

УДК: 551.467.3(262.54)

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-74-84

А.А. Магаева¹, Н.А. Яицкая²

ДИНАМИКА ПРИПАЯ АЗОВСКОГО МОРЯ В XXI ВЕКЕ

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию динамики припая Азовского моря за период 2000–2020 гг. В качестве исходных данных использованы схемы ледовой обстановки в Азовском море по данным спутниковых снимков, полученные из Международного центра данных – Морской Лед (МЦД-МЛ), а также данные прибрежных ГМС о сроках образования, разрушения и продолжительности стояния припая. Обработка и анализ данных осуществлялась с помощью программного пакета ArcGIS 10.4.

В результате получены данные пространственно-временных характеристик припая за период 2000–2020 гг. – площадь и ширина, а также продолжительность стояния припая в районе прибрежных ГМС. Построены карты частоты формирования припая для каждого месяца зимнего периода: декабрь – март.

Показано, что продолжительность стояния припая на всех прибрежных ГМС сократилась: для пунктов северного побережья Таганрог и Мариуполь – на 3–5 дней, для пунктов южного побережья Таганрогского залива Ейск и Должанская – на 10–12 дней, для ГМС Геническ – 7 дней. Среднемноголетняя площадь припая за 2000–2020 гг. составляет 1800 км².

Но фоне роста зимних температур воздуха площадь припая сокращается, а в последние зимние периоды припай не наблюдается вовсе. Ширина припая в пределах северного побережья Азовского моря и Таганрогского залива составляет 5–10 км. В западной и юго-восточной частях моря (створы Темрюк (№8), Арабатская (№6) и Обиточный (№4)) припай наблюдался в 25% случаев, его ширина составляет 2–5 км в среднем за зиму.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Азовское море, припай, ширина припая, ледяной покров, ледовый режим.

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; Южный федеральный университет, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, *e-mail: a.magaeva@mail.ru*

² Федеральный исследовательский центр Субтропический научный центр Российской академии наук, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Россия; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», ул. Чехова, д. 41, 344006, Ростов-на-Дону, Россия, *e-mail: yautskayan@gmail.com*

Anastasiia A. Magaeva¹, Natalia A. Yaitskaya²

FAST ICE DYNAMICS OF THE SEA OF AZOV IN THE XXI CENTURE

ABSTARCT

The article is dedicated to the investigation of the fast ice dynamics for the period 2000–2020 according to satellite data and field observations using GIS technologies. We used data from International Data Center – Sea Ice and coastal observation points to analyze long-term changes. Data processing and analysis was carried out using the ArcGIS 10 * software package.

As a result, data were obtained on the spatial and temporal variability of fast ice in the Sea of Azov for the 2000–2020. The area and width of fast ice, the periods of formation, destruction and duration were analyzed. The maps of the fast ice formation frequency were constructed for each month of the winter period: December – March. It is shown that the duration of fast ice on all coastal observation points decreased: for points on the northern coast Taganrog and Mariupol – by 3–5 days, for points on the southern coast of Taganrog Bay – Yeisk and Dolzhanskaya – by 10–12 days, for point Genichesk – 7 days. Average long-term fast ice area for 2000–2020 is 1800 km². But against the background of an increase in winter air temperatures, the fast ice area is decreasing, and in the last winter periods it is not observed. The width of the fast ice at the northern coast of the Sea of Azov and the Taganrog Bay is 5–10 km. In the western and southeastern parts of the sea (sections Temryuk, Arabatskaya and Obitochny), the fast ice width is 2–5 km on average over the winter and was observed in 25% of cases.

KEYWORDS: the Sea of Azov, fast ice, fast ice width, ice cover, ice regime.

ВВЕДЕНИЕ

Азовское море – южный мелководный водоем, в среднем с декабря по март, покрытый льдом. Площадь, даты образования и разрушения ледяного покрова сильно варьируются: в теплые по температурному режиму зимы (сумма градусодней мороза менее 400 °С) лёд образуется только в Таганрогском заливе и других мелководных прибрежных областях, в суровые зимы (сумма градусодней мороза более 850 °С) льдом покрывается вся акватория Азовского моря, а в некоторых случаях и северная часть Чёрного моря, замерзает и Одесский порт (например, зима 1953/1954 гг.). В самую суровую за весь период инструментальных наблюдений зиму 1953/1954 гг. (сумма градусодней мороза на ГМС Таганрог составила 1653°С) всю акваторию Азовского моря покрывал припай, его продолжительность на прибрежных гидрометеостанциях (ГМС) достигала 65 дней на ГМС Опасное и 143 дня на ГМС Таганрог, толщина – 75 см на ГМС Таганрог [Крындин, 1964].

Ледовые условия Азовского моря достаточно хорошо изучены на сегодняшний день. Анализ климата, температурного и ледового режимов Азовского моря описан в работах [Матишов и др., 2008; Матишов и др., 2014], в которых исследован 120-летний ряд термohалинных данных моря и показано, что для региона характерно чередование холодных циклов с замерзанием и высокой степенью ледовитости всей акватории и тёплых безлёдных фаз в течение всей зимы [Матишов и др., 2008]. В работах [Думанская,

¹ Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Chehova, 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia; South Federal University, 105/42, Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: a.magaeva@mail.ru

² Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, 2/28, Yana Fabritsiusa Str., Sochi, 354002, Russia; Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Chehova, 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: yautskayan@gmail.com

2013; Букатов, Павленко, 2012; Федоренко, 2011] изложены результаты исследований связи атмосферных процессов и ледовых условий на Азовском море. Доказано, что Скандинавское колебание влияет на изменчивость ледовитости и толщину льда как внутри сезона, так и по годам [Федоренко, 2011]. Опыт применения математического моделирования и данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга и исследования ледяного покрова Азовского моря представлен в публикациях [Боровская, 2006; Дашкевич и др., 2016; Mizyuk, Puzina, 2019]. Ряд статей и монографий [Матишов и др., 2014; Думанская, 2014; Букатов и др., 2001] посвящен анализу основных параметров ледового режима: ледовитости; положению кромки и толщины льда в течение сезона при среднеклиматических условиях, а также в зависимости от суровости зимы.

Увеличение повторяемости мягких по температурному режиму зим в последние десятилетия [Яцкая, Магаева, 2018] привело к сокращению площади льда и продолжительности ледового сезона. Происходящие изменения, с одной стороны, оказывают положительное влияние на судоходство, так как ледяной покров не препятствует движению морских судов, с другой стороны, ледяной покров защищает береговую зону от динамического воздействия, замедляя абразионные процессы, а там, где образуется припай прекращается перемещение наносов на подводном склоне [Зенкович, 1962]. Так в Арктике, прибрежно-шельфовая зона которой большую часть времени покрыта припайными и дрейфующими льдами, величина суммарного расхода волновой и приливной энергии сокращается в 5–10 раз [Сафьянов, 1978; Огородов, 2011]. Следовательно, сокращение продолжительности ледового сезона приводит к увеличению нагрузки на берега и интенсификации абразионных процессов.

Цель настоящей работы – исследование динамики припая Азовского моря за период 2000–2020 гг. по данным спутниковых данных и натурных наблюдений с помощью ГИС-технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа динамики припая использованы схемы ледовой обстановки в Азовском море по данным спутниковых снимков, полученные из Международного Центра Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ)¹. Схемы представлены шейп-файлами содержащими полигоны воды и ледяного покрова с разными характеристиками – атрибутивная информация содержит конкретные значения сплоченности льда, возрастных характеристик (толщина) льда, формы плавучего льда и т.д. Файлы с полигонами и структура атрибутов соответствует формату SIGRID (архивный формат для геопривязанной векторной информации о морском льде). За период 2000–2020 гг. получено 359 шейп-файлов (схемы ледовой обстановки публикуются раз в 7–10 дней в течение ледового сезона). Обработка и анализ векторных данных осуществлялась с помощью программного пакета ArcGIS 10.4. Для корректного расчета значений площади исходные геометрии (полигоны) были перепроецированы в равноплощадную (равновеликую) проекцию Ламберта (Cylindrical Equal Area) и рассчитаны суточные, среднемесячные, максимальные и средние значения площади припая за сезон. Частота формирования припая рассчитывалась по сетке с размером ячейки 10 × 10 км по формуле (1):

$$P_k = \frac{N_k}{n_k} * 100\% \quad (1)$$

где N_k – число встреч припая, n_k – количество наблюдений в k -й ячейке.

¹ <http://wdc.aari.ru/datasets/>

На основе полученных данных построены карты частоты формирования припая для каждого месяца зимнего периода: декабрь – март.

Для анализа ширины припая были заложены 11 створов, перпендикулярных береговой линии Азовского моря (рис 1). Начало всех створов, за исключением Арабатского и Обиточного (створы 4 и 6), соответствуют прибрежным пунктам наблюдений. Длина створов обусловлена физико-географическими особенностями моря, в частности – замкнутостью и наличием узких заливов и лиманов (Таганрогский и Утлюкский соответственно), а также максимальным развитием припая за рассматриваемый период 2000–2020 гг.

Данные натурных наблюдений о сроках образования, разрушения и продолжительности стояния припая на прибрежных ГМС за период 1965–2014 гг. получены из [Атлас льдов..., 2015]. Результаты исследования интегрированы в геоинформационную систему (ГИС) «Ледовый режим южных морей России» [Яицкая, Магаева, 2018].



Рис. 1. Максимальная площадь припая Азовского моря за 2000–2020 гг. и створы, заложенные для оценки ширины припая

Fig. 1. Maximum fast ice area of the Sea of Azov for 2000–2020 and section for estimating the width of fast ice

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характерная особенность ледовых условий Азовского моря – неоднократные замерзания и вскрытия акватории вследствие колебаний температур воздуха. Припай – наиболее устойчивая характеристика ледового режима Азовского моря, так как образование устойчивого неподвижного ледяного покрова происходит спустя 5–7 дней после первого появления льда. К концу декабря почти на всём Таганрогском заливе и мелководных лиманах отмечается припай, достигая наибольшего развития в конце января – начале февраля [Гидрометеорологический..., 1962] (рис. 2).

По данным прибрежных натуральных наблюдений, в Таганрогском заливе припай наблюдается в среднем 2–2,5 месяца с конца декабря по начало марта. При этом в южной и центральной частях моря припай наблюдается только в суровые зимы, а в некоторые зимы не наблюдается вовсе. Анализ 30-летних климатических периодов (рекомендуемый Всемирной метеорологической организацией (ВМО) период для оценки климатических изменений) показал незначительные изменения для пунктов северного побережья Таганрог и Мариуполь – продолжительность стояния припая сократилась на 3–5 дней. Для пунктов южного побережья Таганрогского залива Ейск и Должанская продолжительность стояния припая сократилась на 10–12 дней, для ГМС Геническ – 7 дней (табл. 1).

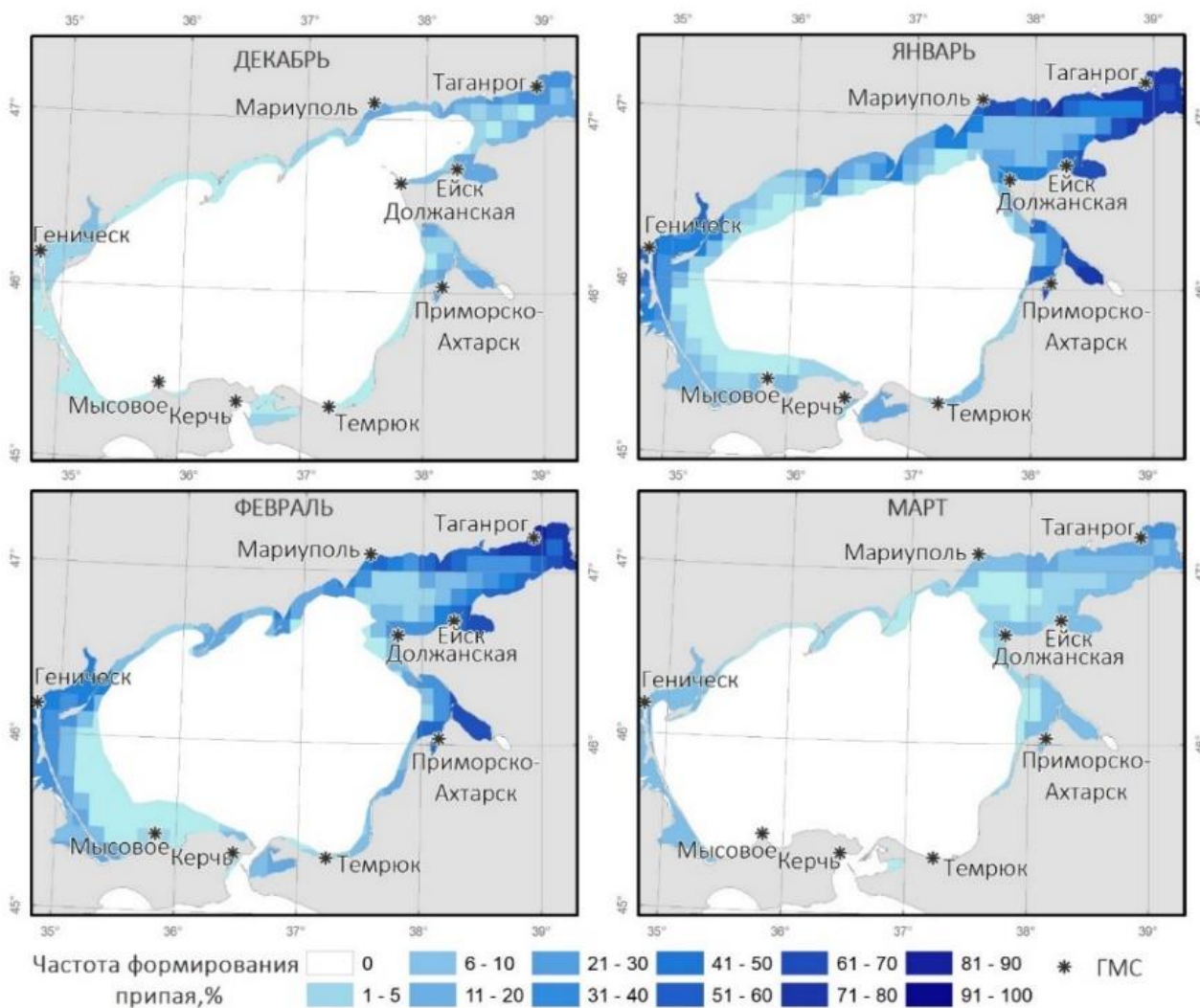


Рис. 2. Частота (%) формирования припая в Азовском море

Fig. 2. Frequency (%) of fast ice formation in the Sea of Azov

Табл. 1. Среднемноголетние сроки образования и разрушения припая по данным прибрежных ГМС

Table 1. Average long-term periods of fast ice formation and destruction according to coastal GMS data

Пункт/Период	Параметр	1965-2014	1971-2000	1981-2010
Таганрог	1	25 дек	24 дек	25 дек
	2	70	69	64
	3	2 мар	3 мар	25 фев
Мариуполь	1	22 дек	21 дек	13 фев
	2	51	55	49
	3	10 фев	05 мар	1 мар
Ейск	1	25 дек	19 дек	24 дек
	2	63	75	63
	3	27 фев	3 мар	23 фев
Должанская	1	1 янв	1 янв	3 янв
	2	39	46	41
	3	12 фев	18 фев	14 фев
Приморско-Ахтарск	1	30 дек	30 дек	28 дек
	2	57	58	52
	3	26 фев	1 мар	25 фев
Геническ	1	6 янв	4 янв	6 янв
	2	68	73	66
	3	8 мар	8 мар	6 мар

1 – дата образования припая; 2 – продолжительность стояния припая, дни; 3 – дата разрушения припая

Среднемноголетняя площадь припая за 2000–2020 гг. составляет 1800 км² (площадь Азовского моря – 39300 км²; рис. 3). Максимальная площадь припая за исследуемый период отмечена в зимний период 2005/2006 гг. и составила 7600 км². Однако, в последние годы на фоне сокращения отрицательных температур воздуха (выражается в сумме градусодней мороза, °С) площадь припая сократилась и не превышает 400 км² за сезон, а в зиму 2019/2020 г. (как и в 2003/2004 гг.) припай вовсе не наблюдался. Стоит отметить, что зима 2019/2020 г. – самая теплая за весь период инструментальных наблюдений начиная с 1883 г.

Ширина припая варьируется в зависимости от района и физико-географических особенностей исследуемой акватории. Так в пределах северного побережья Азовского моря и Таганрогского залива ежегодно образуется припай шириной 5–10 км в период 2000–2015 гг. В западной и юго-восточной частях моря (створы Темрюк (№8), Арабатская (№6) и Обиточный (№4)) припай образовывался в течении 5 зимних периодов (из 20 рассматриваемых), шириной 2–5 км в среднем за зиму. С 2013 г. припай наблюдался только в северной части Таганрогского залива и Утлюкском лимане, с 2016 г. – в районе Таганроге и единожды в Приморско-Ахтарске. Ширина припая в эти зимы не превышает 3 км.

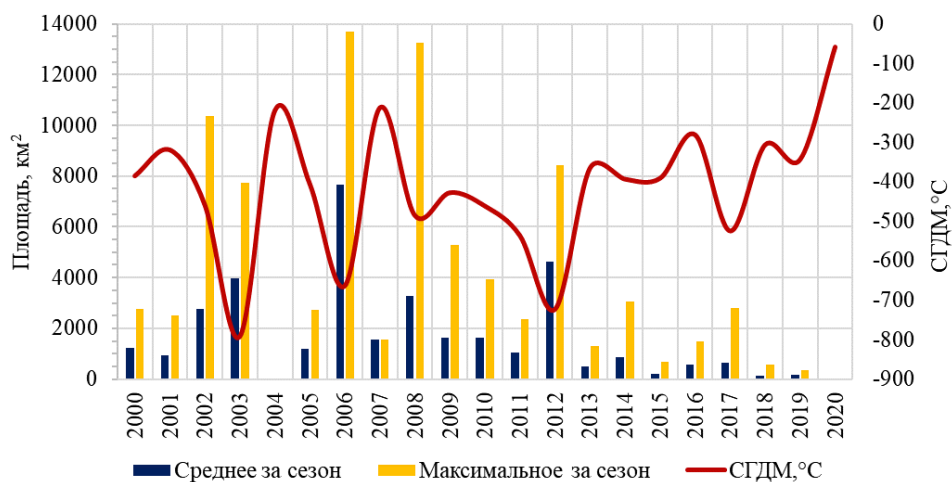


Рис. 3. Средняя и максимальная за сезон площади припая Азовского моря и сумма градусодней мороза (СГДМ) на ГМС Таганрог
Fig. 3. Average and maximum seasonal fast ice area of the Sea of Azov and the cumulative freezing degree-days (°C) at the hydrometeorological station Taganrog

Как говорилось выше, морской ледяной покров является одним из рельефообразующих факторов береговой зоны. Берега подвержены ледовым воздействиям как в период осеннего ледообразования, так и во время весеннего разрушения припая и очищения моря ото льдов.



Рис. 4. Навалы льда на берег в районе с. Красный Десант (северное побережье Таганрогского залива) 14.03.2021 г.
Fig. 4. Rubble field near the village Krasny Desant (northern coast of the Taganrog Bay) 14.03.2021 g.

В замерзающих морях с неустойчивым ледяным покровом, где припай не образуется или часто взламывается, надвиги и навалы морских льдов на берег случаются в течение всего ледового сезона [Огородов, 2011], в результате чего образуются экзарационные формы рельефа – борозды, ямы и др. Случаи навалов льда на берега Азовского моря наблюдаются регулярно – например, в зимы 2009/2010, 2010/2011, 2019/2020 (рис. 4).

Фрагменты припая и битый лёд, вынесенные на пляж или остающиеся на мелководье, способны некоторое время защищать берега от прямого разрушительного воздействия волн. Однако такие льды сравнительно быстро тают или уничтожаются прибоем. Наличие плавучих льдов вблизи берега также приводит к существенному падению энергии волн и даже к их полному гашению [Огородов, 2011].

Побережье Азовского моря подвержено активному разрушению, что обусловлено геологическим строением берегов и гидродинамическими процессами. Экстремальные сгонно-нагонные колебания воды, которые возникают при ветре со скоростью более 15 м/с, приводят к интенсивному размыву берегов, сложенных в основном легкоразмываемыми суглинками и глинами. При этом наибольшая повторяемость штормовых нагонов в Азовском море наблюдается в осенне-зимний период с октября по март [Яицкая, 2017]. Наличие или отсутствие ледяного покрова, в том числе устойчивого, в этот период может оказывать непосредственное влияние на интенсивность размыва берегов.

ВЫВОДЫ

На основе спутниковых и натурных наблюдений с применением ГИС-технологий выполнен анализ динамики припая Азовского моря. Исследованы пространственно-временные характеристики припая за период 2000–2020 гг. – площадь и ширина, а также продолжительность стояния припая по данным прибрежных ГМС. Построены карты частоты формирования припая для каждого месяца зимнего периода: декабрь – март.

Установлено, что продолжительность припая на всех прибрежных ГМС сократилась: для пунктов северного побережья Таганрог и Мариуполь – на 3–5 дней, для пунктов южного побережья Таганрогского залива Ейск и Должанская – на 10–12 дней, для ГМС Геническ – 7 дней. Среднеголетняя площадь припая за 2000–2020 гг. составляет 1800 км². Но фоне роста зимних температур воздуха площадь припая сокращается, а в последние зимние периоды не наблюдается вовсе.

Среднеголетняя ширина припая в пределах северного побережья Азовского моря и Таганрогского залива составляет 5–10 км. В западной и юго-восточной частях моря (створы Темрюк (№8), Арабатская (№6) и Обиточный (№4)) припай наблюдался в 25% случаев, его ширина составляет 2–5 км в среднем за зиму. Будущий анализ толщины припайных льдов поможет установить воздействие на дно водоема.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80082, 19-35-90131 и в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 01201363188.

ACKNOWLEDGMENTS

The reported study was funded by RFBR, project number 18-05-80082, 19-35-90131 and under the state assignment research of SSC RAS, project No. 01201363188.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас льдов Черного и Азовского морей. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. 219 с.
2. *Боровская Р.В.* Особенности ледового режима Керченского пролива за последние 15 лет по данным спутниковых наблюдений. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон. 2006. Т. 14. С. 253–258.
3. *Букатов А.Е., Завьялов Д.Д., Букатова О.М., Соломаха Т.А.* Влияние ледяного покрова на волновые возмущения в Азовском море. Морской гидрофизический журнал. 2001. № 4. С. 11–22.
4. *Букатов А.Е., Павленко Е.А.* Анализ связи климатической изменчивости метеорологических характеристик и ледового режима Азовского моря с индексами атмосферной циркуляции. Физические проблемы экологии. 2012. Т. 18. С. 48–72.
5. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 853 с.
6. *Дашкевич Л.В., Немцева Л.Д., Бердников С.В.* Оценка ледовитости Азовского моря в XXI веке по спутниковым снимкам Terra/Aqua MODIS и результатам математического моделирования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 91–100.
7. *Думанская И.О.* Ледовые условия морей европейской части России. М.: ИГ–СОЦИН, 2014. 608 с.
8. *Думанская И.О.* Типовые условия на основных судоходных трассах морей европейской части России для зим различной суровости. Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. № 350. С. 142–166.
9. *Зенкович В.П.* Основы учения о морских берегах. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
10. *Крындин А.Н.* Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на Черном и Азовском морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции. Труды ГОИН. 1964. № 76. С. 7–79.
11. *Матишов Г.Г., Бердников С.В., Жичкин А.П., Макаревич П.Р., Дженюк С.Л., Кулыгин В.В., Яицкая Н.А., Поважный В.В., Шевердяев И.В., Кумпан С.В., Третьякова И.А., Цыганкова А.Е.* Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Чёрное, Азовское и Каспийское моря. Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
12. *Огородов С.А.* Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во МГУ, 2011. 171 с.
13. *Сафьянов Г.А.* Береговая зона океана в XX веке. М.: Мысль. 1978. 263 с.
14. *Федоренко А.В.* Исследование сезонных и внутривековых колебаний основных ледовых параметров на южных морях (Азовское и Каспийское). Труды ГОИН. 2011. Т. 215. С. 15–25.
15. *Яицкая Н.А.* Результаты ретроспективного анализа ветрового волнения в Азовском море (на примере зим 2015–2017 гг. Наука Юга России. 2017. Т. 13. № 4. С. 60–70.
16. *Яицкая Н.А., Магаева А.А.* Динамика ледового режима Азовского моря в XX–XXI вв. Лёд и Снег. 2018; 58(3):373–386. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-3-373-386>.
17. *Matishov G.G., Matishov D.G., Berdnikov S.V., Sorokina V.V., Levitus S., Smolyar I.V.* Secular climate fluctuations in the Sea of Azov region (based on thermohaline data over 120 years). Doklady Earth Sciences. 2008. Т. 422. № 1. С. 1101–1104.

18. *Matishov G.G., Chikin A.L., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Chikina L.G.* The ice regime of the Sea of Azov and climate in the early 21st century. *Doklady Earth Sciences*. 2014. T. 457. № 2. C. 1020–1024.
19. *Mizyuk A.I., Puzina O.S.* Sea ice modeling in the Sea of Azov for a study of long-term variability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. T. 386. № 1. P. 012023.

REFERENCES

1. *Borovskaya R.V.* Features of the ice regime of the Kerch Strait over the past 15 years according to satellite observations. *Ecological safety of coastal and shelf zones*. 2006. V. 14. P. 253–258 (in Russian).
2. *Bukatov A.E., Pavlenko E.A.* Analysis of the relationship between the climatic variability of meteorological characteristics and the ice regime of the Sea of Azov with atmospheric circulation indices. *Physical problems of ecology*. 2012. V. 18. P. 48–72 (in Russian).
3. *Bukatov A.E., Zav'yalov D.D., Bukatova O.M., Solomaha T.A.* Influence of the ice cover on wave disturbances in the Sea of Azov. *Marine Hydrophysical Journal*. 2001. No 4. P. 11–22 (in Russian).
4. *Dashkevich L.V., Nemtseva L.D., Berdnikov S.V.* Assessment of the Sea of Azov ice cover in the XXI century using Terra/Aqua MODIS images and numerical modelling. *Current problems of remote sensing of the Earth from space*. 2016. T. 13. No 5. P. 91–100 (in Russian).
5. *Dumanskaya I. O.* Ice conditions of the seas of the European part of Russia. Moscow: IG SOTSIN, 2014. 608 p. (in Russian).
6. *Dumanskaya I.O.* Typical conditions on the main navigable routes of the seas of the European part of Russia for winters of varying severity. *Proceedings of Hydrometcentre of Russia*. 2013. No 350. P. 142–166 (in Russian).
7. *Fedorenko A.V.* The study of seasonal and intra-annual variations of the main ice parameters on the southern seas (the Sea of Azov and the Caspian Sea). *Proceedings of the GOIN*. 2011. V. 215. P. 15–25 (in Russian).
8. *Hydrometeorological directory of the Sea of Azov*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1962. 853 p. (in Russian).
9. *Ice Atlas of the Black and Azov Seas*. Sevastopol: NPC «EKOSI-Gidrofizika», 2015. 219 p. (in Russian).
10. *Kryndin A.N.* Seasonal and interannual changes in ice coverage and the position of the ice edge in the Black and Azov seas due to the peculiarities of atmospheric circulation. *Proceedings of the GOIN*. 1964. No 76. P. 7–70 (in Russian).
11. *Matishov G.G., Bernikov S.V., Zhichkin A.P., Makarevich P.R., Dzhenyuk S.L., Kulygin V.V., Yaickaya N.A., Povazhnyj V.V., Sheverdyayev I.V., Kumpan S.V., Tret'yakova I.A., Cygankova A.E.* Atlas of climatic changes in large marine ecosystems of the Northern Hemisphere (1878–2013). Region 1. The seas of the Eastern Arctic. Region 2. Black, Azov and Caspian Seas. Rostov-on-Don: Publishing house of the SSC RAS, 2014. 256 p. (in Russian).
12. *Matishov G.G., Matishov D.G., Berdnikov S.V., Sorokina V.V., Levitus S., Smolyar I.V.* Secular climate fluctuations in the Sea of Azov region (based on thermohaline data over 120 years). *Doklady Earth Sciences*. 2008. T. 422. No 1. C. 1101–1104.
13. *Matishov G.G., Chikin A.L., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Chikina L.G.* The ice regime of the Sea of Azov and climate in the early 21st century. *Doklady Earth Sciences*. 2014. T. 457. № 2. C. 1020–1024.

14. *Mizyuk A.I., Puzina O.S.* Sea ice modeling in the Sea of Azov for a study of long-term variability. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. T. 386. No 1. P. 012023.
 15. *Ogorodov S.A.* The Role of Sea Ice in Coastal Dynamics. Moscow: Moscow University Press., 2011. 171 p. (in Russian).
 16. *Saf'yanov G.A.* The coastal zone of the ocean in the twentieth century. Moscow, "Mysl" Publishers, 1978. 264 p. (in Russian).
 17. *Yaitskaya N.A.* The results of hindcasting experiments of wind wave in the Sea of Azov (as illustrated by winters 2015-2017). Science in the South Russia. 2017. T. 13. No 4. P. 60–70. DOI:10.23885/2500-0640-2017-3-4-60-70 (in Russian).
 18. *Yaitskaya N.A., Magaeva A.A.* Dynamics of the ice regime of the Sea of Azov in the XX–XXI centuries. Ice and Snow. 2018. T. 58. No 3. P. 373–386 (in Russian) <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-3-373-386>.
 19. *Zenkovich V.P.* Fundamentals of the theory of the development of marine shores Moscow, Academy of Sciences of the USSR. 1962. 710 p. (in Russian).
-