреженных льдов неарктических морей до разреженных однолетних арктических льдов толщиной не более 0,6-0,8 м. Плавание в канале за ледаколом допустимо при толщинах льда от 0,4 до 0,7-1,0 м.

В соответствии с действующими «Правилами плавания в акватории СМП» [8], все суда низких ледовых классов не имеют права находиться на акватории СМП после 15 ноября. Также, согласно Полярному Кодексу [9], наличие гидрометеорологической и ледовой информации на судах, осуществляющих ледовое плавание, обязательно. Таким образом, принята следующая формулировка критериев оценки типа ледовых условий.

Зимний период:

- *тип «Чистая вода»*: полное отсутствие льда на оцениваемой акватории;
- *тип «Лёгкий»*: сумма относительных площадей, занимаемых однолетним средним льдом, однолетним толстым льдом и старым (двухлетним и многолетним) льдом, не превышает 30%;
- *тип «Средний»*: сумма относительных площадей, занимаемых однолетним средним, однолетним толстым и старым (двухлетним и многолетним) льдом, превышает 30%, при этом на долю 1-летних толстых и старых льдов приходится менее 30%;
- *тип «Тяжёлый»*: сумма относительных площадей однолетних толстых и старых льдов превышает 30%.

Летний период:

- *тип «Чистая вода»*: полное отсутствие льда на оцениваемой акватории;
- *тип «Лёгкий»*: относительная площадь, занимаемая льдом сплочённостью 7 баллов и выше, не превышает 30%;
- *тип «Средний»*: относительная площадь, занимаемая льдом сплочённостью 7 баллов и выше, составляет более 30%, но менее 60%;

- тип «Тяжёлый»: относительная площадь, занимаемая льдом сплошностью 7 баллов и выше, составляет более 60%.

Технологически прогноз типа ледовых условий осуществляется путем применения приведенных критериев к результату прогностического модельного расчёта.

До октября 2020 г., когда действовала прежняя редакция «Правил плавания по СМП», типы ледовых условий определялись по 7 крупным районам, где каждый район охватывал половину арктического моря. Такая грубая пространственная детализация нередко приводила к парадоксальным ситуациям. Например, летом 2017 г. в районе «юго-западная часть Карского моря» почти половина акватории (сотни тысяч квадратных километров) была свободна ото льда, что фактически давало возможность работать судам низких ледовых классов, однако по району в целом ледовые условия оценивались как «средние», что означало запрет на появление судов низких ледовых классов в данном районе.

В сентябре 2020 г. вступила в силу новая редакция руководящего документа «Правила плавания по Северному морскому пути», и с октября 2020 г. прогнозирование типов ледовых условий осуществляется в соответствии с этим документом. В нём утверждена новая, более детальная «нарезка» регионов, по которым даётся прогноз типов ледовых условий. Вместо прежних 7 крупных районов, установлено 28 районов существенно меньшего размера, что позволило заметно повысить степень пространственной детализации при оценке типов ледовых условий (Рис. 8).

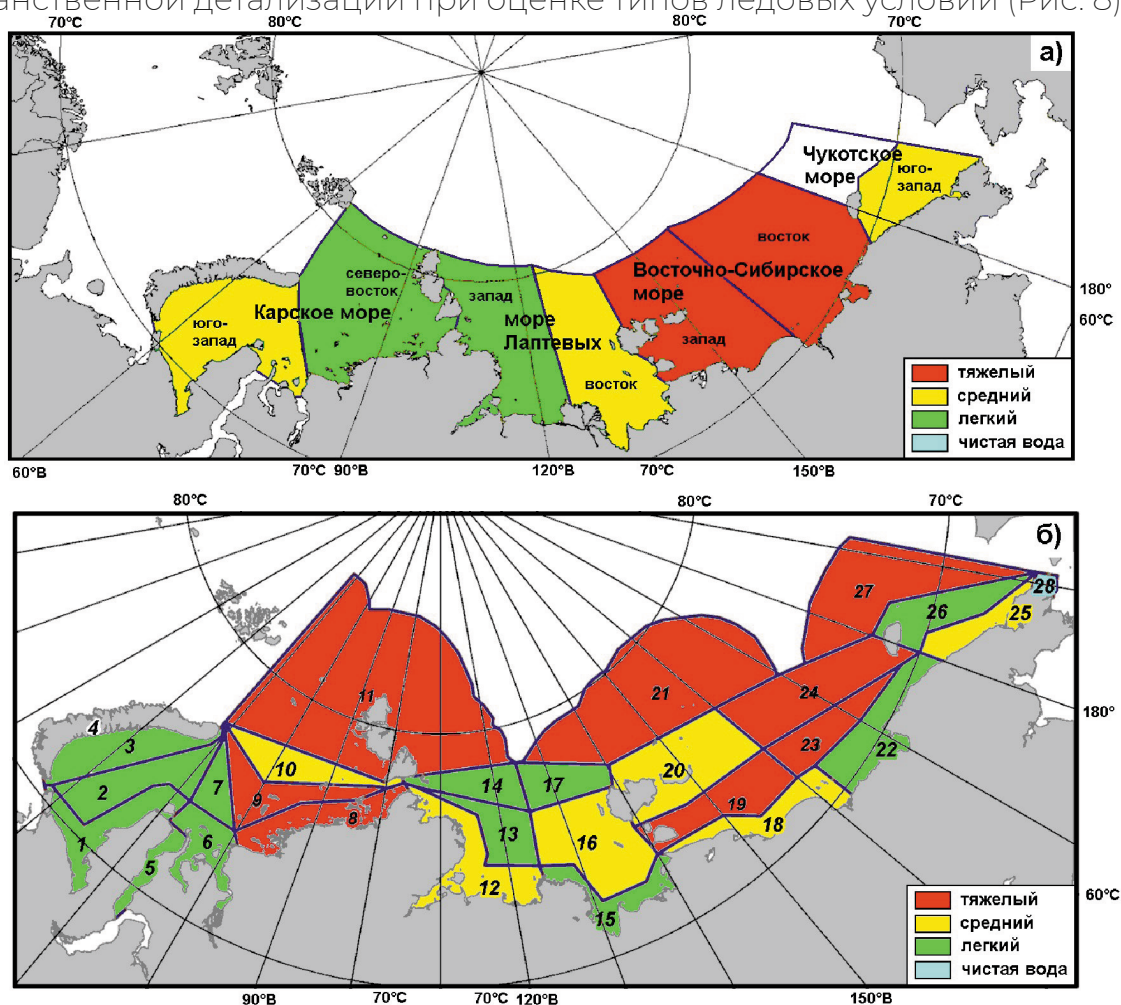


Рис. 8. (а) – Прогноз типов ледовых условий в акватории СМП от 20.07.2020 г. на период до 24.07.2020 (7 «крупных» районов по «старой» версии «Правил плавания...»); (б) – Прогноз типов ледовых условий в акватории СМП от 06.07.2021 на период до 09.07.2021 (28 «малых» районов по «новой» версии «Правил плавания...»).

Необходимо учитывать, что тип ледовых условий в районе с фиксированными границами – это осреднённая характеристика, отражающая преобладающий фон ледовых условий в районе в целом. Очевидно, что в отдельных локальных областях и маршрутах плавления ледовые условия могут заметно отличаться от средних по району.

За период с начала октября 2020 по конец октября 2021 г. в общей сложности составлено 99 прогнозов по Карскому морю, 61 прогноз по морю Лаптевых, 72 прогноза по Восточно-Сибирскому морю и 49 прогнозов по Чукотскому морю. Обобщённые результаты этих прогнозов представлены в Табл. 2 и 3.

Анализ оценки достоверности прогнозов типов ледовых условий позволяет сделать следующие выводы:

1. В целом прогностическая модель эволюции ледяного покрова даёт вполне удовлетворительные результаты. Средние арифметические ошибки прогнозов ключевых критериев определения типа ледовых условий в основном исчисляются долями процента (в худших случаях – до 3-4%), средние абсолютные ошибки – в основном в пределах 2-5%.

Таблица 2

Обобщенные оценки достоверности прогнозов типов ледовых условий и ключевых критериев определения типа в зимний период.

Море	Прогноз площади однолетних средних льдов			Прогноз площади однолетних толстых льдов			Прогноз типа
	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Оправд., %
Карское	-0.3	2.4	84.4	-0.2	0.7	97.4	98.2
Лаптевых	-1.6	2.2	91.2	0.0*	0.1*	100.0*	98.2
В.-Сибирское	-1.6	2.2	94.3	0.0*	0.2*	99.6*	97.1
Чукотское	-0.5	0.8	96.3	0.0*	0.2*	100.0*	97.8

* Примечание: оценки достоверности прогнозов площади однолетнего толстого льда в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском получены на незначительном объеме данных и имеют предварительный характер.

Таблица 3

Обобщенные оценки достоверности прогнозов типов ледовых условий и ключевых критериев определения типа в летний период.

Море	Прогноз общей ледовитости			Прогноз площади сплоченных льдов			Прогноз типа
	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Оправд., %
Карское	3.3	4.4	84.8	0.5	2.6	92.1	96.6
Лаптевых	3.2	5.2	84.3	0.4	2.8	90.3	92.3
В.-Сибирское	4.2	5.7	83.4	-0.6	4.2	87.2	95.5
Чукотское	3.9	4.9	85.4	0.1	3.1	94.7	86.4

Обобщённые оценки оправдываемости прогнозов ключевых критериев определения типа в основном варьируются в пределах 85-95%, оправдываемости прогнозов типа - 90-95%. Прогнозы смены типа в большинстве случаев адекватны. Но даже в тех случаях, когда прогноз смены типа неудачный, ошибки прогноза ключевых критериев в среднем либо находятся в пределах допуска, либо превышают предельно допустимые значения не более, чем на 2-4%. Вместе с тем, в прогностической модели эволюции ледяного покрова присутствует незначительная систематическая ошибка: в летний сезон модель завышает ледовитость в среднем на 3-4%, в зимний сезон – занижает площадь однолетних средних льдов в среднем на 0,5-1,5%. По этой причине ошибки прогноза смены типа ледовых условий, когда «по прогнозу – смена, по факту – сохранение» встречаются примерно в 2 раза реже, чем ошибки «по прогнозу – сохранение, по факту – смена».

2. Используемые в настоящее время критерии определения типов ледовых условий в целом адекватно отражают диапазон изменчивости ключевых параметров ледяного покрова, оказывающих наибольшее воздействие на судоходство. Однако следует отметить, что эти критерии не учитывают ряд параметров ледяного покрова, также имеющих большое значение для судоходства: дрейф и сжатия льдов, нарушения сплошности, торосистость, разрушенность. Включение этих параметров ледяного покрова в систему критериев определения типа ледовых условий является весьма актуальной задачей.
3. Переход от определения типов по 7 крупным районам к 28 районам меньшего размера позволил представлять ледовые условия с гораздо более высокой степенью пространственной детализации. Однако, как представляется, определение типов ледовых условий по районам с фиксированными границами не является единственным возможным вариантом. Было бы целесообразно рассмотреть и другие подходы: определение типов ледовых условий на стандартных вариантах плавания, в ячейках расчётной сетки модели, и другие варианты.

Заключение

В летний и осенний период 2021 г. отмечались лёгкие ледовые условия по сравнению со среднемноголетними значениями. Однако интенсивное нарастание льдов во второй половине ноября и возникновение сжатий среди остаточных льдов привело к значительным сложностям безледокольного плавания, особенно для судов низких ледовых классов.

В целом долгосрочные ледовые прогнозы заблаговременностью 1-3 месяца правильно ориентировали потребителей на более поздние сроки ледообразования, меньшие аномалии ожидалось в северо-восточной части Карского моря и в восточной части Восточно-Сибирского моря, где наблюдались остаточные льды. Средняя оценка оправдываемости долгосрочных прогнозов ледообразования в 2021 г. по всем морям составила 75%.

Необходимо отметить, что при плавании во льдах (особенно в позднеосенний период), кроме общей фоновой информации об ожидаемых тенденциях развития ледовых процессов и ожидаемом типе ледовых условий в целом по одному из 28 районов, целесообразно заказывать у

АНИИ (головной организации Росгидромета по Арктике) специализированное ледовое и гидрометеорологическое обеспечение. Это позволит получать судоводителям комплекс детализированной информации – аннотированный спутниковый снимок, фактическое и прогностическое распределение ледяного покрова, прогноз дрейфа и сжатия льдов, рекомендации по оптимальным вариантам плавания. Такая рекомендация зафиксирована и в международном документе Полярном Кодексе [9].

Список литературы:

1. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М.: Изд-во ИГ-СОЦИН, 2017. 640с.
2. Третьяков В.Ю., Фролов С.В., Сарафанов М.И. Изменчивость ледовых условий плавания по трассам Северного морского пути за период 1997–2018 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Т. 65. № 3. с. 328–340.
3. Юлин А.В, Тимофеева А.Б., Павлова Е.А., Шаратунова М.В., Хотченков С.В. Межгодовая и сезонная изменчивость ледовитости российских арктических морей в современном климатическом периоде // Труды ГОИН. 2019. № 220. С 44–60.
4. Егоров А.Г. Летняя кромка льдов и осенние сроки устойчивого ледообразования в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском в период 1981-2018 гг. Снег и лед, том 61, №1, 2021, с. 117-127.
5. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. / Под ред. Е.У. Миронова – СПб. Изд. АНИИ. 2010, 320 с.
6. РД 52.27.759-2011 «Наставление по службе прогнозов, раздел 3, часть III, Служба морских гидрологических прогнозов». М. 2011.
7. Правила классификации и постройки морских судов. Часть 1. Классификация, Российский морской регистр судоходства. Санкт-Петербург, 2016, 32 С. ISBN 978-5-89331-302-4
8. Правила плавания в акватории Северного морского пути. Постановление Правительства Российской Федерации №1487 от 18.09.2020 г., 11 С.
9. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). Резолюции Комитета по защите морской среды Международной морской организации № МЕРС.385(94) от 21 ноября 2014 и № МЕРС.264(68) от 15 мая 2015. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 26.12.2017, № 0001201712260021.

References:

1. Dumanskaya I.O. Ledovye usloviya morej aziatskoj chasti Rossii. M.: Izd-vo IG-SOCIN, 2017. 640 p.
2. Tret'yakov V.YU., Frolov S.V., Sarafanov M.I. Izmenchivost' ledovyh uslovij plavaniya po trassam Severnogo morskogo puti za period 1997–2018 gg. // Problemy Arktiki I Antarktiki. 2019. V.65. № 3. p. 328–340.
3. Yulin A.V, Timofeeva A.B., Pavlova E.A., SHaratunova M.V., Hotchenkov S.V. Mezhhodovaya I sezonnaya izmenchivost' ledovitosti rossijskih arkticheskikh morej v sovremennom klimaticheskom periode // Trudy GOIN. 2019. № 220. p. 44–60.
4. Egorov A.G. Letnyaya kromka l'dov i osennie sroki ustojchivogo ledoobrazovaniya v moryah Laptevyh, Vostochno-Sibirskom I Chukotskom v period 1981-2018 gg. // Snegi led, v. 61, №1, 2021, p. 117-127.
5. Opasnye ledovye yavleniya dly asudohodstva v Arktike. / Ed. E.U. Mironov – SPb. Izd. AANII. 2010, 320 p.
6. RD 52.27.759-2011 «Nastavlenie posluzhbe prognozov, razdel 3, chast' III, Sluzhba morskikh gidrologicheskikh prognozov». M. 2011.
7. Pravila klassifikaciii postrojki morskikh sudov. Chast' 1. Klassifikaciya, Rossijskij morskoy registr sudohodstva. Sankt-Peterburg, 2016, 32 S. ISBN 978-5-89331-302-4.
8. Pravila plavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii №1487 ot 18.09.2020 g., 11 p.
9. Mezhdunarodnyj kodeks dlya sudov, ekspluatiruyushchih v polyarnyh vodah (Polyarnyjkodeks). RezolyuciiKomitetapozashchitemorskogsredyMezhdunarodnoj morskojorganizacii № МЕРС.385(94) ot 21 noyabrya 2014 i № МЕРС.264(68) ot 15 maya 2015. Oficial'nyj internet-portal pravovojinformacii www.pravo.gov.ru, 26.12.2017, № 0001201712260021.