

ДИНАМИКА ЛЕДОВИТОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ В 2000–2024 ГГ.

А.А. Магаева

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону
a.magaeva@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию динамики ледовитости Азовского моря за период 2000–2024 гг. на основе схем ледовой обстановки Международного центра данных – Морской лед (МЦД – МЛ). Пространственный анализ данных осуществлялся с помощью программного пакета ArcGIS 10*, рассчитаны суточные, среднемесячные, максимальные и средние значения ледовитости за сезон. В качестве показателя температурных условий, который обуславливает состояние ледяного покрова Азовского моря, проанализированы суммы градусо-дней мороза (СГДМ) для пункта наблюдений Таганрог. Показано, что за рассматриваемый период 2000–2024 гг. сумма градусо-дней мороза варьировалась от минус 792,6 °С до минус 27,9 °С, значения ледовитости – от 66 % до 1,9 %. По данным наблюдений для гидрометеорологической станций (ГМС) «Таганрог», зимний период 2023–2024 гг. является самым теплым с 1905 г. Установлено, что среднегодовое значение ледовитости за период 2000–2024 гг. меньше как среднегодовое значение за весь период наблюдений 1950–2024 гг., так и климатической нормы 1991–2020 гг.

Ключевые слова: Азовское море, изменение климата, ледовитость, сумма градусо-дней мороза.

Введение. В XX – начале XXI в. флуктуации климата привели к перестройке гидрологического режима Азовского моря: наблюдается рост положительных аномалий температуры воздуха и воды, солености, изменение ветро-волновой активности [1–3]. В климатический период 1991–2020 гг. произошел режимный сдвиг ледового сезона Азовского моря: ледовитость сократилась на 6 %, продолжительность ледового сезона – на 11 дней по сравнению со среднегодовыми значениями для периода 1950–2020 гг. Аналогичные тенденции изменения ледовых условий также отмечены для Каспийского [4], Баренцева [5] и Охотского [6] морей.

Ледяной покров является не только одним из показателей состояния поверхности моря, но и лимитирующим фактором морехозяйственной деятельности. Например, в январе 2008 г. около 150 судов ожидало ледокольной проводки у кромки льда в Керченском проливе. Ледовое обеспечение осуществляли три ледокола, которые не справлялись с потоком скопившихся у кромки льда судов [7]. Поэтому ежегодный мониторинг ледовых условий Азовского моря является чрезвычайно важной задачей не только для получения новых фундаментальных знаний о природных процессах в условиях изменения климата, но и для отраслей экономики и хозяйства.

Цель настоящей работы – оценка температурных и ледовых условий Азовского моря за 2000–2024 гг. с учетом новых данных за последние зимние периоды 2021–2024 гг.

Материалы и методы. Для оценки ледовитости были использованы схемы ледовой обстановки в Азовском море по данным спутниковых снимков, полученные из МЦД – МЛ [8]. 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 соответствуют формату SIGRID (архивный формат для геопривязанной векторной информации о морском льде).

За период 2021–2024 гг. получено 45 шейп-файлов (всего за период 2000–2024 гг. – 408 шейп-файлов). Обработка и анализ векторных данных осуществлялись с помощью программного пакета ArcGIS 10*. Для корректного расчета значений площади исходные геометрии были перепроецированы в равноплощадную (равновеликую) проекцию Ламберта (Cylindrical Equal Area) и рассчитаны суточные, среднемесячные, максимальные и средние значения ледовитости за сезон.

Для оценки температурных условий, обуславливающих состояние ледяного покрова,

рассчитаны СГДМ путем сложения всех отрицательных температур воздуха за зимний период. Далее по предлагаемым грациям определяется тип зимнего периода: суровый, умеренный или мягкий. В настоящей работе были использованы отрицательные температуры воздуха за зимний период «декабрь – март» для ГМС «Таганрог». Исходные данные получены из открытого архива ВНИИ Гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (meteo.ru) [9] и сайта «Расписание погоды» (rp5.ru) [10]. Данные за период 2000–2020 гг. получены в ходе ранее выполненных работ [11].

Результаты и обсуждение. Азовское море – южный мелководный водоем, в среднем с дека-

бря по март покрытый льдом. Площадь ледяного покрова, даты образования и разрушения льда сильно варьируются: в теплые по температурному режиму зимы (сумма градусо-дней мороза менее 400 °С) лед образуется только в Таганрогском заливе и других мелководных прибрежных областях, в суровые зимы (сумма градусо-дней мороза более 850 °С) льдом покрывается вся акватория Азовского моря.

За рассматриваемый период 2000–2024 гг. СГДМ варьировалась от –792,6 °С зимой 2002–2003 гг. до –27,9 °С зимой 2023–2024 гг. (рис. 1). Среднемноголетнее значение –375,1 °С. По данным наблюдений для ГМС «Таганрог» зимний период 2023–2024 гг. является самым теплым с 1905 г.

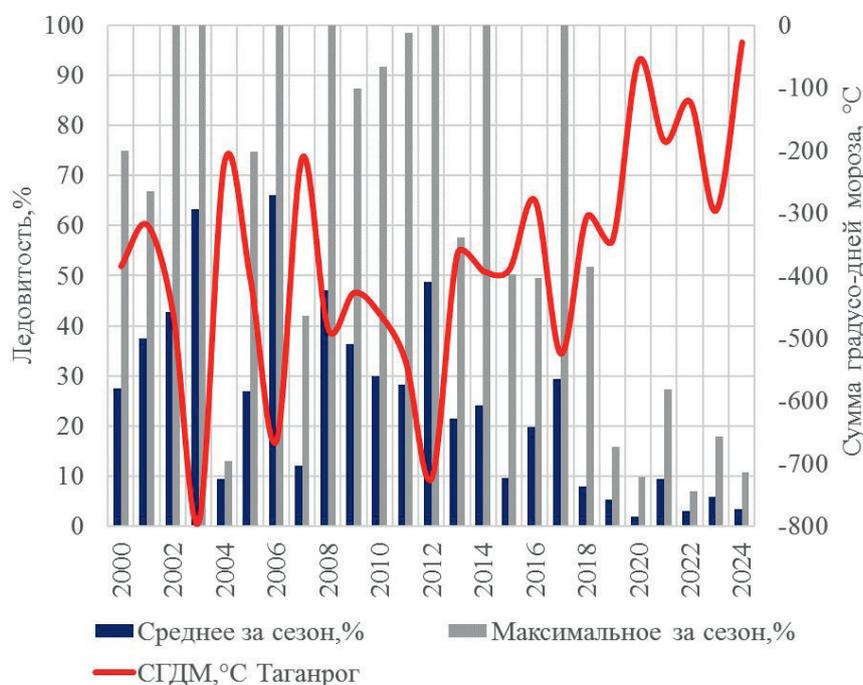


Рис. 1. Сумма градусо-дней мороза (°С) ГМС Таганрог и ледовитость Азовского моря

Среднемноголетняя ледовитость за первый 25-летний период XXI в. составила 24,5 %, что меньше как среднемноголетнего значения за весь период наблюдений, так и климатической нормы 1991–2020 гг. (табл. 1). Начиная с 2018 г., среднесезонная ледовитость не превышает 10 %, а в зиму 2019–2020 гг. – 1,9 %. Максимальные значения ледовитости 90–100 % отмечены для 10 из 25 рассматриваемых зимних сезонов. При этом в последние 5 лет, начиная с 2019 г. максимальное значение ледовитости в среднем составляет 14,5 %.

Таблица 1. Значения суммы градусо-дней мороза (СГДМ) и ледовитости Азовского моря

Период	СГДМ Таганрог, °С	Ледовитость, %
1950–2024	547,8	27,8
1991–2020	459,6	27,1
2000–2024	375,1	24,5
2015–2024	253,3	9,2

Несмотря на общую тенденцию сокращения площади льда и продолжительности ледового



Рис. 2. Максимальное и минимальное положение границ льда в Азовском море за 2000–2024 гг.

сезона, практически ежегодно в Азовском море образуются ледяные торосистые образования. Например, зимой 2005–2006 гг. торосы на Азовском море достигали 1,5–2,5 м, судоходство было «заморожено» почти на два месяца [12]. Согласно работе [13], в открытом море при ветрах любых направлений силой более 7–10 м/с происходит

сжатие и торошение льда, в результате чего образуются торосы и барьеры торосов, а в некоторых случаях – стамухи. Данные процессы недостаточно изучены на сегодняшний день – информация отрывочно представлена в научных изданиях прошлого века [14; 15], а данные получены в ходе единичных экспедиционных исследований. Например, карты распределения торосистого льда в Азовском море для различных типов зим, представленные в исследовании [14], приведены для фактически наблюдавшихся условий, т.к. многолетние наблюдения на тот момент отсутствовали. В работе [15], представлена схема зон торосистости льда Азовского моря по данным судовых наблюдений и данных прибрежных пунктов. В ходе дальнейшей работы на основе спутниковых данных высокого разрешения будет выполнено дешифрирование ледяных торосистых образований (ЛТО) открытой акватории для современных гидроклиматических условий 2014–2024 гг., а также их геоинформационный анализ – сопоставление кромок льда, припая и зон скопления ЛТО, оценка глубины и расстояния местоположения ЛТО до береговой линии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-00088, <https://rscf.ru/project/24-77-00088/>.

Список литературы

1. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Новое состояние гидрологического режима Азовского моря в XXI веке // Доклады Российской академии наук: науки о Земле. 2022. Т. 503. № 1. С. 65–70. DOI:10.31857/S2686739722030057.
2. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Кириллова Е.Э. Цикличность климата в Приазовье: голоцен и современный период (XIX–XXI вв.) // Доклады Российской академии наук: науки о Земле. 2021. Т. 498. № 1. С. 96–100. DOI: 10.31857/S2686739721050091.
3. Дашкевич Л.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В. Многолетнее изменение средней солености Азовского моря // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 5. С. 563–572. DOI: 10.7868/S03210596170 400 46.
4. Лобанов В.А., Наурузбаева Ж.К. Климатические изменения толщины льда на северном Каспии // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 53. С. 172–187.
5. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Кириллова Е.Э. Лед как индикатор изменения климата (на примере Баренцева и Азовского морей) // Наука Юга России. 2020. Т. 16. № 2. С. 27–40.
6. Минервин И.Г., Пищальник В.М. Особенности развития ледовых процессов в Охотском море в зимнем сезоне 2013–2014 гг. // Ученые записки Сахалинского государственного университета. 2015. № 11–12. С. 16–25.
7. Гидрометцентр России. Ледовая обстановка на Азовском море остается сложной. 02.03.2012. URL: [\[meteoinfo.ru/novosti/4769-02032012-\]\(https://meteoinfo.ru/novosti/4769-02032012-\) \(дата обращения: 17.07.2024\).](https://

</div>
<div data-bbox=)

8. Архив региональных ледовых карт ААНИИ // Мировой центр данных по морскому льду [электронный ресурс]. URL: <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004>.

9. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 // URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения: 25.06.2024).

10. Расписание погоды. rp5.ru [электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 25.06.2024).

11. Магаева А.А. Ледовый режим Азовского и Каспийского морей: многолетняя динамика и опасные явления: дис. ... канд. геогр. наук: 1.6.21– Геоэкология / Институт географии Российской академии наук. Москва, 2022. 162 с.

12. Матишов Г.Г. Влияние изменчивости климатического и ледового режимов на судоходство // Вестник Российской академии наук. 2008. Т. 78. № 10. С. 896–902.

13. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. 608 с.

14. Атлас льдов Чёрного и Азовского морей. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 120 с.

15. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V: Азовское море. СПб.: Гидрометеоиздат. 1991. 237 с.

ICE DYNAMIC OF THE SEA OF AZOV IN 2000–2024

A.A. Magaeva

Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don
a.magaeva@mail.ru

Abstract. The article is dedicated to the investigation of the dynamics of ice cover of the Sea of Azov for the period 2000–2024. Data from International Data Center – Sea Ice was used to analyze long-term changes of ice cover. Data processing and analysis was carried out using the ArcGIS 10* software package. Daily, average monthly, maximum and average values of ice coverage for the season were obtained. As an indicator of temperature conditions, which determines the state of the ice cover of the Sea of Azov, the sum of degree days of frost for the Taganrog observation point were analyzed. It is shown that for 2000–2024, the sum of degree days of frost varied from minus 792,6 °C to minus 27,9 °C, the ice coverage values – from 66% to 1,9 %. According to observation data for the Taganrog observation point, the winter period of 2023/2024 is the warmest since 1905. It was established that the average long-term value of ice coverage for 2000–2024 is lower than both the long-term average for the entire observation period 1950–2024 and the 1991–2020 climate normals.

Keywords: The Sea of Azov, climate change, ice cover, cumulative freezing-degree days.

References

1. Berdnikov S.V., Dashkevich L.V., Kulygin V.V. 2022. [A new state in the hydrological regime of the Sea of Azov in the 21st century]. In: *Doklady Rossijskoj akademii nauk: nauki o Zemle*. 503(1): 123–128. DOI:10.31857/S2686739722030057.
2. Matishov G.G., Dashkevich L.V., Kirillova E.E. 2021. [Cyclivity of climate in the Sea of Azov region: the holocene and the current period (19th to 21st centuries)]. In: *Doklady Rossijskoj Akademii Nauk: Earth Sciences*. 498(1): 436–440. DOI: 10.31857/S2686739721050091.
3. Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Berdnikov S.V. 2017. [Many-year variations of the average salinity of the Sea of Azov]. In: *Vodnye resursy*. 44(5): 749–757. DOI: 10.7868/S0321059617040046.
4. Lobanov V.A., Naurozbayeva Zh.K. 2018. [Climatic changes in ice thickness in the North Caspian]. In: *Uchenyye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 53: 172–187. (In Russian).
5. Matishov G.G., Dashkevich L.V., Kirillova E.E. 2020. [Ice as an indicator to climate changes: case study of the Barents and Azov seas]. In: *Nauka Yuga Rossii*. 16(2): 27–40. (In Russian).
6. Minervin I.G., Pishchalnik V.M. 2015. [Features of ice processes in the Sea of Okhotsk in the winter season of 2013–2014]. In: *Uchenye zapiski Sahalinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 11–12: 16–25. (In Russian).
7. Hydrometeorological Center of Russia. Ice conditions on the Sea of Azov remain difficult. [Electronic resource]. 02.03.2012. URL: <https://meteoinfo.ru/novosti/4769-02032012-> (In Russian).
8. Archive of regional ice maps of AARI // World Sea Ice Data Centre. URL: <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> [Electronic resource].
9. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T., Shvec N.V. “Opisanie massiva dannyh srednemesjachnoj temperatury vozduha na stancijah Rossii”, Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh [Description of the data array of average monthly air temperature at stations in Russia], Certificate of state registration of the database] No. 2014621485. URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#opisanie-massiva-dannyh> (accessed 25 June 2024) (In Russian).
10. Raspisanie pogody // rp5.ru [Weather schedule]. URL: <https://rp5.ru/> [Electronic resource] (accessed: 25.06.2024).
11. Magaeva A.A. 2022. Ledovyj rezhim Azovskogo i Kaspijskogo morej: mnogoletnjaja dinamika i opasnye javlenija: dis. ... kand. geogr. nauk.: 1.6.21 [Ice regime of the Azov and Caspian Seas: long-term dynamics and hazardous phenomena]: PhD Abstract. 1.6.21 – Geocology). Moscow: Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences: 162 p. (In Russian).
12. Matishov G.G. 2008. [The influence of climatic and ice regime variability on navigation]. In: *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 78(5): 457–463.
13. Dumanskaya I.O. 2014. *Ledovye usloviya morej evropejskoj chasti Rossii*. [Ice conditions of the seas of the European part of Russia]. Moscow; Obninsk, IG-SOTSIN: 608 p. (In Russian).
14. Atlas l'dov Chernogo i Azovskogo morej. [Atlas of the Black and Azov Seas Ice]. 1962. Leningrad, “Gidrometeoizdat”: 120 p. (In Russian).
15. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej SSSR. T. V. Azovskoe more*. [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas of the USSR. Vol. 5. The Azov Sea]. 1991. Saint-Petersburg, “Gidrometeoizdat”: 237 p. (In Russian).