

## ОКЕАНОЛОГИЯ

УДК 551.326.1: 551.383. (268.52)

DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-3-229-240

### СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДЯНЫХ МАССИВОВ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

*А.В. ЮЛИН\*, М.В. ШАРАТУНОВА, Е.А. ПАВЛОВА, В.В. ИВАНОВ*

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

*\*icefor@aari.ru*

### SEASONAL AND INTERANNUAL CHANGES OF ICE MASSIFS IN EAST SIBERIAN SEAS

*A.V. YULIN\*, M.V. SHARATUNOVA, E.A. PAVLOVA, V.V. IVANOV*

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

*\*icefor@aari.ru*

*Received June, 7, 2018*

*Accepted August, 14, 2018*

*Keywords:* climatic changes, East Siberian Sea, ice conditions, ice extent, ice massifs.

#### Summary

The paper considers the seasonal and interannual variability of the Novosibirsky and Ayonsky ice massifs of the East Siberian Sea, which represent the main difficulty for navigation during summer.

Analysis of ice conditions showed the tendency towards the onset of a new climatic period - "relative warming". This is consistent with the regional quasi-periodic 30-year alternations between the "relatively cold" and "relatively warm" climatic periods identified in the AARI.

We have compared ice conditions of the "relatively cold" period of 1958–1987 and the "relatively warm" period of 1988–2017. Since the end of the 1980s the ice massifs began to decrease more intensively with the onset of break up some 10–20 days earlier.

In general, the drift ice area during summer has decreased by 15–20 % in the western part of the sea and by 20–30 % in eastern one. The fast decrease of close floating ice in the East Siberian Sea observed in the last decades resulted in increase of the possibilities of autonomous navigation.

The latest works containing the analysis of in conditions of the East Siberian Sea belong to the 90s of last century. In these works ice conditions of the period of the 40–80s of the 20th century were considered. During this period, the background of the ice cover extent was high. As a result, the usage of the average values of ice massifs areas calculated on all observations series (since 1946), is not informative for characterizing ice conditions during separately taken periods.

---

**Citation:** *Yulin A.V., Sharatunova M.V., Pavlova E.A., Ivanov V.V.* Seasonal and interannual changes of ice massifs in East Siberian sea. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64, 3: 229–240. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-3-229-240

---

*Ключевые слова:* Восточно-Сибирское море, климатические изменения, ледовитость моря, ледяные массивы, ледовый режим.

В работе рассмотрены сезонная и межгодовая изменчивости площадей ледяных массивов Восточно-Сибирского моря. Представлены результаты расчетов изменения ледовитости и повторяемости типов развития ледяных массивов в период 60–80-х годов прошлого столетия и за последние десятилетия.

Эти изменения хорошо согласуются с выявленными в ААНИИ квазипериодическими чередованиями «относительно» холодных и «относительно» теплых климатических периодов с продолжительностью около 30 лет.

За последние десятилетия уменьшение ледяных массивов стало происходить более интенсивно. В целом площадь сплоченных льдов в летний сезон уменьшилась на 15–20 % в западной части моря и на 20–30 % в восточной, существенно расширив возможности самостоятельного плавания судов.

### ВВЕДЕНИЕ

Восточно-Сибирское море является одним из наиболее суровых из всех российских арктических морей. Холодные зимы, короткое лето, сильные ветры формируют на акватории моря мощный и торосистый ледяной покров, состоящий из припайных и дрейфующих льдов.

Нарастание ледяного покрова происходит весь зимний период и заканчивается в конце мая. В начале июня под влиянием радиационного тепла в прибрежной зоне на льду появляются снежицы — первые признаки таяния, которые затем распространяются в северные районы моря.

Сформировавшийся к началу таяния ледяной покров (неподвижный и дрейфующий) состоит в основном из однолетних толстых льдов (толщиной более 120 см). Эти льды занимают около 80 % площади западной части моря и около 65 % — восточной.

В среднем около 12 % в западной и около 30 % в восточной части моря занимают старые льды (двухлетние и многолетние), которые поступают в море из Арктического бассейна и наблюдаются в северной части моря. Незначительная часть ледяного покрова представлена более молодыми по возрасту однолетними тонкими (толщиной 30–70 см) и средними (толщиной 70–120 см) льдами, которые образуются в течение зимнего периода в зонах заприпайных полыней.

Особую сложность для плавания судов в летний период представляют сплоченные льды, или ледяные массивы. Ледяными массивами называются квазистационарные скопления сплоченных льдов (сплоченностью в 7–10 баллов), которые локализируются в определенных районах моря и имеют важное навигационное значение для обеспечения безопасного судоходства [1].

Долгосрочный прогноз сезонного хода площади массивов, краткосрочный прогноз распределения сплоченных льдов по акватории, навигационные рекомендации являются наиболее востребованной информацией для планирования и проведения летней навигации. Разработка прогнозов, режимных справок и навигационных рекомендаций для плавания невозможна без изучения закономерностей межгодовой и сезонной изменчивости ледяных массивов в динамично меняющейся природной среде.

В работе рассмотрены данные из постоянно пополняемого архива по ледовитостям и площадям ледяных массивов отдела ледового режима и прогнозов ААНИИ. Архив содержит сведения о распределении льдов в течение всего года

(карты ледяного покрова), а также количественные оценки ледовитости и площади ледяных массивов. Материалы носят выборочный характер начиная с 30-х гг. прошлого столетия и регулярный характер начиная с середины 40-х гг. прошлого столетия. С середины 1940-х гг. наблюдения за ледовыми условиями в арктических российских морях стали регулярными и площадными, благодаря выполняемым ледовым авиационным разведкам. С конца 1970-х гг. ледовые авиаразведки заменили спутниковые наблюдения. Таким образом, анализируется непрерывный ряд наблюдений за состоянием ледяных массивов Восточно-Сибирского моря, за каждую декаду летнего периода с июля по октябрь, с 1946 по 2017 г. (длина рядов наблюдений составляет 72 года).

### ЛЕДЯНЫЕ МАССИВЫ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

В Восточно-Сибирском море выделяют два ледяных массива — Новосибирский, занимающий юго-западную часть моря, и Айонский, в восточной части моря. Массивы были так названы по географическому положению — Новосибирские острова в западной части моря и остров Айон в восточной части (рис. 1).

Новосибирский ледяной массив формируется из взломанных припайных однолетних льдов местного образования. Массив занимает юго-западную часть акватории моря площадью 192 тыс. км<sup>2</sup>. В некоторые годы в массиве наблюдаются включения многолетнего льда. В июле–августе льды массива блокируют восточные подходы к проливам Санникова и Дмитрия Лаптева. В большинстве случаев лед в массиве полностью вытаивает в течение августа. В отдельные годы Новосибирский массив бывает соединен с Айонским и может сохраняться до конца периода таяния.

Айонский ледяной массив является отрогом океанического массива, за счет которого он пополняется многолетними льдами. Льды массива располагаются в восточной части Восточно-Сибирского моря площадью 407 тыс. км<sup>2</sup>. В зависимости от положения (западного, центрального или восточного) массив блокирует центральные

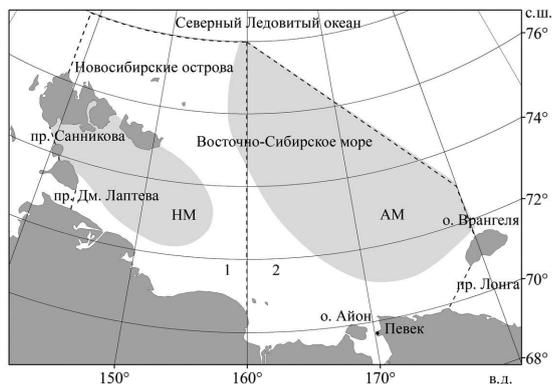


Рис. 1. Положение ледяных массивов в Восточно-Сибирском море в летний период: пунктирная линия — граница моря, 1 — западная часть моря, 2 — восточная часть моря, НМ — Новосибирский ледяной массив, АМ — Айонский ледяной массив

Fig. 1. Position of ice massifs in the East Siberian sea in summer: dashed line — sea border, 1 — western part of the sea, 2 — eastern part of the sea, НМ — the Novosibirsky ice massif, АМ — the Ayonsky ice massif

районы моря или пролив Лонга с запада. Массив формируется из местных однолетних и многолетних льдов, поступающих из Арктического бассейна. Однако с начала 90-х гг. прошлого столетия формирование массива происходило преимущественно из местных однолетних льдов осеннего образования. Массив отличается повышенной мощностью льдов в зимний период и пониженной их разрушенностью в летний период. В среднем около 40–50 % льдов массива остаются не вытаявшими к началу нового ледообразования (то есть около половины акватории моря занято сплоченными льдами).

До конца 1980-х гг. участок трассы Северного морского пути в восточной части Восточно-Сибирского моря считался одним из наиболее сложных из-за сплоченных льдов Айонского ледяного массива, которые часто блокировали прибрежный район плавания. Именно здесь в 1983 г. произошла гибель теплохода «Нина Сагайдак» в результате тяжелых ледовых условий и сжатий льдов [2].

С конца 80-х гг. прошлого столетия ледовые условия Восточно-Сибирского моря существенно изменились. Чаще стали наблюдаться легкие ледовые условия. Первое anomальное сокращение льдов в море в летний период произошло в 1990 г. В летний период 1990 г. впервые за многолетний ряд наблюдений (с 1946 г.) акватория моря практически полностью очистилась от дрейфующих льдов [3]. Формированию крупных аномалий ледовых условий начали уделять больше внимания [4]. Однако вскоре стало понятно, что anomальные проявления и увеличение повторяемости легких ледовых условий в летний период — это не случайное совпадение крупномасштабных гидрометеорологических условий, а тенденция, свидетельствующая о наступлении нового климатического периода «относительного» потепления [5].

Накопленные с середины 1940-х гг. наблюдения позволили установить, что межгодовые колебания ледовитости в период с конца 50-х до конца 80-х гг. прошлого столетия существенно отличаются от колебаний, происходящих в период с начала 1990-х гг. по настоящее время.

Эти изменения хорошо согласуются с выявленными в ААНИИ квазипериодическими чередованиями «относительно» холодных и «относительно» теплых климатических периодов с продолжительностью около 30 лет [4, 5, 6].

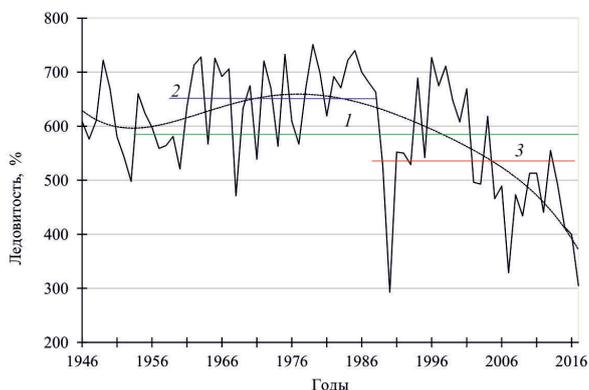


Рис. 2. Межгодовые изменения суммарной ледовитости за летний период (июль–август) в Восточно-Сибирском море

Fig. 2. Interannual changes in total ice cover extent during the summer period (July–August) in the East Siberian sea

На рис. 2 приведен многолетний ход суммарной ледовитости за летний период года (июль–август) Восточно-Сибирского моря за ряд наблюдений с 1946 г. Ход кривой убедительно показывает, что изменения ледовитости в Восточно-Сибирском море с середины 1940-х до конца 1950-х гг., а также с начала 1990-х гг. по настоящее время происходят на пониженном фоне ледовитости, а с конца 1950-х до конца 1980-х гг. — на повышенном фоне ледовитости, что хорошо подтверждает выявленные закономерности.

Последние работы, в которых анализировались ледовые условия Восточно-Сибирского моря, относятся к 1990-м гг. [3, 4]. В этих работах рассматривались ледовые условия периода 40–80-х гг. прошлого столетия, когда фон ледовитости в летний период был повышен. На основе этих данных велся поиск прогностических связей, строились прогностические модели, делались режимные обобщения. Однако за последние несколько десятилетий произошли существенные изменения в летнем ледовом режиме моря. Ледовые условия стали легче, произошло уменьшение ледовитости моря и площадей ледяных массивов, возросла продолжительность безледного периода, изменились условия летнего плавания.

Однако по-прежнему широко используются среднееголетние значения (нормы) и другие статистические характеристики по полному ряду наблюдений для получения различных режимных оценок ледовых условий по морю.

На рис. 3 приведены гистограммы плотности вероятности среднесезонных значений площадей ледяных массивов Восточно-Сибирского моря для августа за весь ряд наблюдений с 1946 г. Из приведенных графиков хорошо видно, что распределение значений площадей очень далеко от нормального, сильно смещено и является, скорее двух- и трехмодальным (рис. 3).

Таким образом, использование статистических характеристик площадей массивов, рассчитанных по всему ряду наблюдений (72 года), для описания ледовых условий в отдельно взятые периоды «относительного» похолодания и «относительного» потепления не совсем информативно. В этом случае целесообразно выявлять средние характеристики для отдельных периодов лет, которые хорошо выделяются на приведенном графике (рис. 2). Это «относительно» холодный период, наблюдавшийся с конца 50-х до конца 80-х гг. прошлого столетия (в дальнейшем просто

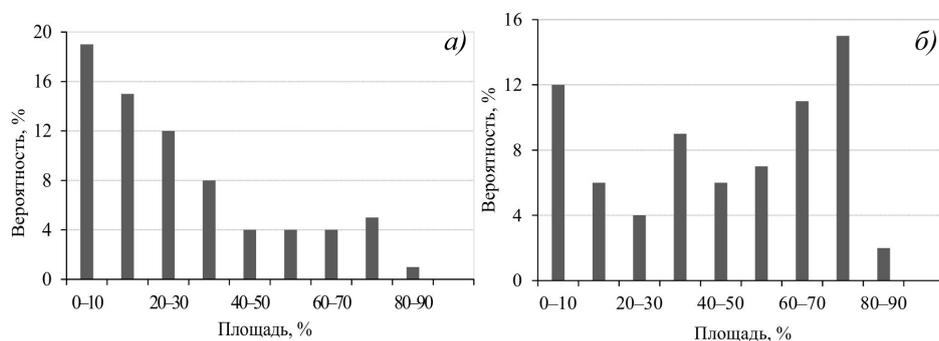


Рис. 3. Плотность вероятности среднесезонных значений площадей Новосибирского (а) и Айонского (б) ледяных массивов

Fig. 3. Probability density of average season values of Novosibirsky (a) and Ayonsky (b) ice massifs areas

«холодный» период) и «относительно» теплый период (в дальнейшем «теплый» период), наблюдающийся с конца 80-х гг. по настоящее время.

### СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДЯНЫХ МАССИВОВ

Основной особенностью сезонной изменчивости площади ледяных массивов является устойчивое уменьшение количества сплоченных льдов в море в течение летнего периода. При этом для Новосибирского ледяного массива, расположенного в мелководной западной части моря, и Айонского массива, в более глубоководной восточной части, уменьшение происходит с разной интенсивностью.

#### Новосибирский ледяной массив

В таблице 1 приведены основные статистические характеристики сезонного хода изменения площади Новосибирского ледяного массива в летний период, рассчитанные для всего ряда наблюдений, а также отдельно для «холодного» и «теплого» периодов.

Для Новосибирского ледяного массива характерно существенное сокращение площади от июля к сентябрю. В среднем площадь массива сокращается на 90 %. В наиболее легкие годы сплоченные льды в западной части моря исчезают уже в третьей декаде июля. В наиболее тяжелые по ледовым условиям годы до 70 % сплоченных льдов может сохраняться до конца летнего периода.

Таблица 1

#### Основные статистические характеристики сезонной изменчивости площади Новосибирского ледяного массива за различные временные периоды, %

Показатели	Месяцы, декады								
	VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Весь ряд наблюдений в период 1946–2017 гг.									
Среднее значение	92	84	65	41	25	16	12	11	10
Минимум	25	16	0	0	0	0	0	0	0
Максимум	100	100	98	98	90	74	71	65	72
Амплитуда	75	84	98	98	90	74	71	65	72
Стандартное отклонение	12	16	24	30	26	21	19	19	18
«Холодный» период 1958–1987 гг.									
Среднее значение	95	89	74	52	36	26	18	18	18
«Теплый» период 1988–2017 гг.									
Среднее значение	88	79	57	29	13	6	5	4	4
Разность между средними значениями в «холодный» и «теплый» периоды									
Разность	–7	–10	–17	–23	–23	–20	–13	–14	–14

Для Новосибирского ледяного массива характерно быстрое сокращение площади в начале лета (конец июня — первая половина июля, с 92 до 65 %), очень быстрое сокращение площади с конца июля и в августе (с 65 до 16 %) и прекращение сокращения площади в течение сентября (площадь массива в течение сентября составляет 10–12 %). Наибольшие значения амплитуды и среднеквадратического отклонения значений площадей приходятся на период вторая половина июля — август (см. табл. 1).

Сезонный ход изменения площади Новосибирского ледяного массива и интенсивность этого изменения приведены на рисунке 4. Нетрудно увидеть, что основ-

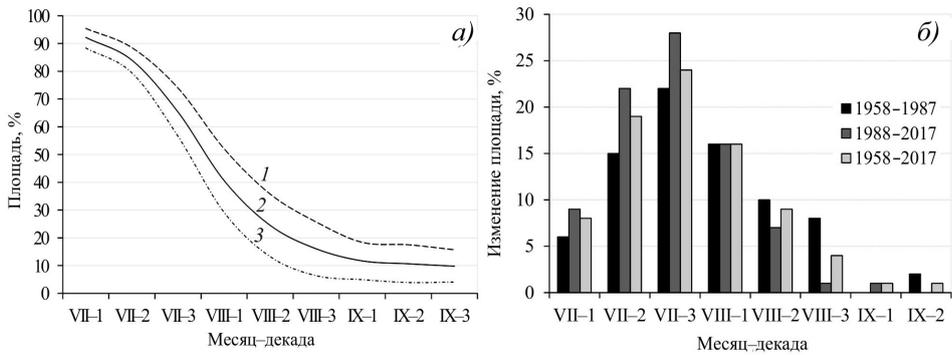


Рис. 4. Сезонный ход (а) и интенсивность изменения (б) средних значений площади Новосибирского ледяного массива в различные климатические периоды: 1 — «холодный», 2 — весь ряд наблюдений, 3 — «теплый»

Fig. 4. The seasonal course (a) and the rate of change (b) in the Novosibirsky ice massif are in different climatic periods: 1 — “cold”, 2 — the whole series of observations, 3 — “warm”

ное сокращение площади ледяного массива происходит в течение июля–августа. В «теплый» период сокращение массива происходит интенсивнее и раньше, чем в среднем за весь ряд наблюдений и, тем более, чем в «холодный» период. В сентябре изменения массива практически заканчиваются для любого климатического периода (см. рис. 4).

Однако при сохранении основных черт в сезонной изменчивости площади массива в «холодный» и «теплый» периоды между ними проявляются существенные различия. Так, в «теплый» период средние значения площадей в каждую из декад летнего периода на 10–20 % меньше, чем в «холодный». Это означает, что за последний 30-летний «теплый» период уменьшение площади Новосибирского ледяного массива стало происходить интенсивнее и раньше на 1–2 декады. Если в «холодный» период площадь массива к сентябрю в среднем сокращалась до 18 %, а вероятность полного исчезновения сплоченных льдов составляла 40 %, то в «теплый» период площадь массива сокращалась в среднем до 5 %, а вероятность полного исчезновения сплоченных льдов увеличилась до 80 %. Разность между оценками средних значений в «холодный» и «теплый» периоды составляет: в начале летнего сезона 7–10 %, в середине сезона 20–23 % и в сентябре снижается до 13–14 % (см. табл. 1).

#### Айонский ледяной массив

В таблице 2 приведены основные статистические характеристики сезонного хода изменения площади Айонского ледяного массива в летний период, рассчитанные для всего ряда наблюдений, а также отдельно для «холодного» и «теплого» периодов.

Для Айонского ледяного массива также характерно значительное уменьшение его площади в течение летнего периода. По оценкам, полученным за весь ряд наблюдений, в среднем площадь массива сокращается на 50 % и более. В наиболее легкие годы сплоченные льды в восточной части моря могут исчезнуть в середине августа. В тяжелые по ледовым условиям годы до 85–90 % сплоченных льдов может сохраняться до конца летнего периода. В тяжелые годы льды массива наблюдаются непосредственно в прибрежной части моря на судоходных трассах и значительно осложняют условия для плавания судов.

**Основные статистические характеристики сезонной изменчивости  
площади Айонского ледяного массива за различные временные периоды, %**

Показатели	Месяцы								
	VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Весь ряд наблюдений в период 1946–2017 гг.									
Среднее значение	91	85	77	67	59	49	44	41	40
Минимум	58	48	21	1	0	0	0	0	0
Максимум	100	98	97	92	91	94	91	85	89
Амплитуда	42	50	76	91	91	94	91	85	89
Стандартное отклонение	9	12	16	22	24	27	27	29	29
«Холодный» период 1958–1987 гг.									
Среднее	93	89	83	75	69	62	58	57	56
«Теплый» период 1988–2017 гг.									
Среднее	88	81	71	59	49	38	30	26	25
Разность между средними значениями в «холодный» и «теплый» периоды									
Разность	-5	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-31	-31

Для Айонского ледяного массива, который формируется из однолетних толстых льдов местного образования и старых льдов в северной части моря, характерно более равномерное уменьшение площади в течение всего летнего периода по сравнению с Новосибирским массивом. Уменьшение площади массива происходит практически одинаково в течение июля–августа (уменьшение в течение июля с 91 до 77 %, или на 14 %, а в августе с 67 до 49 %, или на 18 %). В сентябре наблюдается постепенное прекращение сокращения площади массива (уменьшение в течение сентября с 44 до 40 %, или на 4 %). Наибольшие значения амплитуды приходятся на август — начало сентября, а среднеквадратического отклонения — на сентябрь (см. табл. 2).

Сезонный ход изменения площади Айонского ледяного массива и интенсивность этого изменения приведены на рисунке 5. Если сопоставить кривые, описывающие сезонный ход изменения площади Айонского ледяного массива, то становится очевидным, что в последний 30-летний «теплый» период сокращение массива начало

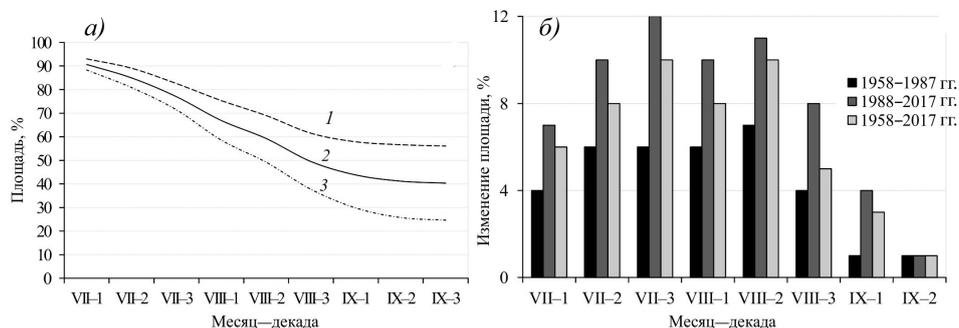


Рис. 5. Сезонный ход (а) и интенсивность изменения (б) площади Айонского ледяного массива в различные климатические периоды: 1 — «холодный», 2 — весь ряд наблюдений, 3 — «теплый»

Fig. 5. The seasonal course (a) and the rate of change (b) in the Ayonsky ice massif are in different climatic periods: 1 — “cold”, 2 — the whole series of observations, 3 — “warm”

происходить с большей интенсивностью и продолжается до начала сентября. Увеличение интенсивности таяния и разрушений льдов в последний 30-летний «теплый» период привело к более существенному сокращению площади массива (в сентябре площадь массива составляет 25–30 %) по сравнению с «холодным» периодом (площадь массива в сентябре составляет 56–58 %) (см. рис. 5).

Однако при сохранении основных черт в сезонной изменчивости площади массива в «холодный» и «теплый» периоды проявляются существенные различия. Так, в «теплый» период средние значения площадей в каждую из декад летнего периода на 10–30 % меньше, чем в «холодный». Это означает, что в последний 30-летний «теплый» период уменьшение площади Айонского ледяного массива стало происходить гораздо интенсивнее и ранее на 1–2 декады.

Например, сокращение площади массива до 60 %, когда вся прибрежная часть моря становится свободной от сплоченных льдов, в «теплый» период в среднем происходит в первой декаде августа, а в «холодный» период только в третьей декаде августа. Если в «холодный» период площадь массива к сентябрю в среднем сокращалась до 56–58 %, а полного исчезновения сплоченных льдов не наблюдалось, то в «теплый» период площадь массива сокращалась в среднем до 25–30 %, а вероятность полного исчезновения сплоченных льдов увеличилась до 20 %. Разность между оценками средних значений в «холодный» и «теплый» периоды составляет: в начале летнего сезона 5–12 %, в середине сезона 16–24 % и в сентябре увеличивается до 28–31 % (см. табл. 2).

### ПОВТОРЯЕМОСТЬ ТИПОВ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В РАЗЛИЧНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ

Для оценки сложности гидрометеорологических и ледовых условий принято использовать упрощенное, но хорошо зарекомендовавшее себя разделение ряда наблюдений на три типа, соответствующие легким, средним и тяжелым условиям. В данной работе за критерий типизации принята величина, равная  $0,8\sigma$ , где  $\sigma$  величина среднего квадратичного отклонения. Эта величина общепринята в гидрометеорологии. В частности, она в соответствии с «Наставлением по службе прогнозов» рекомендована в качестве допустимой ошибки в долгосрочных ледовых прогнозах, поскольку позволяет выделить действительно значимые отклонения от среднего или от прогнозируемой величины. Поэтому ее часто используют для установления

Таблица 3

#### Количество лет ( $N$ ) с различными типами развития ледяных массивов и их повторяемость ( $P$ , %) в Восточно-Сибирском море в «холодный» и «теплый» климатические периоды

Годы климатических периодов	Длина ряда	Тип развития массива					
		Тяжелый		Легкий		Средний	
		$N$	$P$ , %	$N$	$P$ , %	$N$	$P$ , %
<i>Новосибирский массив</i>							
«Холодный» период 1958–1987 гг.	30	13	43	5	17	12	40
«Теплый» период 1988–2017 гг.	30	1	3	14	47	15	50
<i>Айонский массив</i>							
«Холодный» период 1958–1987 гг.	30	15	50	2	7	13	43
«Теплый» период 1988–2017 гг.	30	5	17	10	33	15	50

границы аномалий, по которой могут выделяться отдельные группы (типы). К среднему типу условий отнесены годы, для которых величина нормированной аномалии площадей массивов находится в диапазоне  $\pm 0,8\sigma$ , к тяжелому типу — годы с положительными аномалиями, равными или большими  $0,8\sigma$ , к легкому типу — годы с отрицательными аномалиями, равными или меньшими  $-0,8\sigma$  [8].

Для оценки изменчивости типов ледовых условий был выполнен анализ повторяемости выделенных типов в различные климатические периоды. Результаты представлены в таблице 3.

Как следует из табл. 3, как в «холодный», так и в «теплый» климатические периоды преобладает повторяемость среднего типа развития площадей ледяных массивов, которая составляет 40–50 %.

Характерной особенностью повторяемости различных типов ледовых условий является появление как крупных положительных, так и отрицательных аномалий площадей ледяных массивов во всех климатических периодах. Однако повторяемость их в разные климатические периоды различна.

Для «холодного» периода характерна высокая повторяемость тяжелого типа развития площадей массивов и малая повторяемость легкого типа. Повторяемость тяжелого типа составляет 43 % для Новосибирского ледяного массива и 50 % для Айонского. В этот же период повторяемость реализации легкого типа развития площадей массивов составляет соответственно только 7 и 17 % (см. табл. 3).

В годы «теплого» периода наблюдается обратное соотношение. Преобладают крупные отрицательные аномалии среднемесячных площадей ледяных массивов. Повторяемость легкого типа составляет 47 % для Новосибирского ледяного массива и 33 % для Айонского. Повторяемость реализации тяжелого типа развития площадей массивов была значительно ниже и составила соответственно только 3–17 % (см. табл. 3).

Если оценивать повторяемость реализации типов ледовых условий за весь 60-летний ряд наблюдений, то оценка даст осредненный результат. Повторяемость среднего типа останется такой же высокой и составит 45–55 %, а повторяемость «легкого» и «тяжелого» типов составит около 20–25 %, то есть будет приблизительно одинаковой.

Таким образом, по результатам выполненного исследования становится очевидным, что развитие ледяных массивов, повторяемость реализации легких, средних и тяжелых типов ледовых условий в Восточно-Сибирском море в «холодный» и «теплый» климатические периоды существенно различаются. Эти различия необходимо обязательно учитывать при описании ледового режима, разработке среднесрочных и долгосрочных ледовых прогнозов, построении сценариев развития ледовых условий для морских операций.

Если при прогностической и оперативной работе ориентироваться на статистические оценки и повторяемость реализации различных типов ледовых условий для всего ряда наблюдений, то это может приводить к неверным заниженным (для «холодного» периода) или завышенным (для «теплого» периода) оценкам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие ледяных массивов, повторяемость реализации легких, средних и тяжелых типов ледовых условий в Восточно-Сибирском море в «холодный» и «теплый» климатические периоды существенно различаются.

Для каждого климатического периода наблюдается характерный сезонный ход изменений ледовых условий, повторяемость полного очищения ото льдов, величина остаточной ледовитости и целый набор других характеристик. Среднемноголетние характеристики, рассчитанные по всему ряду наблюдений, не совсем точно отражают особенности развития ледовых условий в Восточно-Сибирском море в конкретном климатическом периоде.

Не вдаваясь в споры об ожидаемые климатических изменениях ледовых условий в арктических морях России, идущих с неухающей силой, можно однозначно утверждать, что, как бы ни развивались ледовые условия — необратимо по варианту дальнейшего потепления или циклически, с переходом к очередному «холодному» циклу, для оценки ледовых условий в Восточно-Сибирском море необходимо учитывать особенности развития ледяных массивов, характерные для каждого климатического цикла.

Выявленные различия в сезонной изменчивости ледяных массивов Восточно-Сибирского моря могут быть использованы в оперативной и прогностической работе по обеспечению плавания судов на трассе СМП.

**Благодарности.** Статья подготовлена по результатам проектов «Исследование гидрометеорологических процессов в Мировом океане, морях и устьях рек России, Арктике и Антарктике» ЦНТП Росгидромета.

**Acknowledgments.** The article was prepared based on the results of the projects “Study of hydrometeorological processes in the world ocean, seas and estuaries of Russia, Arctic and Antarctic» of the Roshydromet CSTP.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карклин В.П., Юлин А.В., Шаратунова М.В., Мочнова Л.П. Климатическая изменчивость ледяных массивов Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 4 (114). С. 37–46.
2. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е.У. Миронова. СПб.: ААНИИ, 2010. 320 с.
3. Юлин А.В., Ковалев Е.Г. Формирование экстремальных ледовых условий в Восточно-Сибирском море в летний период 1990 г. // Труды ААНИИ. 1994. Т. 432. С. 5–17.
4. Юлин А.В., Бабко О.И. Особенности развития крупных аномалий площадей ледяных массивов Восточно-Сибирского моря в летний период // Труды ААНИИ. 1994. Т. 432. С. 17–28.
5. Карклин В.П., Юлин А.В., Карелин И.Д., Иванов В.В. Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 5–11.

#### REFERENCES

1. Karklin V.P., Yulin A.V., Sharatunova M.V., Mochnova L.P. Climate variability of the Kara sea ice massifs. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of Arctic and Antarctic. 2017, 4 (114): 37–46. [In Russian].
2. *Opasnye ledovye javlenija dlja sudohodstva v Arktike*. Dangerous ice conditions for shipping in the Arctic. E.U. Mironov eds. St. Petersburg: AARI, 2010: 320 p. [In Russian].
3. Kovalev E.G., Yulin A.V. Formation of Extreme Ice Conditions in the East Siberian Sea in Summer 1990. *Trudy AANII*. Proc. AARI. 1994, 432: 5–17. [In Russian].
4. Yulin A.V., Babko O.I. Features of development of large anomalies of ice massifs areas in East Siberian sea during a summer. *Trudy AANII*. Proc. AARI. 1994, 432: 17–28. [In Russian].
5. Karklin V.P., Yulin A.V., Karelin I.D., Ivanov V.V. Climatic fluctuations of ice cover extent in the Siberian shelf Arctic seas. *Trudy AANII*. Proc. AARI. 2001, 443: 5–11. [In Russian].

6. 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.
7. Frolov I., Gudkovich Z., Karklin V., Kovalev E. Smolyanitsky V. Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas. Centennial Ice Cover Observations. Praxis Publishing Ltd. UK, Chichester, 2009. 164 p.
8. Юлин А.В., Бровин А.И. К вопросу о выделении градаций аномальности в рядах гидрометеорологических элементов // Труды ААНИИ. 1990. Т. 423. С. 84–88.
6. Frolov I.E., Gudkovich Z., Karklin V., Kovalev E. Smolyanitsky V. *Nauchnye issledovanija v Arktike. V. 2. Klimaticheskie izmenenija ledjanogo pokrova morej Evrazijskogo shel'fa.* Scientific research in the Arctic. V. 2. Climate Change of ice cover extent in Eurasian Arctic Shelf Seas. St. Petersburg: Nauka, 2007: 136 p. [In Russian].
7. Frolov I., Gudkovich Z., Karklin V., Kovalev E. Smolyanitsky V. Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas. Centennial Ice Cover Observations. Praxis Publishing Ltd. UK, Chichester, 2009: 164 p.
8. A.V. Yulin, A.I. Brovin. On the issue of the allocation of gradation anomalies in the series of hydrometeorological elements. *Trudy AANII.* Proc. AARI. 1990, 423: 84–88. [In Russian].