

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИПАЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

канд. геогр. наук В.П.КАРКЛИН, канд. геогр. наук И.Д.КАРЕЛИН,
канд. геогр. наук А.В.ЮЛИН, мл. науч. сотр. Е.А.УСОЛЬЦЕВА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: karklin@aari.ru, icefor@aari.ru

Вследствие отсутствия регулярных наблюдений за припаем в период до начала использования спутникового мониторинга ледяного покрова некоторые важные режимные особенности формирования припая моря Лаптевых ранее не были исследованы. В статье приведено сезонное положение границ припая в море с момента его образования до максимального развития, которое может наблюдаться с различной степенью повторяемости в любой из зимних месяцев с февраля по май. Припай в море Лаптевых формируется в условиях преобладания отжимных ветровых потоков, и ежегодное его разрастание происходит не постепенно, а «скачкообразно» или «ступенчато», и его площадь и ширина в течение нескольких дней могут увеличиться в несколько раз. Дано объяснение механизма такой особенности формирования припая.

Ключевые слова: припай, границы припая, площадь и ширина припая, отжимные и нажимные ветры, «ступенчатое» разрастание припая, стамухи.

Припайные (неподвижные, скрепленные с берегом) льды являются характерной особенностью ледового ландшафта арктических морей в зимний период. Припай образуется вдоль всего материкового и островного побережий арктических морей.

Наблюдения за припаем начались со времени создания сети полярных станций в Арктике (в 1930-х гг.). Данные наблюдений полярных станций явились основными для исследования режимных характеристик припайных льдов, таких как сроки образования и разрушения припая, нарастание его толщины. Недостаток сведений о распространении припайных льдов вследствие ограниченности пространств, обозреваемых с пунктов ледовых наблюдений полярных станций, восполнялся данными визуальных ледовых авиационных разведок в открытом море. Ледовые авиационные разведки были основным средством наблюдения за распространением припая, положением его границ и определения таких характеристик припайного льда, как торосистость, возраст льда, заснеженность, разрушенность и другие [Руководство..., 1981].

Авиационные разведки выполнялись начиная с конца февраля (то есть после окончания полярной ночи) и заканчивались осенью. В течение полярной ночи (конец ноября, декабрь, январь и большая часть февраля) ледовые разведки не производились, и данные о ледовых условиях в открытом море за это время практически отсутствуют или их крайне мало, поэтому особенности распространения припая и положение его границ в эту продолжительную часть зимнего периода не определялись.

Сведения о припае арктических морей содержатся в работах отечественных исследователей [Зубов, 1945; Карелин, 1945, 1949; Гордиенко, 1971; Гудкович и др., 1972; Захаров, 1982; Горбунов и др., 1983; Бородачев, 1998].

Наиболее обстоятельное специальное исследование режима припайных льдов арктических морей выполнено П.А.Гордиенко [Гордиенко, 1971]. Для этого им использованы данные наблюдений на полярных станциях, авиационных ледовых разведок, а также данные экспедиционных исследований за период до 1970 г. В его работе дан анализ влияния гидрографических и гидрометеорологических факторов, участвующих в образовании и разрушении припая, а также приводятся оценки влияния самого припая на навигационные условия плаваний по трассам Северного морского пути.

В работах [Зубов, 1945] и [Гордиенко, 1971] введено понятие припайных зон. Эти зоны характеризуются развитой береговой линией, наличием островов и мелководий, способствующих нагромождению льда в виде стамух, удерживающих припай. Основные зоны с наиболее развитым припаем располагаются в северо-восточной части Карского моря, в восточной части моря Лаптевых и в западной части Восточно-Сибирского моря. Последние две зоны располагаются вокруг Новосибирских островов. Припай этого района – самый мощный, его суммарная площадь в период максимального сезонного развития в среднем достигает около 330000 тыс. км², что составляет более половины суммарной площади припая всех арктических морей сибирского шельфа.

Припайная (южная и юго-восточная) зона моря Лаптевых характеризуется чрезвычайно неровным дном со множеством банок, где глубины не превышают 5 м.

Регулярные наблюдения за припаем в течение всего осенне-зимнего и весеннего периодов стали возможными с началом спутниковой эпохи. Ледовые карты, создаваемые в ААНИИ по данным ИСЗ в масштабе 1:5 000 000, позволяют оценить с декадной дискретностью положение границ припая, его ширину на репрезентативных створах и приращение его площадей за весь период от начала его становления до окончательного разрушения. Обобщенные сведения об этих характеристиках припая в районах арктических морей за период 1980–2011 гг. содержатся в недавно опубликованной работе [Карелин, Карклин, 2012].

В настоящей статье для характеристики особенностей формирования припая в море Лаптевых использованы данные для периода его нарастания (октябрь–май) по данным спутниковых наблюдений за период 1980–2012 гг.

Припай моря Лаптевых является наиболее развитым в арктических морях сибирского шельфа и уступает по площади только припаю Восточно-Сибирского моря. При этом площадь припая в меньшей степени подвержена влиянию межгодовых колебаний гидрометеорологических условий в период его наибольшего развития, чем припай в Восточно-Сибирском и Карском морях. Так, за весь период наблюдений максимальная площадь припая превышает его минимальную площадь в Восточно-Сибирском море в 2,2 раза, в Карском море – в 3,5 раза, а в море Лаптевых – только в 1,2 раза.

В среднем в период максимального сезонного развития припай занимает около 39 % акватории моря Лаптевых. Большая часть припайного льда образуется в восточной части моря (к востоку от 125° в.д.), его площадь составляет около 70 % от общей площади припая в море. Ширина припая вдоль Североземельского архипелага и Таймырского побережья в среднем равна 35 км, что составляет (в пересчете на протяженность побережья) около 38 % от площади припая западной части моря, и, следовательно, 62 % припая этой части моря образуется вдоль южного побережья. Таким образом, в южной и юго-восточной части моря формируется почти 90 % припая моря Лаптевых, что в среднем составляет около 190 тыс. км² (рис. 1).

По данным полярных станций, в среднем через 10–15 суток после начала устойчивого ледообразования припай появляется на мелководьях, в закрытых бухтах и заливах в виде ледяных заберегов. Его образование становится возможным при достижении молодым льдом толщины 5–10 см.

В табл. 1 приведены повторяемости сроков образования припая в прибрежных районах моря Лаптевых. Они определены по времени появления минимальной ширины припая на репрезентативных створах. В масштабе карты 1:5 000 000 определенный таким способом срок (с точностью до декады) является сроком появления устойчивого припая, поскольку его ширина уже составляет не менее 1,5 км. Тем не менее, эта дата позволяет составить представление о пространственно-временном характере начальной стадии формирования припая.

Наиболее раннее становление припая в море Лаптевых наблюдается в третьей декаде сентября вдоль побережий Североземельского архипелага и Таймырского полуострова (табл. 1). Раннее образование припая в этих районах, как правило, связано с наличием не вытаявших за лето льдов Таймырского ледяного массива и, как следствие, ранним началом устойчивого ледообразования, вслед за которым начинает устанавливаться припай. В остальных районах моря припай образуется на чистой воде.

В большинстве районов моря Лаптевых припай начинает образовываться в одной из декад октября (чаще всего в третьей). Поздние сроки в этих районах приходятся на первую половину ноября (табл. 1). Исключения составляют мелководные районы, распресненные речными водами рек Лены и Яны (Ленское взморье и Янский залив). Здесь припай образуется всегда в октябре (преимущественно во второй его декаде).

Таблица 1

Повторяемость сроков образования припая у побережий моря Лаптевых за период 1980–2010 гг.

Районы	Месяцы		
	IX	X	XI
Североземельское побережье	10	72	18
Таймырское побережье	7	86	7
Анабаро-Оленёкское побережье	–	80	20
Ленское взморье	–	100	–
Залив Буор-Хая	–	87	13
Янский залив	–	100	–
Побережье Новосибирских островов	–	87	13

На первой стадии припайные льды образуются при смерзании начальных и молодых видов дрейфующих льдов на прибрежном мелководье глубиной примерно до 5 м, где естественные неровности суши способствуют сцеплению молодых льдов с берегом. По мере увеличения толщины льда, граница припая смещается в открытые районы моря и при средних условиях достигает максимально удаленного от побережий положения в марте–апреле. К этому времени граница припая удаляется от вершины Янского залива в северо-западном направлении на 450 км и на 160–170 км – от вершины Оленёкского залива (рис. 1).

Как можно видеть из рис. 1, наиболее интенсивно припай в море развивается в течение ноября–января, затем его развитие замедляется. В средние годы в марте–апреле припай уже полностью сформирован. Как можно видеть из табл. 2, площадь



Рис. 1. Среднее положение границ припая в море Лаптевых в период его формирования (слева – Североземельское и Таймырское побережья, справа – южная и юго-восточная часть).

Таблица 2

Средние и экстремальные величины площадей припая в море Лаптевых в конце месяцев периода его формирования по данным ИСЗ за 1980–2012 гг., тыс. км²

Месяц	Запад моря			Восток моря			Все море		
	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.
X	11,6	3,4	29,3	19,3	3,9	108,2	30,9	9,3	115,8
XI	26,6	14,4	43,4	54,1	9,8	135,1	80,7	29,8	158,7
XII	37,6	20,9	57,3	100,4	26,3	145,4	138,0	61,8	189,4
I	45,9	33,5	62,4	138,3	100,3	156,0	184,2	153,8	204,7
II	51,8	33,5	63,4	148,5	126,3	159,6	200,4	171,5	219,4
III	57,1	39,4	77,0	150,5	136,8	162,2	207,6	178,8	231,4
IV	59,6	42,2	84,2	151,4	138,0	163,2	210,8	185,8	231,2
V	58,2	44,4	84,0	151,3	143,6	162,2	209,5	193,2	231,1

припая в районах моря к этому времени близка к стабилизации, и его дальнейшее распространение в море прекращается.

При некоторых благоприятных условиях (слабоветрие, спокойное море) площадь припая в начальный период формирования в октябре–ноябре может быть равна его площади при средних условиях формирования или превосходить ее. Это особенно характерно для восточного района моря (табл. 2). Однако, по данным полярных станций, к этому времени толщина молодых льдов в среднем достигает возраста серого, серо-белого (10–15, 15–30 см соответственно). Припай из молодых льдов взламывается даже при незначительных внешних воздействиях (изменения уровня моря, ветра, волнения и зыби). Неустойчивость припая в этот период проявляется в сезонных изменениях стандартного отклонения, величина которого максимальна в ноябре и постепенно уменьшается к январю по мере увеличения площади и устойчивости припая (рис. 2).

Как уже отмечалось выше, в период развития припая моря Лаптевых наиболее устойчив (по сравнению с припаем в других морях) к межгодовым колебаниям ги-

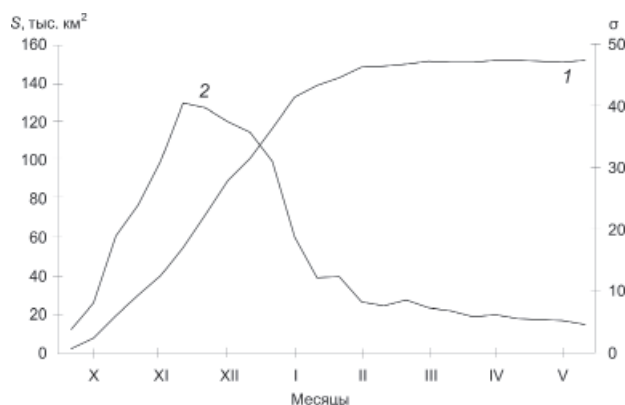


Рис. 2. Изменения средней площади припая в восточной части моря Лаптевых (1) и их стандартного отклонения (2) в период нарастания припая.

дрометеорологических условий. Как можно заключить из табл. 2, в апреле, при достижении максимального развития, превышение экстремальной величины суммарной площади припая в море над средней его величиной составляет около 20 тыс. км², или 10 %, в восточной части моря – около 8 %. Менее устойчив припай в западной части моря, где при средней площади припая, равной 59,6 тыс. км², многолетний размах колебаний составляет 42 тыс. км², или около 70 % от средней величины.

Положение границ припая при различной степени его развития в южных районах моря Лаптевых в конце периода его формирования представлено на рис. 3. На западе и востоке района граница припая при максимальном его развитии смещается в море приблизительно на 170 км относительно границы минимального развития. В центральной части района, между меридианами 125° и 130° в.д., смещение составляет около 75 км. Здесь расширение припая сдерживается увеличением глубин до 30–40 м.

Сопоставление положения границ припая в апреле с батиметрическими условиями в южной части моря Лаптевых показывает, что минимальная граница не выходит

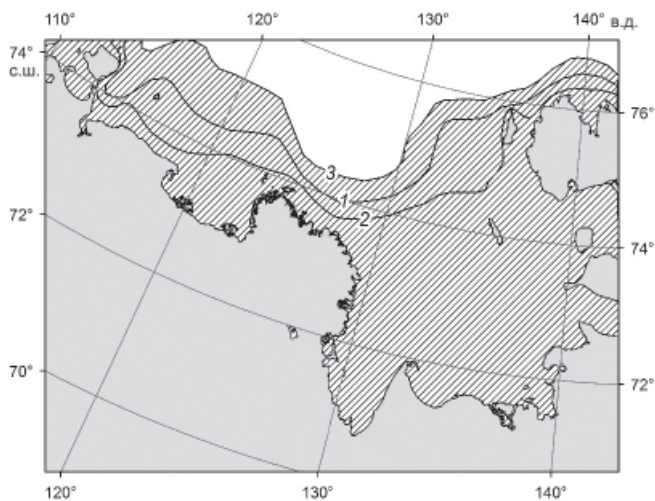


Рис. 3. Положение границ припая в южной и юго-восточной части моря Лаптевых при среднем (1), минимальном (2) и максимальном (3) развитии припая в апреле.

за пределы 10-метровых глубин, пересекая при этом банки и отмели с глубинами от 5 м и менее. Средняя граница припая также в основном проходит по глубинам около 10 м, местами 15 м, и только на востоке, в районе островов Столбовой и Бельковский, глубины увеличиваются до 20 м. Максимальная граница распространения припая не выходит за пределы 20–25-метровых глубин.

Как известно [Карелин, 1945, 1949; Гордиенко, 1971], глубины 20–25 м во всех районах арктических морей являются предельными для распространения припая. Объяснение этому феномену предложено в работе З.М.Гудковича [Гудкович, 1974]. Вследствие трансформации приливной волны в прибрежной зоне при переходе от сизигии к квадратуре амплитуда прилива уменьшается в 2–2,5 раза, и напряжения в ледяном покрове достигают предельных значений в районе изобаты 20–25 м. Кроме того, в мористой зоне припая образуются ослабленные сечения из-за включения в него более молодых льдов, что приводит к частичному отрыву припая при сильных отжимных ветрах. Расчеты показывают, что минимальная толщина льда, способная противостоять ветру скоростью 20 м/с, в арктических морях должна быть не менее 3 м [Гудкович, 1974]. Как известно, лед такой толщины не наблюдается даже в прибрежной зоне. Толщина льда вблизи кромки припая не превышает 1,5–2 м.

Очевидно, что совместное влияние тангенциальных сил ветра и приливо-отливных явлений на припай ограничивает его распространение глубинами 20–25 м.

Вследствие отсутствия регулярных наблюдений за припаем в период до начала использования спутникового мониторинга ледяного покрова некоторые важные режимные особенности его формирования не были исследованы.

В более ранних работах [Карелин, 1945; Гордиенко, 1971] отмечалось, что максимального развития припай в море Лаптевых достигает в мае. Как следует из ежеднеканных данных о площадях припая, рассчитанных на основе наблюдений ИСЗ за последние десятилетия, максимального развития припай может достигнуть с различной степенью повторяемости в любой из зимних месяцев с февраля по май, после чего его площадь не увеличивается (табл. 3). В целом для моря в 80 % случаев максимального развития припай достигает в апреле–мае с почти одинаковой повторяемостью в эти месяцы. В районах моря максимальный припай может сформироваться в любой из четырех месяцев (табл. 3).

Таблица 3

Повторяемость случаев максимального развития припая в море Лаптевых в зимние месяцы 1980–2012 гг., %

Районы моря	Месяцы			
	II	III	IV	V
Восточная часть	18	33	19	30
Западная часть	10	24	33	33
Все море	–	21	42	37

Как показывает анализ сезонного развития припая в море Лаптевых за период 1980–2012 гг., ежегодно его разрастание происходит не постепенно, а «скачкообразно» или «ступенчато», и его площадь и ширина в течение нескольких дней значительно увеличиваются. Особенно это характерно для восточной части моря. Примеры такого развития припая приведены на рис. 4. Таких «ступеней» в течение сезона может быть несколько.

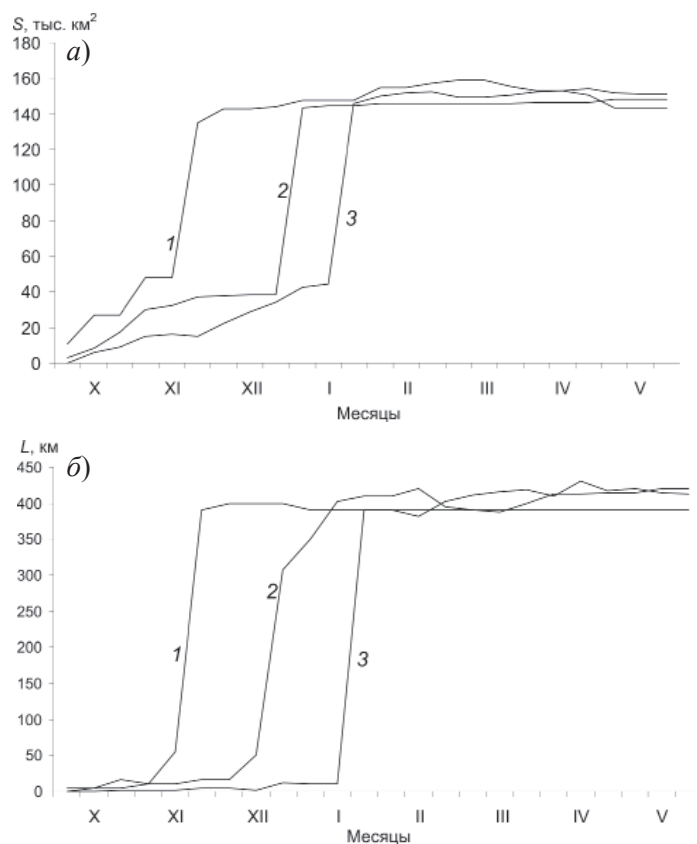


Рис. 4. Изменения площади припая в восточной части моря Лаптевых (а) и его ширины (б) на створе от полуострова Широкостан на северо-запад в различные ледовые сезоны: 1 – 1996/97 г., 2 – 2002/03 г., 3 – 2010/11 г.

Для всех сезонов, приведенных в качестве примеров (рис. 4), в течение декады произошло увеличение площади припая в три и более раз, а его ширины – более чем на 300 км. Такая особенность в развитии припая ранее не отмечалась и нуждается в объяснении.

Известно [Гидрометеорологические условия..., 1986], что с октября по март–апрель большая часть акватории моря Лаптевых находится под влиянием ложбины исландского минимума, тогда как барический режим его восточной части определяет отрог мощного сибирского максимума и западная периферия Арктического антициклона, обуславливающих преобладание воздушных потоков южных направлений. Таким образом, припай в море Лаптевых формируется в условиях преобладания отжимных ветровых потоков, что не должно бы способствовать его развитию. Влияние отжимных ветров на сдерживание развития припая и сокращение его площади отмечалось в ряде работ [Скоков, 1985; Бацких и др., 1987; Юлин, 1997], тем не менее в море Лаптевых образуется один из самых крупных по площади припаев в арктических морях.

В зимний период на акваторию моря Лаптевых выходят 2–3 циклона в месяц [Гидрометеорологические условия..., 1986], с которыми связана быстрая перестрой-

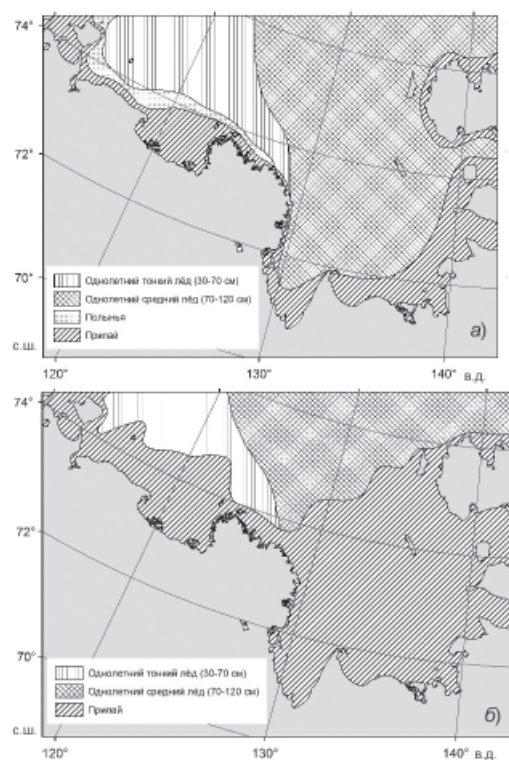


Рис. 5. Ледовые условия в южной и юго-восточной части моря Лаптевых: 22 декабря 2002 г. (а) и 3 января 2003 г. (б).

ка направлений ветра от южных и юго-восточных к северо-западным и северным, которые являются нажимными. Под их влиянием массивы дрейфующих льдов смещаются к границе припая, в результате сильных сжатий происходит их примерзание к ранее образовавшемуся припаю и, как следствие, – «скачкообразное» увеличение площади припая.

При обратной смене ветров на отжимные (южные) направления припай удерживается стамухами, которые образуются на мелководье и банках при дрейфе и подвижках льда и являются своеобразными «якорями», удерживающими припай от разломов. По данным визуальных авиаразведок, стамухи образуются во всей припайной зоне моря Лаптевых [Горбунов, Лосев, 2008].

Для подтверждения приведенного механизма формирования припая в море Лаптевых был выполнен анализ ледовых условий в сезон 2002/03 г., когда в течение третьей декады декабря 2002 г. к началу первой декады января произошло резкое увеличение площади припая и его ширины в восточной части моря (рис. 4).

В конце декабря 2002 г. большую часть акватории южного и юго-восточного района моря Лаптевых занимал массив дрейфующих сплоченных однолетних средних льдов (70–120 см), примыкавший к припаю в Янском заливе и в губе Буор-Хая. В западной части района наблюдалась заприпайная Анабаро-Ленская полынья, мористее которой располагались однолетние тонкие льды (30–70 см). Припай занимал

сравнительно узкую прибрежную зону вдоль всего островного и материкового побережий (рис. 5, слева).

Как показал анализ приземных карт погоды и архива карт однородных циркуляционных периодов (ОЦП), имеющих в отделе долгосрочных метеорологических прогнозов ААНИИ, вследствие перестройки барической ситуации в период с 22 декабря 2002 г. по 3 января 2003 г. наблюдались устойчивые западные, северо-западные и северные ветры, которые обусловили нажимной дрейф льда. В результате этого к 3 января 2003 г. произошло смерзание значительной части дрейфующего льда и примерзание его к кромке предшествующего припая, что привело к значительному, «скачкообразному», увеличению площади припая (рис. 5, справа). Площадь припая с 38,5 тыс. км² увеличилась до 143,3 тыс. км² и в дальнейшем до конца мая почти не изменялась. По данным полярных станций, температура воздуха в этот период составляла около -25°C , толщина однолетнего среднего льда достигла примерно 1 м.

В заключение отметим, что особенности становления и развития припая в море Лаптевых, установленные благодаря данным регулярного спутникового мониторинга ледяного покрова, следует учитывать как при планировании, так и при производстве различного рода работ и экспедиционных исследований на припаяе в зимнее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бацких Ю.М., Бородачев В.Е., Потапов В.Р.* Оценка влияния метеорологических факторов на безопасность проведения грузовых работ на припаяе // Проблемы Арктики и Антарктики. 1987. № 63. С. 102–107.
- Бородачев В.Е.* Льды Карского моря. СПб.: Гидрометеиздат, 1969. 182 с.
- Гордиенко П.А.* Припайные льды арктических морей. Ч. I. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 176 с.
- Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 278 с.
- Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н.* Стамухи моря Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 2 (79). С. 111–116.
- Гудкович З.М.* Воздействие тангенциальных сил ветра и течений на припай // Труды ААНИИ. 1974. Т. 316. С. 96–106.
- Зубов Н.Н.* Льды Арктики. М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. 360 с.
- Карелин Д.Б.* Влияние гидрометеорологических условий на состояние льдов в море Лаптевых. М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. 259 с.
- Карелин Д.Б.* Ледовые условия Восточно-Сибирского моря и методы их предсказания. М.: Изд-во Главсевморпути, 1949. 182 с.
- Карклин В.П., Карелин И.Д.* Сезонная и многолетняя изменчивость характеристик ледового режима морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 187–201.
- Руководство по производству ледовой авиаразведки. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 240 с.
- Скоков Р.М.* К прогнозу взлома припая // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР. 1985. Вып. 270. С. 52–57.
- Юлин А.В.* Сопряженность экстремального развития припая и летних ледовых условий в Восточно-Сибирском море // Труды ААНИИ. 1997. Т. 437. С. 115–123.

V.P.KARKLIN, I.D.KARELIN, A.V.YULIN, E.A.USOLTSEVA

PECULIARITIES OF THE LANDFAST ICE FORMATION IN THE LAPTEV SEA

Due to the absence of regular observations of landfast ice in the period prior to the use of ice cover satellite monitoring, some important features of the Laptev Sea landfast ice formation regime were not investigated. The article presents the seasonal position of the landfast ice boundaries in the sea since its formation to the maximum development which can occur with various degrees of probability in any winter month from February to May. The landfast ice in the Laptev Sea is formed in the prevalence of seaward winds. Its annual growth is not gradual, but “abrupt” or “stepwise.” Its area and width can increase several times within few days. The article explains the mechanism of this peculiarity of the landfast ice formation.

Keywords: landfast ice, landfast ice boundary, the area and the width of the landfast ice, coastward and seaward winds, “stepwise” increase of the landfast ice, stamukha.