

## ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

*С.В. ХОТЧЕНКОВ*

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

С использованием электронных ледовых карт ААНИИ за 1997–2017 гг. с декадной дискретностью рассчитаны возрастные характеристики льдов в ледяном покрове моря Лаптевых в осенне-зимний период. Выявлены различия в формировании возраста (толщины) дрейфующих и припайных льдов, проявляющиеся в более раннем появлении однолетних льдов в припае и в их относительном количестве. В среднем ледяной покров моря Лаптевых в конце периода нарастания на 60 % состоит из однолетних толстых льдов, большая часть которых образуется в припае — 38 %, при этом площадь дрейфующих льдов в 1,5 раза больше.

*Ключевые слова:* море Лаптевых, возраст (толщина) льда, дрейфующий лед, припай.

### ВВЕДЕНИЕ

Для исследования и освоения арктического шельфа оказалось необходимым знание ледового режима арктических морей не только в летний период, когда происходит разрушение ледяного покрова, но и в осенне-зимний период его формирования. В настоящее время в зимний период в море Лаптевых нефтегазовыми компаниями проводятся ледово-гидрологические и метеорологические исследования на припайных и дрейфующих льдах. Припай моря используется для решения транспортных и логистических задач.

Общие сведения о зимнем ледовом режиме моря Лаптевых получены в период визуальных авиационных ледовых разведок до начала 1990-х гг., которые производились с февраля по май один раз в месяц по стандартным маршрутам с последующей интерполяцией ледовых характеристик по акватории моря. Дополнительные сведения о состоянии ледяного покрова предоставляли наблюдения в районах полярных станций.

Использование спутниковых данных позволило получать пространственное распределение ледовых характеристик с дискретностью 7–10 суток (при необходимости и чаще) в течение всего периода формирования ледяного покрова. Эти данные существенно расширили имеющиеся представления о формировании припая, заприпайных полыней. Создание электронных ледовых карт и их анализ с помощью ГИС-технологий позволили регулярно оценивать количество льдов различного возраста в период формирования ледяного покрова, что важно при отсутствии прямых измерений толщины льда в море.

Приведенные в статье результаты характеризуют состояние льдов в море Лаптевых в период происходящего в Арктике потепления и существенно дополняют режимные характеристики ледяного покрова в осенне-зимнее время, полученные ранее в «холодный» климатический период (Карелин, 1946; Гордиенко, 1971; Гудкович и др., 1972).

## КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОВОГО РЕЖИМА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Почти девять месяцев (октябрь–июнь) ледяной покров полностью покрывает море Лаптевых. Ледяной покров состоит из дрейфующих и припайных льдов. В период его формирования западная и северная части акватории моря находятся под воздействием ложбины исландского минимума. В это же время погодные условия в юго-восточных и восточных районах моря определяются отрогом мощного Сибирского антициклона и западной периферией Арктического антициклона. Море Лаптевых свободно сообщается с Арктическим бассейном, и вследствие особенностей атмосферной циркуляции дрейфующие льды через северную границу моря выносятся в Арктический бассейн. При этом вынос льдов из моря Лаптевых максимальный среди морей сибирского шельфа (Гудкович и др., 1972).

*Ледообразование и нарастание льда.* В конце августа — начале сентября на севере моря среди остаточных льдов (не вытаявших летом) начинается устойчивое ледообразование, которое постепенно распространяется к югу на центральные и прибрежные районы моря свободные ото льдов. В первых числах октября процессы ледообразования распространяются на южные прибрежные районы западной части моря, и в среднем 5–7 октября замерзает район вблизи дельты реки Лены, до этого времени оставшийся свободным от первичных видов льда (рис. 1). Таким образом, в среднем все море замерзает в течение одного месяца.

В то время как процессы ледообразования распространяются в южные районы моря, в его северных и центральных районах происходит интенсивное нарастание толщины льда. В соответствии с распространением процесса ледообразования в море характерно зональное распределение льдов различного возраста (толщины), ориентированное в юго-восточном направлении. Как видно из рис. 2 (см. цвет. вклейку), в конце октября большая часть юго-восточного района моря занята низовыми и серыми льдами (5–15 см), северо-западнее располагается обширная

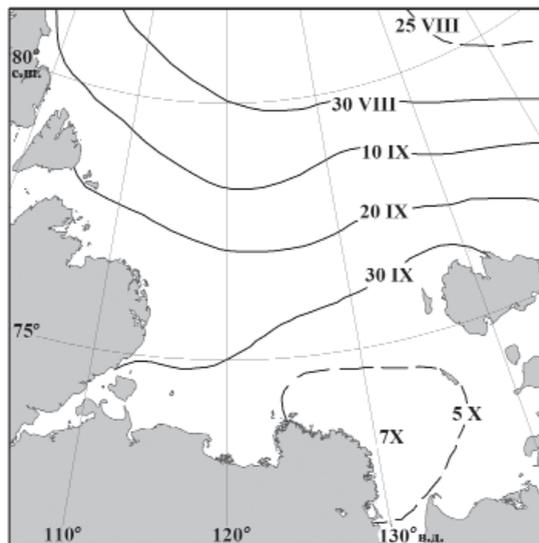


Рис. 1. Изохроны средних сроков устойчивого ледообразования в море Лаптевых.

зона серо-белых льдов (15–30 см). Еще севернее этой зоны образовались однолетние тонкие льды (30–70 см), которые к этому времени занимают около 12 % акватории моря, и начинают образовываться однолетние средние льды (70–120 см). В крайнем северо-западном районе моря сохраняется небольшое количество (около 5 %) остаточных льдов, которые позже переходят в стадию двухлетних льдов (рис. 2 цвет. вклейки).

*Припай.* По данным полярных станций, в среднем через 10–15 суток после начала устойчивого ледообразования на мелководьях, в закрытых бухтах и заливах в виде ледяных заберегов появляется припай. Его образование становится возможным при достижении молодым льдом толщины 5–10 см. В большинстве районов моря Лаптевых припай начинает образовываться в одной из декад октября (чаще всего в конце октября).

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, чем припай в Восточно-Сибирском и Карском морях. Этому способствуют особенности припайной зоны моря, характеризующейся неровным дном со множеством банок в южной и юго-восточной его частях, где глубины не превышают 5 м. При дрейфе и подвижках льда на мелководьях образуются стамухи, и при нарастании припая они оказываются включенными в припайный лед и являются своеобразными «якорями», удерживающими припай от разломов при смене направлений ветров. Припай в этих районах простирается в море на сотни километров. Положение границ припая в южных районах моря Лаптевых при различной степени его развития по данным работы (Карклин и др., 2013) представлено на рис. 3.

Припай вдоль архипелага Северная Земля и Таймырского полуострова развит значительно слабее. Его ширина в среднем составляет около 35 км.

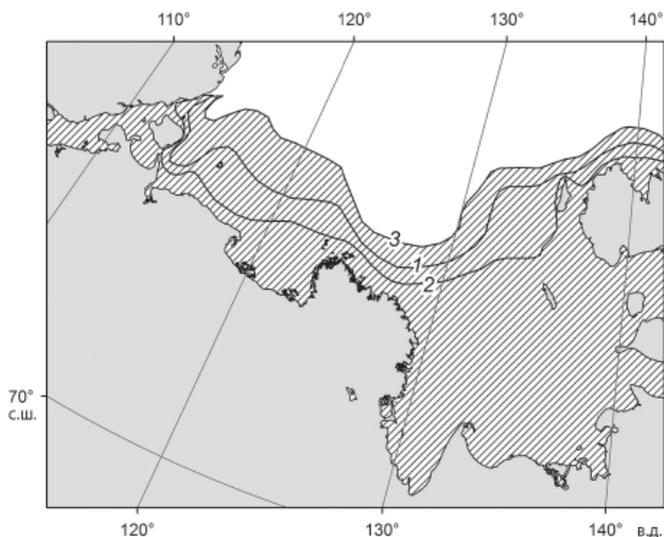


Рис. 3. Положение границ припая в южной и юго-восточной части моря Лаптевых при среднем (1), минимальном (2) и максимальном (3) развитии.

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. В среднем площадь припая в море Лаптевых достигает около 210 тыс. км<sup>2</sup>, при максимальном развитии — около 230 тыс. км<sup>2</sup> (Карелин, Карклин, 2012; Карклин и др., 2013).

По данным полярных станций, припай в море Лаптевых достигает толщины 180–200 см, иногда — 220–250 см.

*Дрейфующие льды.* Припай распространяется в открытые районы моря до 20–25-метровых глубин, в зависимости от его площади в период максимального распространения, дрейфующие льды занимают от 57 до 61 % площади моря (536 тыс. км<sup>2</sup>).

В зимний период дрейфующие льды состоят в основном из полей размерами 500–2000 м, а также полей сморозей, образующих большие ледяные поля длиной 5–10 км.

В зимнее время, благодаря преобладанию воздушных потоков южных направлений (Гидрометеорологические условия..., 1986), которые усиливают Новосибирское течение, дрейфующие льды выносятся из моря в Арктический бассейн, где соединяются с Трансарктическим дрейфом льдов.

С Восточно-Таймырским течением, наоборот, в море Лаптевых круглый год поступают многолетние льды из Арктического бассейна. С этим же течением в море поступают айсберги, образующиеся у берегов Северной Земли.

Как показывают наблюдения и эмпирические расчеты ледообмена моря Лаптевых с Арктическим бассейном, только за зимнее полугодие (октябрь–март) из моря в Арктический бассейн выносятся в среднем около 280000 км<sup>2</sup> льда, что по площади сравнимо с площадью восточной части моря (Гудкович и др., 1972).

Толщина дрейфующих однолетних льдов составляет 140–180 см. Двухлетние льды, поступающие из Арктического бассейна, достигают толщины 2,0–2,5 м (Романов, 1991).

Льды в море Лаптевых мало всторошены, торосистость их в основном составляет 1–2 балла, местами — 3 балла. Преобладающая высота гряд торосов — 1,0–2,0 м, а отдельных торосов 3–4 м.

К концу периода нарастания ледяного покрова, в мае, около 80 % акватории моря занимают однолетние толстые льды (толщиной более 120 см). В северных районах моря присутствуют двухлетние и многолетние льды, занимающие 4–6 % акватории моря (Гудкович и др., 1972).

*Заприпайные полыньи.* В зимний период при почти постоянном выносе льдов из моря между припаем и дрейфующими льдами образуются полыньи с чистой водой и молодыми льдами (до 30 см). Море Лаптевых отличается от других арктических морей не только развитым припаем, но и устойчивыми заприпайными полыньями.

Полыньи образуются за припаем североземельского, таймырского и южного побережий моря и побережья Новосибирских островов. Полыньи называют по месту их образования. Наиболее устойчивыми из полыней являются Анабаро-Ленская, Западная-Новосибирская и Северная-Новосибирская, располагающаяся к северу от Новосибирских островов. Протяженность этих полыней — сотни километров, ширина в среднем 30–40 км, но может превышать 100 км. В 80 % случаев эти полыньи существуют одновременно, образуя Великую Сибирскую полынью.

Суммарная площадь полыней моря Лаптевых в зимнее время в среднем составляет около 52 тыс. км<sup>2</sup>, что близко к 10 % от площади моря (Карелин, Карклин, 2012).

В период нарастания ледяного покрова полыньи вовлекаются в процесс ледопродуктивности моря. Почти половина (по площади) выносимого из моря льда репродуцируется благодаря полыньям.

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА (ТОЛЩИНЫ) ДРЕЙФУЮЩИХ И ПРИПАЙНЫХ ЛЬДОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Основные результаты обработки электронных ледовых карт за 1997–2017 гг. представлены в таблицах 2 и 3. Следует иметь в виду, что количество льдов разного возраста приведено в таблицах относительно площадей, занимаемых льдами в каждой из декад осенне-зимних месяцев, эти площади изменяются в процессе нарастания ледяного покрова. Характер этих изменений представлен в табл. 1.

Таблица 1

Площади льдов в море Лаптевых в начале месяцев осенне-зимнего периода, %

Характеристика льдов	Месяц							
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Дрейфующие льды	71	94	85	74	67	64	62	62
Припайные льды	2	5	14	25	32	36	37	37

Из табл. 1 видно, что в начале октября припай занимает 2 % площади моря (около 11 тыс. км<sup>2</sup>), дрейфующие льды — около 70 %. Соотношение площадей изменяется по мере нарастания припая и окончательно устанавливается в начале апреля.

*Возраст дрейфующего льда.* В начальный период формирования ледяного покрова вместе с вновь образующимися льдами в море присутствуют остаточные льды, которые не вытаяли в летний период. Чаще всего это льды Таймырского ледяного массива. В начале октября на их долю приходится около 25 % от общего количества дрейфующих льдов. Постепенно остаточные льды переходят в стадию двухлетних льдов, их количество уменьшается вследствие выноса льдов из моря, но в небольшом количестве они сохраняются до конца периода формирования ледяного покрова (табл. 2).

До середины ноября в море преобладают молодые и начальные виды льдов. Их основу составляют серо-белые льды толщиной 10–30 см, максимум которых приходится на первую декаду ноября и составляет около 60 %. Молодые и даже начальные льды присутствуют в море в течение всего периода нарастания ледяного покрова. В основном они постоянно образуются в заприпайных полыньях, а также в трещинах, каналах и развоях, образующихся вследствие дрейфа и постоянных подвижек льда (табл. 2).

Образование однолетних льдов — тонких и средних — начинается с середины октября в северных районах моря. Максимальное количество однолетних тонких льдов приходится на первую декаду декабря и составляет 54 %. При постоянном их переходе в однолетние средние льды они преобладают в ледяном покрове до конца декабря (табл. 2).

С начала января и до конца марта в ледяном покрове преобладают однолетние средние льды. В процессе нарастания толщины льда часть этих льдов постоянно переходит градиацию однолетних толстых льдов толщиной более 120 см. Повышенное содержание однолетних средних льдов сохраняется до конца периода формирова-

Таблица 2

**Сезонные изменения возрастного состава (толщины) дрейфующих льдов в период нарастания ледяного покрова в море Лаптевых по данным за 1997–2017 гг., %**

Месяц	Декада	Начальные виды < 10 см	Молодые льды		Однолетние льды			Старые льды (≥ 200 см)
			Серый (10–15 см)	Серо-белый (15–30 см)	Тонкий (30–70 см)	Средний (70–120 см)	Толстый (≥ 120 см)	
X	1	39,8	18,4	16,7	0,0	0,0	0,0	24,8
	2	33,4	29,1	24,9	0,1	1,9	0,0	10,3
	3	11,4	31,8	38,4	9,8	1,7	0,0	6,5
XI	1	2,0	6,2	59,6	24,9	1,5	0,0	5,6
	2	3,0	1,6	43,9	44,7	1,3	0,0	5,5
	3	3,0	3,6	33,7	53,7	1,8	0,0	4,2
XII	1	3,0	2,1	29,3	54,0	7,5	0,0	4,1
	2	2,3	2,1	29,9	47,0	15,7	0,0	3,1
	3	2,5	3,7	24,1	42,9	25,4	0,0	1,4
I	1	1,8	2,6	22,8	35,2	35,5	0,2	1,9
	2	2,9	2,8	18,8	27,3	46,4	0,7	0,7
	3	2,7	2,4	19,2	22,3	47,6	5,1	0,7
II	1	1,8	3,0	17,4	20,3	48,8	7,9	0,7
	2	2,2	2,1	17,9	20,2	46,7	10,4	0,5
	3	2,4	2,1	18,8	16,7	44,1	15,7	0,3
III	1	1,9	4,4	18,8	14,6	39,2	20,5	0,6
	2	2,8	2,1	19,2	13,3	37,4	24,6	0,5
	3	3,8	1,1	16,1	15,8	34,8	27,8	0,4
IV	1	3,0	1,7	14,8	16,8	31,5	32,0	0,3
	2	3,9	2,0	13,2	16,2	31,7	32,5	0,4
	3	5,3	1,1	13,8	13,7	32,0	34,0	0,1
V	1	3,7	0,7	13,5	14,2	32,0	35,8	0,1
	2	2,4	0,5	11,6	14,8	33,4	36,5	0,1
	3	1,0	0,3	11,4	14,0	35,1	37,8	0,1

ния ледяного покрова и лишь незначительно уступает однолетним толстым льдам, максимальное количество которых достигает почти 38 % от площади моря (табл. 2).

В сумме однолетние льды занимают около 87 % акватории моря Лаптевых. Изменения площадей однолетних дрейфующих льдов с октября по май представлено на рис. 4. На рисунке можно видеть постепенный переход однолетних тонких льдов в средние и средних в толстые и их соотношение в период формирования ледяного покрова.

*Возраст припайного льда.* Вследствие значительной широтной протяженности моря Лаптевых формирование припая несколько растянуто по времени. Раннее становление припая, в третьей декаде сентября, происходит вдоль Североземельского архипелага, в октябре припай распространяется вдоль всего материкового и островного побережий моря (Карелин, Карклин, 2012).

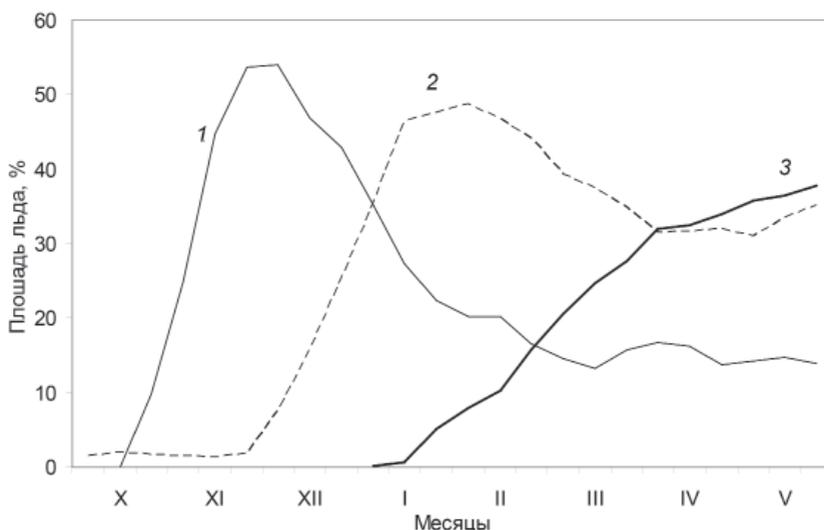


Рис. 4. Сезонные изменения площади (%) дрейфующих однолетних тонких (1), средних (2) и толстых (3) льдов в море Лаптевых по данным 1997–2017 гг.

Как видно из табл. 3, в октябре припай более чем на 90 % состоит из молодых льдов, серых и серо-белых. Появление однолетнего тонкого льда в припае в первой декаде месяца объясняется ранним образованием припая вблизи архипелага Северная Земля.

Таблица 3

**Сезонные изменения возрастного состава (толщины) льдов в припае в период нарастания ледяного покрова в море Лаптевых по данным за 1997–2017 гг., %**

Месяц	Декада	Молодые льды		Однолетние льды		
		Серый (10–15 см)	Серо-белый (15–30 см)	Тонкий (30–70 см)	Средний (70–120 см)	Толстый (> 120 см)
X	1	39,6	54,2	6,2	0,0	0,0
	2	48,4	46,4	5,3	0,0	0,0
	3	5,4	82,8	11,7	0,0	0,0
XI	1	0,3	32,0	67,1	0,0	0,0
	2	0,0	16,0	84,0	0,0	0,0
	3	0,0	8,7	80,1	11,3	0,0
XII	1	0,0	8,3	76,0	16,4	0,0
	2	0,0	0,6	41,9	59,8	0,0
	3	0,0	0,7	31,5	67,9	0,0
I	1	0,0	0,5	13,7	80,7	5,1
	2	0,0	1,0	11,3	72,9	15,3
	3	0,0	0,1	6,9	47,4	47,6
II	1	0,0	0,1	7,6	33,9	57,3
	2	0,0	0,8	5,3	17,3	76,5
	3	0,0	0,3	5,8	9,0	84,9

**Сезонные изменения возрастного состава (толщины) льдов в припае  
в период нарастания ледяного покрова в море Лаптевых по данным за 1997–2017 гг., %**

Месяц	Декада	Молодые льды		Однолетние льды		
		Серый (10–15 см)	Серо-белый (15–30 см)	Тонкий (30–70 см)	Средний (70–120 см)	Толстый ( $\geq$ 120 см)
III	1	0,0	0,1	5,3	8,4	86,2
	2	0,0	0,1	1,5	8,8	89,6
	3	0,0	0,0	1,2	8,2	90,7
IV	1	0,0	0,0	5,3	3,8	90,8
	2	0,0	0,0	4,2	1,8	94,0
	3	0,0	0,0	4,6	1,8	93,8
V	1	0,0	0,0	0,7	5,5	93,8
	2	0,0	0,0	0,1	5,2	94,6
	3	0,0	0,0	0,1	5,4	94,8

Для прибрежной мелководной зоны, в которой формируется припай, характерен сравнительно малый теплозапас вод, поэтому нарастание толщины льда в припае происходит быстрее, чем в дрейфующих льдах (Горбунов и др., 1983). Уже в начале ноября в припае преобладают однолетние тонкие льды, максимальное их количество приходится на вторую-третью декады ноября и составляет 80–84 % (табл. 3).

С третьей декады ноября начинается частичный переход однолетних тонких льдов в однолетние средние льды. Количество этих льдов увеличивается почти до 80 % в начале января и начинает уменьшаться с появлением однолетних толстых льдов. Увеличение количества однолетних толстых льдов происходит довольно быстро

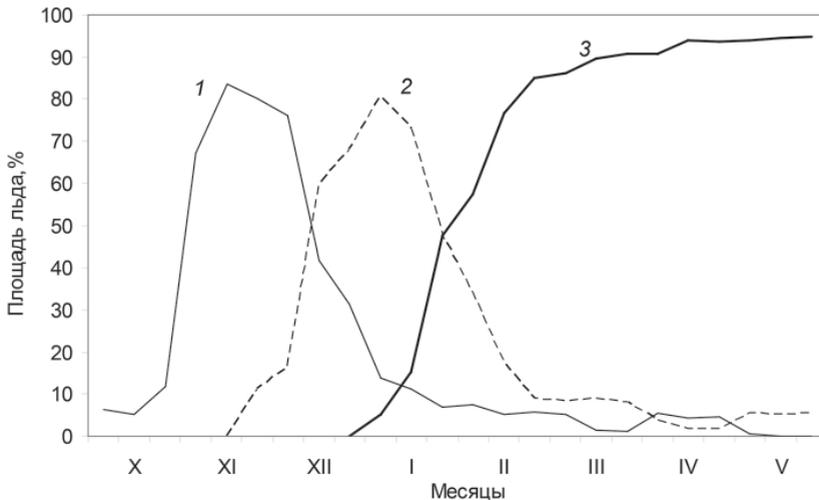


Рис. 5. Сезонные изменения площади (%) однолетних тонких (1), средних (2) и толстых (3) льдов в припае моря Лаптевых по данным 1997–2017 гг.

и к концу февраля достигает 85 %. В дальнейшем скорость перехода в однолетние толстые льды падает, и в течение трех последующих месяцев количество льда достигает 95 % (табл. 3).

Таким образом, припай в конце периода нарастания ледяного покрова в основном состоит из однолетних толстых льдов. Их толщина может достигать более 200 см, как упоминалось в предыдущем разделе.

На рис. 5 наглядно представлены изменения площадей припайных однолетних льдов различного возраста в период формирования припая.

Как показывают результаты совместного анализа дрейфующих и припайных льдов, представленные в табл. 4, в январе и феврале в море преобладают однолетние средние льды, с марта начинается преобладание однолетних толстых льдов. В конце периода нарастания ледяного покрова однолетние толстые льды занимают 60 % акватории моря.

Таблица 4

**Общее количество льдов различного возраста (толщины) в дрейфующих и припайных льдах в море Лаптевых в конце каждого месяца по данным за 1997–2017 гг., %**

Месяц	Начальные виды < 10 см	Молодые льды		Однолетние льды			Старые льды (> 200 см)
		Серый (10–15 см)	Серо-белый (15–30 см)	Тонкий (30–70 см)	Средний (70–120 см)	Толстый (> 120 см)	
X	10,9	30,6	40,3	9,9	1,6	0,0	6,2
XI	2,7	3,2	31,4	56,2	2,7	0,0	3,8
XII	1,9	2,8	18,8	40,3	35,1	0,0	1,1
I	1,9	1,7	13,3	17,6	45,7	19,9	0,5
II	1,9	1,7	13,3	17,6	45,7	19,9	0,5
III	2,4	0,7	10,2	10,5	25,1	50,8	0,3
IV	3,3	0,7	8,6	10,3	20,7	56,4	0,0
V	0,6	0,2	6,8	8,4	23,2	60,2	0,1

В работе (Гудкович и др., 1972) указывается, что в конце периода нарастания ледяного покрова (в мае) в море Лаптевых количество однолетних толстых льдов составляет около 80 %. В работе обобщены визуальные авиационные наблюдения за возрастным составом ледяного покрова за годы с конца 1930-х до начала 1970-х, которые относятся к «холодному» климатическому периоду в Арктике. Они характеризовались более сложными ледовыми условиями (Фролов и др., 2007).

Приведенная в данной статье средняя величина количества однолетних толстых льдов (табл. 4) на 20 % меньше. Эта величина характеризует среднее количество однолетних толстых льдов за 1998–2017 гг., которые относятся к периоду потепления в Арктике с более мягкими ледовыми условиями. Изменения количества однолетних толстых льдов за этот период представлены на рис. 6.

Как можно видеть на рис. 6, количество однолетних толстых льдов в море Лаптевых подвержено значительным межгодовым колебаниям. За период 1998–2017 гг. трижды, в 1998, 2009 и 2010 гг., их количество превышало 70 %. Важно отметить, что

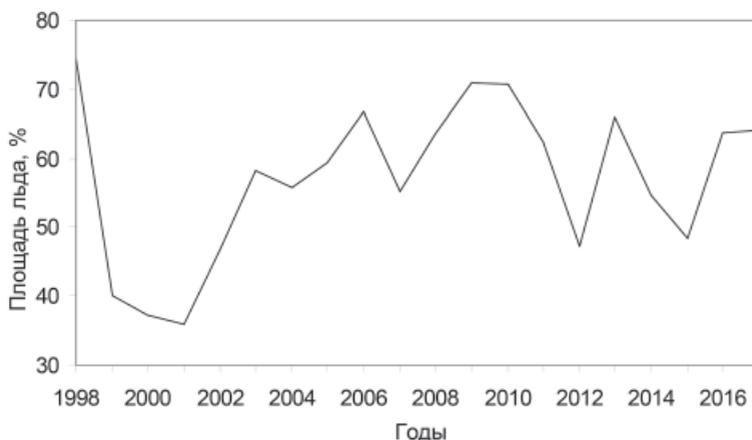


Рис. 6. Изменения количества однолетних толстых льдов (%) в море Лаптевых в конце периода нарастания ледяного покрова по данным за 1998–2017 гг.

в течение этого периода большая часть однолетних толстых льдов формировалась в припае. Как можно заключить из данных табл. 5, хотя площадь дрейфующих льдов в 1,5 раза больше площади припая, количество однолетних толстых льдов в припае более чем в 1,7 раза превышает их количество в дрейфующих льдах.

Таблица 5

**Количество однолетнего толстого льда в дрейфующих и припайных льдах моря Лаптевых в конце периода нарастания ледяного покрова по данным за 1998–2017 гг.**

Характеристика льда	Площадь льда		Количество однолетнего толстого льда	
	тыс. км <sup>2</sup>	%	тыс. км <sup>2</sup>	%
Дрейфующий лед	293	59,7	108,0	22,0
Припайный лед	198	40,3	187,6	38,2
Ледяной покров	491	100	295,6	60,2

## ВЫВОДЫ

Приведенные в статье результаты исследования возрастного состава льда существенно дополняют режимные характеристики ледяного покрова моря Лаптевых в осенне-зимний период.

Благодаря квазистационарным заприпайным полыньям, в море Лаптевых в течение всего периода нарастания ледяного покрова (октябрь–май) в дрейфующих льдах присутствуют молодые (толщиной до 30 см) и начальные (до 10 см) льды, общее количество которых в мае составляет около 13 % от площади моря.

Однолетние льды появляются в дрейфующих льдах почти на месяц позже, чем в припае. При этом самые мощные, однолетние толстые льды (более 120 см) в припае формируются на 4 декады раньше, чем в дрейфующих льдах.

В среднем ледяной покров моря Лаптевых на 60 % состоит из однолетних толстых льдов, большая часть которых образуется в припае — 38 %, при этом площадь дрейфующих льдов в 1,5 раза больше, чем припайных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 278 с.
- Горбунов Ю.А., Карелин И.Д., Кузнецов И.М., Лосев С.М., Соколов А.Л. Основы физико-статистических методов прогнозов и расчетов для арктических морей заблаговременностью до 30 суток. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 288 с.
- Гордиенко П.А. Припайные льды арктических морей. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. Ч. I. 176 с.
- Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 348 с.
- Карелин Д.Б. Влияние гидрометеорологических условий на состояние льдов в море Лаптевых. М.; Л.: Изд. Главсевморпути, 1946. 260 с.
- Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные польньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века. СПб.: ААНИИ, 2012. 180 с.
- Карклин В.П., Карелин И.Д., Юлин А.В., Усольцева Е.А. Особенности формирования припая в море Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 3 (97). С. 5–14.
- Романов И.П. Ледяной покров арктического бассейна. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 212 с.
- Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т. 2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 136 с.

*S.V. HOTCHENKOV*

### STAGES OF SEA ICE DEVELOPMENT IN THE LAPTEV SEA

Variability of the stages of sea ice development in the Laptev Sea is assessed with 10-days periodicity for the autumn — winter period on a basis of AARI digital ice charts for 1997–2017. Difference in formation of the stages of ice development (ice thickness) was revealed between the drifting and fast ice, which is manifested in an earlier appearance of the first-year ice for the fast ice area and in its partial concentration. On average, the ice cover of the Laptev Sea is by 60 % composed of thick first-year ice, most of which is formed within the fast ice area — 38%, while the area of drifting ice is 1,5 times larger.

*Keywords:* Laptev Sea, stage of ice development, ice thickness, drifting ice, fast ice.