УДК: 551.467.3(265.53) **DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-441-449**

В.А. Романюк[1], В.М. Пищальник[2], Д.В. Зарубина[3]

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ЛЕДОВИТОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ АВИАЦИОННЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования изменчивости ледовитости Охотского моря за период 1961–2020 гг. На основе данных авиационных и спутниковых наблюдений впервые выполнены расчеты аномалий ледовитости Охотского моря для двух непересекающихся стандартных климатических норм 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. Статистический анализ позволил количественно оценить изменения, произошедшие на фоне современного потепления климата. Общая тенденция снижения значений ледовитости Охотского моря за период с 1961 по 2020 гг. составляет 3 % за 10 лет, а размах колебаний достигает около 40 %. Отмечено, что для стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. характерно снижение значения средней за сезон ледовитости относительно нормы 1961–1991 гг. на 10 %. Дата наступления сезонного максимума значения ледовитости моря в условиях глобальной тенденции увеличения температуры воздуха сместилась на одну декаду раньше даты, которая была определена для периода 1961–1990 гг. (5 и 15 марта, соответственно). На фазе интенсивного ледообразования отмечается запаздывание развития ледовых процессов на 10 сут., а на фазе разрушения – опережает на 15 сут. Показано, что изменения во внутрисезонном ходе ледовитости Охотского моря, произошедшие в последние 30 лет, наиболее существенно проявляются на фазе разрушения ледяного покрова. В многолетнем ходе аномалий ледовитости, рассчитанных относительно стандартной климатической нормы 1991–2020 гг., начиная с 2004 г. наблюдается увеличение повторяемости отрицательных аномалий (до 81 %), что свидетельствует об однонаправленном развитии процесса уменьшения ледовитости Охотского моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ледовитость, ГИС, тенденции, климатические нормы, Охотское море

[1] ООО «СахалинНИПИ нефти и газа», ул. Амурская, д. 53, 693000, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail:* **varomanyuk2020@gmail.com**

[2] Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки, д. 1б, 693022, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail:* **vpishchalnik@gmail.com**

[3] Сахалинский государственный университет, Ленина, 290, 693000, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail:* **dariadorofeyeva26@gmail.com**

Valery A. Romanyuk[1], Vladimir M. Pishchalnik[2], Daria V. Zarubina[3]

ANALYSIS OF THE ICE COVER VARIATIONS IN THE ARCTIC SEA OF OKHOTSK BASED ON AIRCRAFT AND SATELLITE OBSERVATIONS

ABSTRACT

The paper presents the results of a study of the Sea of Okhotsk ice cover variability for the period 1961–2020. Based on aviation and satellite observations for the first time, the calculations of anomalies in the Sea of Okhotsk ice cover were performed for two non-intersecting standard climate normals of 1961–1990 and 1991–2020. Statistical analysis made it possible to quantify the changes that occurred against the background of modern climate warming. The general downward trend in the ice cover of the Sea of Okhotsk for the period from 1961 to 2020 is 3 % per 10 years, and the range of fluctuations reaches about 40 %. It was shown that for the standard climate normal 1991–2020 was characterized by a decrease in the average ice cover for the season by 10 %. The date of the onset of the seasonal maximum of the sea ice coverage in the context of the global trend of increasing air temperature shifted one decade earlier than the date that was determined for the period 1961–1990. (March 5 and 15, respectively). In the phase of intense ice formation, there is a delay in the development of ice processes by 10 days, and in the phase of destruction, it is ahead by 15 days. It is shown that changes in the intraseasonal course of the ice cover in the Sea of Okhotsk that have occurred in the last 30 years are most significantly manifested in the phase of ice cover destruction. In the long-term course of ice coverage anomalies calculated relative to the standard climatic norm of 1991–2020, starting from 2004, there has been a sharp increase in the frequency of negative anomalies (up to 81 %), which indicates a unidirectional development of the process of reducing the ice cover in the Sea of Okhotsk.

KEYWORDS: ice cover, inter-annual fluctuations, GIS, tendencies, climate normals, reference period, the Sea of Okhotsk

ВВЕДЕНИЕ

Для сопоставления результатов долгосрочных изменений параметров окружающей природной среды Всемирная метеорологическая организация (ВМО) рекомендует, начиная с 1901 г., использовать 30-летние временные периоды для расчета стандартных климатических норм. В связи с явно выраженной однонаправленной тенденцией изменения отдельных элементов климатической системы (например, приземной температуры атмосферы), на 16-й сессии ВМО в 2014 г. было принято решение рассчитывать стандартные климатологические нормы каждые 10 лет в начале каждого нового десятилетия. При этом для конкретных целей мониторинга изменения климата в долгосрочной перспективе рекомендовано сохранить период 1961–1990 гг. в качестве базового периода, пока не возникнет неоспоримая научно обоснованная ситуация, требующая его изменения [Комиссия по климатологии, 2017]. В 2020 г. закончился очередной период для расчета стандартной нормы 1991–2020 гг. и, в настоящее время Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA) и многие Европейские страны приступили к обновлению климатических характеристик.

[1] SakhalinNIPI Oil and Gas, Amurskaya str., 53, 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, *e-mail:* **varomanyuk2020@gmail.com**

[2] The Institute of marine Geology and Geophysics FEB RAS, Nauki str., 1b, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, *e-mail:* **vpishchalnik@gmail.com**

[3] Sakhalin State University, Lenina str., 290, 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, *e-mail:* **dariadorofeyeva26@gmail.com**

Климатические изменения, происходящие на Земле, наиболее отчетливо проявляются в замерзающих морях, поскольку реакция ледяного покрова на колебания температуры атмосферы и океана фиксируется значительно быстрее по сравнению с ледниками и многолетней мерзлотой. Таким образом, морской лед является чувствительным индикатором изменений климата. Анализ долгопериодных колебаний средних за сезон значений ледовитости [*Думанская,* 2015*; Пищальник* и др., 2016] позволил установить, что в последние четыре десятилетия происходит интенсивное сокращение площади ледяного покрова Охотского моря. Использование результатов осреднения климатических параметров за последние 30-летние периоды ощутимо влияет на точность прогнозов и процедуру выявления трендов. Целью работы является сравнительный анализ изменения ледовитости Охотского моря за базовый период 1961–1990 гг. и период стандартной климатической нормы 1991–2020 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Период наблюдения за ледяным покровом Охотского моря по способам получения информации о его состоянии условно можно разделить на 3 этапа:

1 этап (1929–1960 гг.) – попутные судовые наблюдения, приведенные к середине каждого зимнего месяца [*Крындин*, 1964];

2 этап (1956–1992 гг.) – регулярные авиационные наблюдения с обязательным определением местоположения кромок льда, приведенные на середину декады. Такие наблюдения выполнялись с ноября по июнь и равномерно покрывали галсами всю заполненную дрейфующим льдом акваторию моря [*Плотников*, 2002; *Якунин,* 2012].

3 этап – спутниковые наблюдения, которые в настоящее время являются основным источником информации о состоянии ледяного покрова. На регулярной основе с помощью пассивных и активных микроволновых устройств такие наблюдения выполняются с начала 1970-х гг. Несомненным достоинством микроволновых наблюдений является регулярность поступления информации, поскольку производство их не зависит от погодных условий: облачности, освещенности и т. д. [*Митник* и др., 2013].

Анализ многолетний изменчивости ледовитости Охотского моря выполнялся на основе данных авиационных и спутниковых наблюдений, приведенных к единой дискретности (5, 15 и 25 число). Значения ледовитости за ледовый сезон рассчитывалась усреднением декадных площадей ледяного массива с декабря по май. Для периода 1971–2020 гг. в качестве исходных данных были использованы спутниковые данные в микроволновом диапазоне спектра, которые Japan Meteorological Agency (JMA) размещает на своем сайте в виде ледовых карт-схем. Площадь ледяного покрова Охотского моря рассчитывалась с помощью разработанного в Сахалинском государственном университете геоинформационного программного комплекса «ЛЕД» [*Минервин* и др., 2015]. Ранее было установлено, что наибольшие разности площади ледяного покрова, рассчитанные на основе авиационных и спутниковых наблюдений для периода с 1971 по 1978 гг. составляют от 7 до 15 %. Средняя разность для периода 1978–1989 гг. – 4 %, а после 1990 г. не превышает 1–2 % от площади ледяного покрова [*Минервин* и др., 2015].

Для корректного проведения сравнительного анализа ледовитость вычислялась как отношение площади, занятой льдом, к площади моря в процентах. Расчеты значений ледовитости производились в границах морей, определенных Главным управлением навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации [Границы океанов и морей, 2000].

Анализ изменчивости временного ряда проводился по аномалиям ледовитости, которые вычислялись относительно стандартных климатических норм 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. [Комиссия по климатологии, 2017]. Многолетний ход аномалий ледовитости оценивался с помощью метода интегральных кривых, которые рассчитывались путем последовательного алгебраического суммирования их величин. Интегральные кривые позволяют выявить наличие и продолжительность циклов во временном ходе исследуемого параметра [*Гирс, Кондратович*, 1978; *Шатилина*, 2014].

Абсолютные межпериодные разности (Ра) средних многолетних значений ледовитости рассчитывались по формуле (1):

$$Ра = Лбi – Лсi, \quad (1)$$

где, Лбi значения ледовитости базового периода 1961–1990 гг. за i декаду; Лсi – значения ледовитости стандартной нормы 1991–2020 гг. за i декаду.

Относительные межпериодные разности (О) средних многолетних значений ледовитости рассчитывались по формуле (2):

$$О = ((Лбi – Лсi) / Лбi) * 100\% \quad (2)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетняя изменчивость ледовитости. За весь исследуемый период с 1961 по 2020 гг. сокращение ледовитости Охотского моря происходило со скоростью ~3 % за 10 лет, при этом ее среднее значение уменьшилось на ~19 % или ~300 тыс. км^2 (рис. 1), что сопоставимо с величиной, полученной в работе [*Пищальник* и др., 2016] для всего временного ряда с 1882 по 2015 гг. Средняя за период 1961–2020 гг. ледовитость составляла 43 %, ее максимальные значения в 1967, 1979 и 2001 гг. достигали 66, 61 и 59 %, соответственно. Наименьшая ледовитость была зафиксирована в 1996 и 2015 гг. со значениями 29 и 27 %, соответственно. Размах межгодовых колебаний ледовитости составлял >39 %. Отдельно стоит отметить, что ледовый сезон 2014–2015 гг. стал самым малоледовитым за всю историю наблюдений за ледяным покровом Охотского моря.

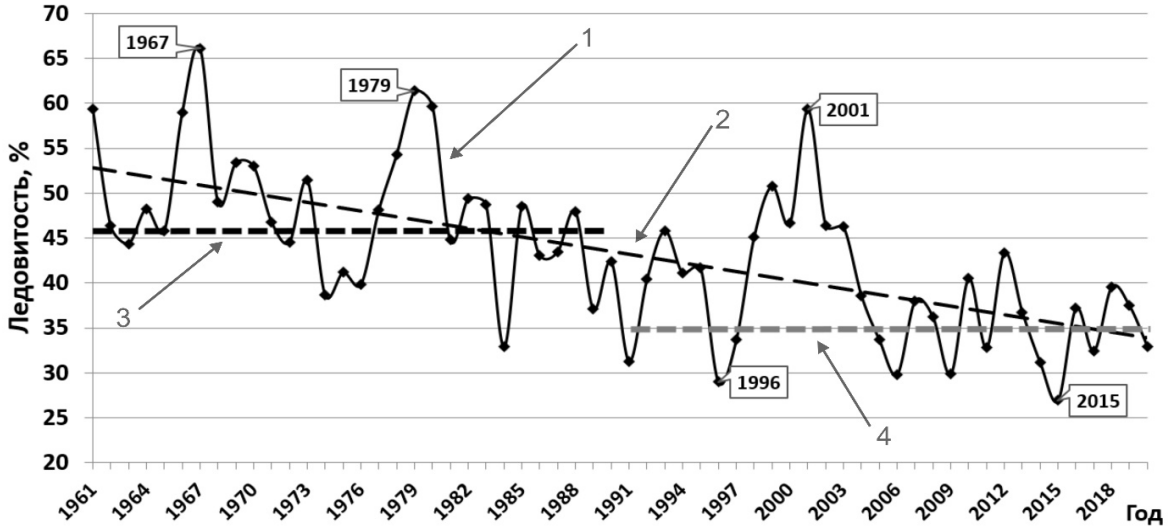

Рис. 1. Многолетняя изменчивость ледовитости Охотского моря с 1961 по 2020 гг. (1), линейный тренд (2), средние значения ледовитости для периода 1961–1990 гг. (3) и 1991-2020 гг. (4)

Fig. 1. Long-term variability of the ice cover in the Sea of Okhotsk from 1961 to 2020 (1), linear trend (2), average ice coverage for the period 1961–1990 (3) and 1991–2020 (4)

Анализ полученных данных позволяет заключить, что среднее значение ледовитости для стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. на 10 % ниже среднего значения, вычисленного для базового периода 1961–1991 гг. Такое уменьшение ледовитости вполне объясняется современными трендами изменения приземной температуры воздуха. По расчетам NOAA среднегодовые значения приповерхностной температуры воздуха в Северном полушарии с 1882 г. увеличились на 1,3 °С. Десятилетие 2011–2020 гг. являлось самым теплым в истории наблюдений с абсолютным максимумом значения аномалии температуры воздуха 1,36 °С в 2020 г. По данным Росгидромета изменение температуры воздуха на Дальнем Востоке России сопоставимо с глобальным трендом изменения температуры, в том числе это относится и к значениям температуры

приземного воздуха в холодный период года в Дальневосточном федеральном округе [Доклад, 2020].

Анализ многолетнего хода аномалий ледовитости относительно базового периода 1961–1990 гг. (рис. 2) определил, что максимальное положительное значение аномалии наблюдалось в 1967 г. (~18 %), отрицательное – в 2015 г. (~21 %). Направление хода интегральной кривой изменилось с начала 1980-х гг. В период с 1981 по 2020 гг. отмечается преобладание их отрицательных значений с повторяемостью 87 %, а скорость сокращения ледовитости по сравнению с периодом 1961–1980 гг. увеличилась с ~0 % до ~3 % за 10 лет.

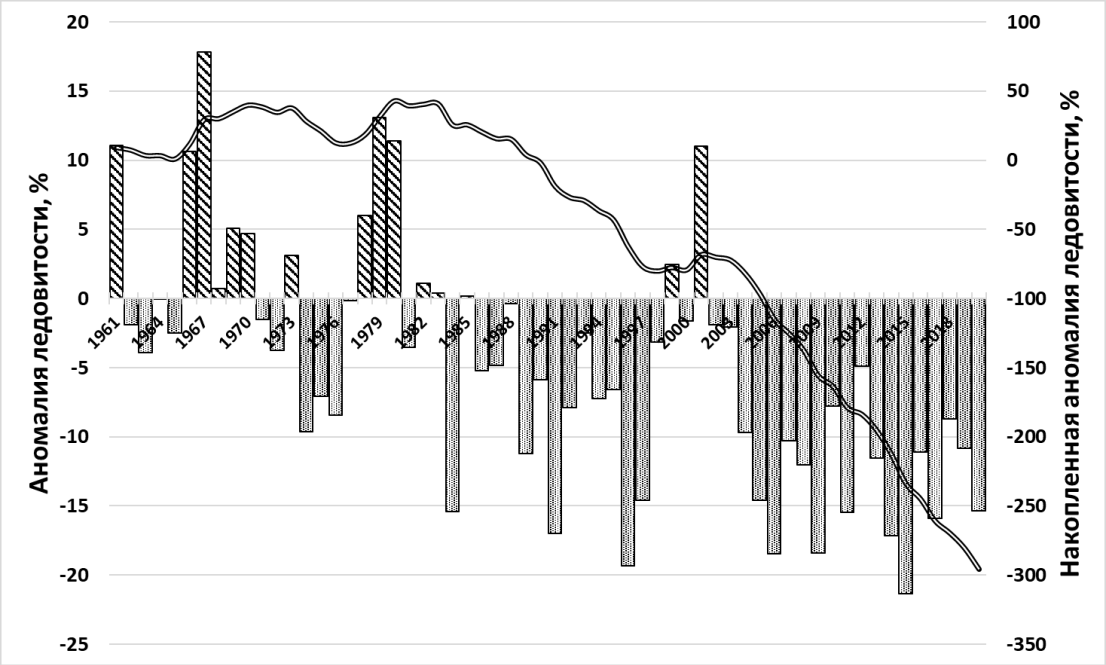

Рис. 2. Многолетний ход аномалий ледовитости и интегральная кривая, рассчитанная для Охотского моря относительно базового периода 1961–1990 гг.
Fig. 2. The long-term course of ice coverage anomalies and the integral curve calculated for the Sea of Okhotsk relative to the base period 1961–1990.

Вид интегральной кривой, построенной на основе многолетнего хода аномалий ледовитости, рассчитанных относительно стандартной климатической нормы 1991–2020 гг., имеет существенные отличия (рис. 3). В период с 1961 по 2004 гг. здесь преобладали положительные аномалии ледовитости (повторяемость 89 %). Максимальное значение положительной аномалии также наблюдалось в 1967 г., но абсолютное ее значение составило ~28 %. Направление хода интегральной кривой изменилось в 2004 г., после чего резко возросла повторяемость отрицательных аномалий (до 81 %). Промежуточный максимум 2004 г. явно выражен на интегральной кривой, построенной на основе базового периода 1961–1990 гг. (см. рис. 2). Кроме того, отмеченный максимум характерен для всех регионов Охотского моря первого иерархического уровня [*Пищальник* и др., 2017]. Данный факт свидетельствует о том, что на всей акватории Охотского моря с 2004 г. происходит однонаправленное развитие процесса уменьшения ледовитости.

Внутрисезонная изменчивость ледовитости. Сезонную эволюцию ледяного покрова в замерзающих морях целесообразно анализировать с учетом фаз его развития (рис. 4). Для решения поставленной задачи в Охотском море согласно изучаемым пространственно-временным масштабам развития ледовых процессов, достаточно разделить ледовый сезон на три равных временных периода: фаза интенсивного ледообразования (декабрь – январь), фаза максимального развития (февраль – март) и фаза разрушения (апрель – май) льда (рис. 5).

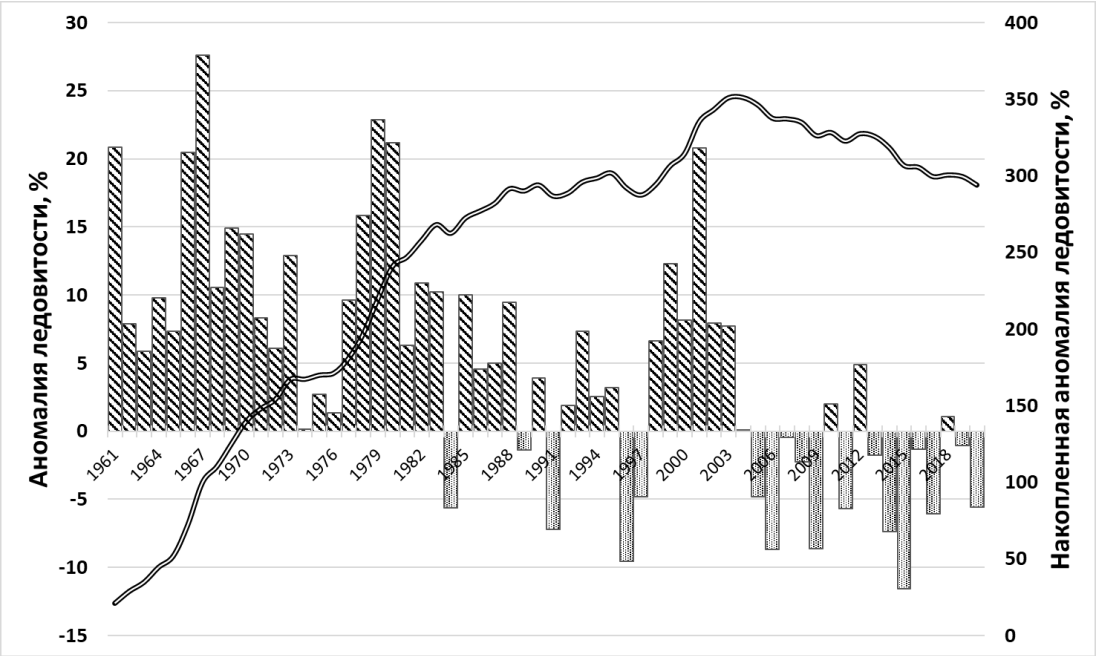

Рис. 3. Многолетний ход аномалий ледовитости и интегральная кривая, рассчитанная для Охотского моря относительно стандартной климатической нормы 1991–2020 гг.
Fig. 3. The long-term course of ice coverage anomalies and the integral curve calculated for the Sea of Okhotsk relative to the standard climatic norm 1991–2020

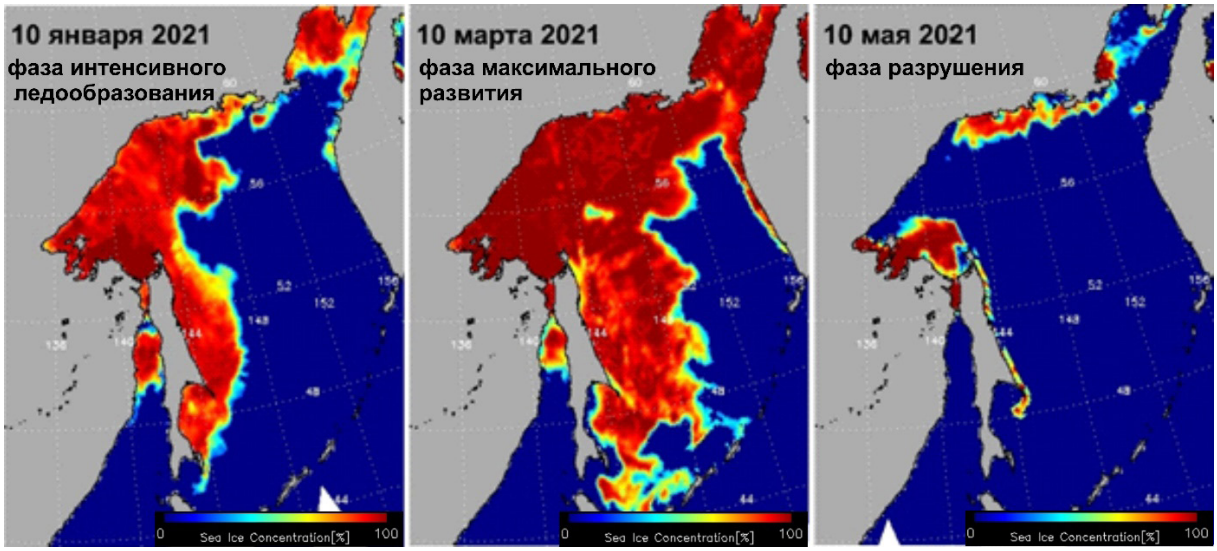

Рис. 4. Концентрация морского льда в основные фазы развития ледовитости Охотского моря (микроволновый диапазон, AMSR2)
Fig. 4. Sea ice concentration during the main phases of ice cover development in the Sea of Okhotsk (microwave band, AMSR2)

Анализ кривых внутрисезонной изменчивости средней ледовитости, рассчитанной для периодов 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг., позволяет заключить, что наибольшие отличия их значений наблюдаются на фазе разрушения ледяного покрова: среднее ~15 % с максимумом 15 апреля ~21 % (табл. 1). Наименьшие различия характерны для фазы интенсивного ледообразования: среднее ~9 % с максимумом 15 января ~14 %. Максимум внутрисезонной кривой для стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. смещен на 10 сут. в сторону более ранних сроков. Даты достижения одинаковых значений ледовитости в середине фаз интенсивного ледообразования и разрушения ледяного покрова также смещены в сторону более ранних сроков на 10 и 15 сут., соответственно. В среднем за период 1991–2020 гг.

значение внутрисезонного максимума ледовитости не поднималось выше 65 %, в то время как в предыдущее тридцатилетие его среднее значение достигало 79 %.

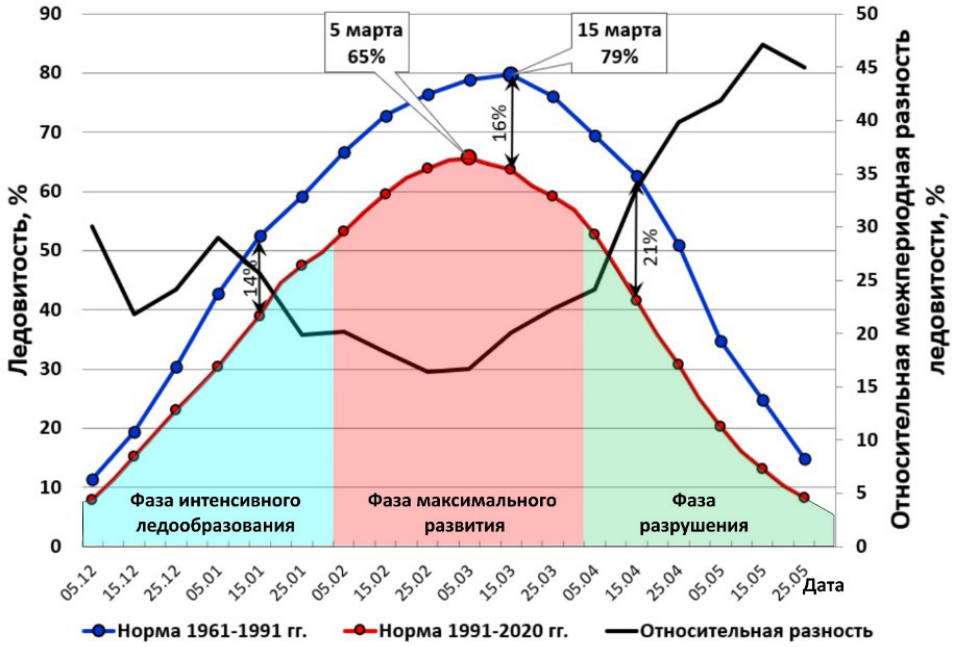

Рис. 5. Среднемноголетняя внутрисезонная изменчивость ледовитости Охотского моря за периоды 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. и их относительная межпериодная разность
Fig. 5. Average long-term intraseasonal variability of the ice cover of the Sea of Okhotsk for the periods 1961–1990. and 1991–2020 and their relative interperiod difference

Табл. 1. Статистические характеристики абсолютной и относительной межпериодной разности средних многолетних значений ледовитости Охотского моря
Table 1. Statistical characteristics of the absolute and relative interperiod differences of mean long-term values of the ice coverage in the Sea of Okhotsk

Фаза	**Абсолютная межпериодная разность, %**			**Относительная межпериодная разность, %**		
	мин	**макс**	**сред**	**мин**	**макс**	**сред**
Интенсивное ледообразование	3	14	**9**	20	30	**25**
Максимальное развитие	13	17	**14**	16	22	**19**
Разрушение	7	21	**15**	24	47	**39**

Кривая относительного отклонения ледовитости в целом является зеркальным отражением внутрисезонной кривой. В относительном выражении в мае среднее значение ледовитости за период 1991–2020 гг. практически в два раза ниже (на 45 %) по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг. Резкие колебания значений относительной межпериодной разности ледовитости в начале и в конце кривой обусловлены разрушением ниласовых и молодых льдов в результате штормовой деятельности на фазе интенсивного ледообразования, а на фазе разрушения – особенностями идентификации методами пассивного микроволнового зондирования редких и разреженных битых льдов высокой степени разрушенности (4–5 баллов) [*Алексеева* и др., 2020].

Таким образом, можно заключить, что в период стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. наиболее существенные изменения ледяного покрова Охотского моря наблюдались на фазе его разрушения. К сожалению, корректно оценить изменение сроков начала ледообразования и окончательного разрушения льда в настоящее время

не представляется возможным в силу их неэквидистантности и отсутствия данных наблюдений, выполненных по единой методике в исследуемый период.

ВЫВОДЫ

1. Выполненный анализ многолетней изменчивости ледовитости Охотского моря на основе данных авиационных и спутниковых наблюдений позволил определить, что скорость уменьшения ледовитости Охотского моря за период 1961–2020 гг. составила ~3 %/10 лет и соответствует уменьшению площади ледяного покрова ~100 тыс. км^2/10 лет. Данный факт является свидетельством климатических изменений, происходящих на Земле, и обусловливает необходимость их более детального изучения.

2. Величина среднесезонной ледовитости, вычисленной для стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. на ~10 % ниже значения, рассчитанного для базового периода 1961–1990 гг. При сохранении текущей скорости уменьшения площади ледяного покрова норма ледовитости в предстоящем тридцатилетии будет составлять около 25 %.

3. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что за период стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. существенные изменения ледового режима Охотского моря характерны для фазы разрушения ледяного покрова. Достижение одинаковых значений ледовитости в середине фаз интенсивного ледообразования и разрушения ледяного покрова, смещены в сторону более поздних и ранних сроков на 10 и 15 сут., соответственно. Одновременно с этим, максимум внутрисезонной кривой для стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. смещен на 10 сут. в сторону более ранних сроков и составляет 65 %, что на 14 % ниже среднего значения, вычисленного для периода 1961–1990 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеева Т.А., Раев М.Д., Тихонов В.В., Соколова Ю.В., Шарков Е.А., Фролов С.В., Сероветников С.С.* Сравнительный анализ площади морского льда в Арктике, полученной по данным спутниковой микроволновой радиометрии (алгоритм VASIA2) с ледовыми картами ААНИИ. Исследование Земли из космоса, 2020. № 6. С. 17–23.

2. *Гирс А.А., Кондратович К.В.* Методы долгосрочных прогнозов погоды. Ленинград: ГМИ, 1978. 344 с.

3. Границы океанов и морей. № 9031. СПб.: ГУНиО МО, 2000. С. 127–137.

4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. Москва, 2020. 97 с. Электронный ресурс: http://www.meteorf.ru/press/releases/20628/

5. *Думанская И.О.* Изменение климатических ледовых характеристик Охотского моря в конце XX – начале XXI века. Труды Гидрометцентра России, 2015. № 354. С. 112–137.

6. Комиссия по климатологии. Шестнадцатая сессия. Гейдельберг 3–8 июля 2014 г. Сокращенный окончательный отчет с резолюциями и рекомендациями. ВМО. № 1137. 2017. 80 с.

7. *Крындин А.Н.* Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции. Труды ГОИН. 1964. Вып. 71. С. 5–80.

8. *Минервин И.Г., Пищальник В.М., Бобков А.О., Романюк В.А.* Основные принципы работы программного комплекса «ЛЕД». Физика геосфер: Девятый Всероссийский симпозиум, 31 августа – 4 сентября 2015 г., г. Владивосток, Россия: мат. докл. Учреждение Российской академии наук Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 556–561.

9. *Митник Л.М., Митник М.Л., Заболотских Е.В.* Спутник Японии GCOM-W1: моделирование, калибровка и первые результаты восстановления параметров океана и атмосферы. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2013. Т. 10, № 3. С. 135–141.

10. *Пищальник В.М., Минервин И.Г., Романюк В.А.* Анализ изменений ледового режима в отдельных районах Охотского моря в период потепления. Вестник РАН, 2017. Т. 87, № 5. С. 429–440. DOI: 10.7868/S0869587317050024.

11. *Пищальник В.М., Романюк В.А., Минервин И.Г., Батухтина А.С.* Анализ динамики аномалий ледовитости Охотского моря в период с 1882 по 2015 г. Известия ТИНРО, 2016. Т. 185. С. 228–239.
12. *Плотников В.В.* Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз. Владивосток: Дальнаука, 2002. 172 с.
13. *Шатилина Т.А.* Статистические оценки трендов климатических изменений над Дальним Востоком в зимний и летний периоды 1980–2012 гг. Вопросы промысловой океанографии. Изд-во ВНИРО, 2014. Вып. 11, № 1. С. 76–97.
14. *Якунин Л.П.* Атлас основных параметров ледяного покрова Охотского моря. Владивосток: ДВФУ, 2012. 118 с.

REFERENCES

1. *Alekseeva T.A., Raev M.D., Tikhonov V.V., Sokolova Yu.V., Sharkov E.A., Frolov S.V., Serovetnikov S.S.* Comparative analysis of the area of sea ice in the Arctic, obtained from satellite microwave radiometry (VASIA2 algorithm) with AARI ice maps. Research of the Earth from space, 2020. No. 6. P. 17-23 (in Russian).
2. Borders of oceans and seas. No. 9031. St. Petersburg: GUNiO MO, 2000. P. 127–137 (in Russian).
3. Commission for Climatology. Sixteenth session. Heidelberg 3–8 July 2014. Abridged final report with resolutions and recommendations. WMO. No. 1137. 2017. 80 p. (in Russian).
4. *Dumanskaya I.O.* Changes in the climatic ice characteristics of the Sea of Okhotsk at the end of the 20th – beginning of the 21st centuries. Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation, 2015. No. 354. P. 112–137 (in Russian).
5. Girs A.A., Kondratovich K.V. Methods of long-term weather forecasts. Leningrad: GMI, 1978. 344 p. (in Russian).
6. *Kryndin A.N.* Seasonal and interannual changes in the ice coverage and position of the ice edge in the Far Eastern seas due to the peculiarities of atmospheric circulation. Proceedings of GOIN. 1964. Issue. 71, P. 5–80 (in Russian).
7. *Minervin I.G., Pishchalnik V.M., Bobkov A.O., Romanyuk V.A.* Basic principles of operation of the software complex “ICE”. Physics of the Geospheres: Ninth All-Russian Symposium, 31 August 31 – September 4, 2015. Vladivostok, Russia: Materials of the report. Establishment of the Russian Academy of Sciences Pacific Oceanological Institute Ilyichev of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Vladivostok: Dalnauka, 2015, P. 556–561 (in Russian).
8. *Mitnik L.M., Mitnik M.L., Zabolotkskikh E.V.* Japanese satellite GCOM-W1: modeling, calibration and first results of ocean and atmosphere reconstruction. Modern problems of remote sensing of the Earth from space, 2013. V. 10, No. 3. P. 135–141 (in Russian).
9. *Pishchalnik V.M., Minervin I.G., Romanyuk V.A.* Analysis of changes in the ice regime in certain areas of the Sea of Okhotsk during the warming period. Bulletin of the Russian Academy of Sciences, 2017. V. 87, No. 5. P. 429–440 (in Russian). DOI: 10.7868/S0869587317050024.
10. *Pishchalnik V.M., Romanyuk V.A., Minervin I.G., Batukhtina A.S.* Analysis of the dynamics of ice coverage anomalies in the Sea of Okhotsk in the period from 1882 to 2015. Izvestiya TINRO, 2016. V. 185. P. 228–239 (in Russian).
11. *Plotnikov V.V.* Variability of ice conditions in the Far Eastern seas of Russia and their forecast. Dalnauka, 2002. 172 p. (in Russian).
12. Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2019. Moscow, 2020. 97 p. Web resource: http://www.meteorf.ru/press/releases/20628/ (in Russian)
13. *Shatilina T.A.* Statistical estimates of climate change trends over the Far East in winter and summer periods 1980–2012. Issues of commercial oceanography. VNIRO Publishing House, 2014. Issue. 11, No. 1. P. 76–97 (in Russian).
14. *Yakunin, L.P.* Atlas of the main parameters of the ice cover of the Sea of Okhotsk. Vladivostok: FEFU, 2012. 118 p. (in Russian).