

Морские, речные и озёрные льды

УДК 551.467.3(262.54)

doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-373-386

Динамика ледового режима Азовского моря в XX–XXI вв.

© 2018 г. Н.А. Яицкая¹⁻³, А.А. Магаева^{1,4*}¹Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия; ²Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия;³Филиал Института природно-технических систем РАН, Сочи, Россия;⁴Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

*a.magaeva@mail.ru

Dynamics of the ice regime of the Sea of Azov in the XX–XXI centuries

N.A. Yaitskaya¹⁻³, A.A. Magaeva^{1,4*}¹Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia; ²Sochi Research Center, Russian Academy ofSciences, Sochi, Russia; ³Branch of the Institute of Natural and Technical Systems, Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia;⁴South Federal University, Rostov-on-Don, Russia

*a.magaeva@mail.ru

Received October 28, 2017

Accepted March 12, 2018

Keywords: *classification of winter periods, ice conditions, Sea of Azov, winter types.*

Summary

The ice regime of the Sea of Azov over the period of 20th and 21st centuries was investigated using the author's GIS «The ice regime of the Southern Seas of the Russia». The long-term dynamics of the ice cover, duration of the ice stay as well as beginning and end of the ice period were considered. It has been found that for the period of 1950–2015 the average annual value of the Azov Sea ice cover area is 33%, while the average area of the fast ice is 6.3% of the total area of the sea. Value of duration of the ice cover stay on the sea surface has been refined, and this value is 115 days near the hydro-meteorological station (HMS) Taganrog and 63 days near the HMS Kerch. The typification of winters according to the degree of severity was performed on the basis of data from three coastal meteorological stations: Taganrog, Genichesk, and Kerch. Winters of moderate type were shown to be prevailing during the entire analyzed period. Totally, 15 severe, 70 moderate and 40 mild winters were isolated for the period 1883–2015, while for 1950–2015 the statistics was the following: 9 severe, 43 moderate, and 14 mild winters in Taganrog, and 10 severe, 40 moderate, and 16 mild winters in Kerch.

Citation: Yaitskaya N.A., Magaeva A.A. Dynamics of the ice regime of the Sea of Azov in the XX–XXI centuries. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2018. 58 (3): 373–386. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-373-386.

Поступила 28 октября 2017 г.

Принята к печати 12 марта 2018 г.

Ключевые слова: *Азовское море, классификация зимних периодов, ледовый режим, типы зим.*

Рассматривается многолетняя динамика ледового режима Азовского моря: ледовитость, сплочённость, продолжительность, начало и конец ледового периода. В XX–XXI вв. ледовитость Азовского моря в среднем составляет 33%, продолжительность ледостава сокращается. Преобладают зимы с умеренными температурными условиями. Разработана классификация зимних периодов, объединившая все ледовые характеристики и типизацию зим по степени суровости, согласно которой в Азовском море также преобладают зимние периоды умеренного типа.

Введение

Согласно среднесезонным данным, лёд в Азовском море образуется в конце ноября, достигает максимума к февралю и полностью исчезает в конце марта [1]. Быстрая смена атмосферных процессов в регионе способствует неоднократному вскрытию и замерзанию во-

доёма на протяжении зимы. Площадь ледяного покрова, даты образования и разрушения льда сильно варьируют по годам. Так, в суровые по температурному режиму зимы 1953/54 и 2002/03 гг. льдом покрывалась не только вся акватория Азовского моря, но и северная часть Чёрного моря, замерзал и Одесский порт. Такие условия затрудняют судоходство и эксплуатацию

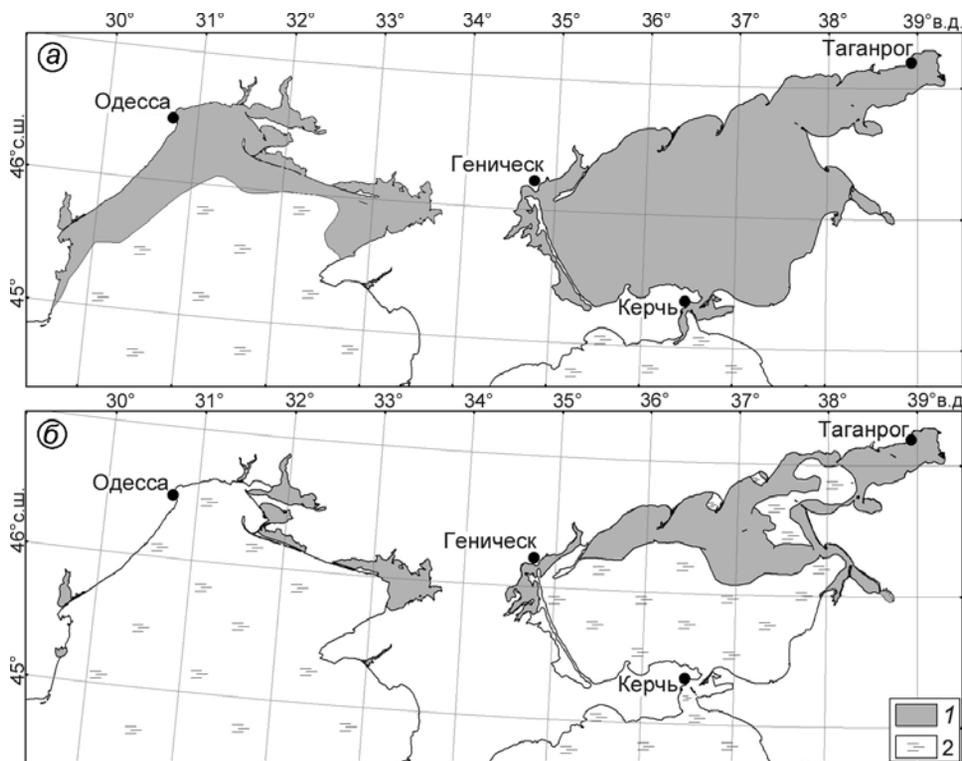


Рис. 1. Ледовые условия в Азовском и Чёрном морях:
a – в суровую зиму 1953/54 г., *б* – в мягкую зиму 2008/09 г.; 1 – лёд, 2 – чистая вода
Fig. 1. Ice conditions of the Sea of Azov and the Black Sea:
a – in the severe winter 1953/54, *b* – in the soft winter 2008/09; 1 – ice, 2 – ice free

гидротехнических сооружений. В тёплые зимы лёд образуется только в Таганрогском заливе и других мелководных областях (рис. 1).

Систематическое изучение ледового режима Азовского моря началось в 1920-х годах [2]. Во время Великой Отечественной войны отдельные наблюдения в южных морях России вели немецкие военнослужащие, и некоторые их картосхемы сохранились до наших дней [3]. К 1950-м годам был организован регулярный авиамониторинг за ледяным покровом, что повысило точность наблюдений в открытом море. В рамках серии «Водный кадастр СССР» [4] публиковались основные сведения о ледовом режиме. На основе накопленных архивов выпускались обобщающие гидрологические справочники [1, 2, 5], в которых подробно описывали ледовые условия Азовского моря и определяющие их факторы. Эти работы не потеряли своей значимости и в настоящее время.

Качественно новый этап в наблюдениях за ледовыми условиями наступил в период активного освоения космоса и относительной доступности данных дистанционного зондирова-

ния Земли (ДЗЗ). Несомненные преимущества ДЗЗ – меньшая трудоёмкость и большая регулярность, информативность и качество получаемых данных. Но есть и недостатки. Один из основных – наличие плотного облачного покрова в зимний период над акваторией моря, что приводит к частичной потере информации. Несмотря на это результаты дешифрирования космических снимков регулярно публикуются в открытых источниках [6, 7], разработаны и откалиброваны на основе данных ДЗЗ математические модели для реанализа и краткосрочного прогноза ледовых явлений как глобального [8], так и регионального масштаба [9, 10].

Среди последних работ, посвящённых особенностям ледового режима и условиям ледообразования Азовского моря, можно выделить ряд статей и монографий [11–13]. В статье [13] анализируются основные особенности: изменение ледовитости; положение кромки и толщины льда в течение сезона при средних климатических условиях, а также в зависимости от суровости зимы. В работе [14] выполнено исследова-

ние ледовых условий Азовского моря на основе многолетнего ряда наблюдений (1950–2012 гг.). Его авторы проанализировали все характеристики ледового режима водоёма и подробно описали процессы ледообразования и очищения моря ото льда. В работах [15–17] 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 [17]. Анализ климата, температурного и ледового режимов Азовского моря описан в работах [18, 19], где исследован 120-летний ряд термохалинных данных 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 [19]. Опыт применения данных ДЗЗ для мониторинга и исследования ледяного покрова Азовского моря представлены в публикациях [20, 21].

Современные изменения климата, его непредсказуемость и нестабильность требуют пристального внимания. Сведения о внутрисезонной динамике ледового режима и возможность их быстрого качественного всестороннего анализа важны для отраслей экономики и хозяйства. Необходима разработка нового подхода, в рамках которого можно было бы учесть все характеристики ледового режима водоёма одновременно и который позволит объективно выполнять анализ наблюденных данных.

Настоящая работа посвящена исследованию многолетней динамики ледового режима Азовского моря в XX–XXI вв. Для унификации и обобщения длительного ряда наблюдений за температурой воздуха на прибрежных гидрометеорологических станциях (ГМС) и выявления тенденций внутривековых изменений выполнена типизация зим по степени суровости и показана связь с компонентами ледового режима. На основе архива многолетних наблюдений проанализированы основные характеристики ледового режима моря – ледовитость, даты начала, окончания и продолжительности ледостава. Разработан новый подход и выполнена классификация зимних периодов, которая учитывает многолетнюю динамику основных характеристик ледового режима Азовского моря (значение и дата минимальной температуры воздуха для прибрежных ГМС за

зимний сезон; среднее значение (%) ледовитости за сезон; начало, конец и продолжительность ледостава (дни), а также суровость температурных условий). Такой подход позволил получить более объективные оценки многолетних изменений зимних условий в Азовском регионе.

Материалы и методы

Информационной основой исследования ледового режима Азовского моря служила геоинформационная система (ГИС) «Ледовый режим южных морей России» [22, 23]. Эта система разработана как уникальная среда для сбора, хранения, накопления, быстрого доступа к данным, их совместного использования и различных манипуляций [22]. ГИС содержит следующую информацию:

1) *картографическую* – картосхемы ледовой обстановки в Азовском, Чёрном и Каспийском морях за период с 1953 по 2015 г. с обозначением положения кромки льда, форм плавучего льда, сплочённости льда в баллах (всего 749 картосхем, в том числе 295 для Азовского моря);

2) *табличную (численную)* – данные регулярных многолетних наблюдений за характеристиками ледового режима на прибрежных ГМС в южных морях (даты появления льда, даты окончательного очищения моря ото льда, продолжительность ледового периода и др.) за период с 1810 по 2015 г., в том числе для Азовского моря с 1916 по 2015 г.

Все данные векторизованы (оцифрованы) с помощью программного обеспечения ArcGIS (ESRI) [24]. Источники информации по Азовскому морю: Водный кадастр СССР с 1916 по 2008 г. [4]; информация с сайтов Научно-исследовательского центра «Планета» (НИЦ «Планета») [6], Единой государственной системы информации о состоянии Мирового океана (ЕСИМО) [7] с 2005 по 2015 г., Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) [25] с 2000 по 2015 г. При исследовании многолетней динамики характеристик ледяного покрова Азовского моря рассматривались следующие характеристики: площадь ледяного покрова, км²; сплочённость, баллы; продолжительность ледостава, дни. Для определения суровости зим использованы среднесуточные данные наблюдений за температурой воздуха в зимние сезоны (декабрь–март)

1883–2015 гг. (с некоторыми перерывами в периоды Гражданской и Великой Отечественной войн) на трёх прибрежных ГМС: Таганрог, Геническ и Керчь. Информация получена из открытого архива данных ВНИИГМИ-МЦД [26].

Типизация зим по степени суровости

Наибольшее распространение при типизации зим получил подход с определением суровости, но методы расчёта – различные. Часто встречающаяся в литературе методика, описанная в исследовании [15], основана на определении (вычислении) сумм градусо-дней мороза (СГДМ). Для этого необходимо сложить все отрицательные температуры воздуха за зимний период, а затем по предлагаемым градациям определить, к какому типу относится зимний период. Автор относит к умеренным зимы, для которых СГДМ попадает в интервал от значения, соответствующего «среднее +20% амплитуды», до значения «среднее –20% амплитуды». При этом, как наименее характерные, исключаются две крайние аномальные зимы – самая холодная и самая тёплая [15]. Данную методику применяют в своих работах А.В. Федоренко, П.И. Бухарицин и др. [17, 27], но все авторы используют разные градации и не упоминают о том, по какому принципу выделены интервалы СГДМ для каждого типа зимы.

Ещё одна методика описана А.Н. Лебедевым и Г.П. Писаревой в исследовании [2], где для определения критериев суровости зим используют среднемесячные значения температуры воздуха за зимний период (декабрь–март) на трёх прибрежных ГМС: Таганрог, Геническ, Керчь. Наибольшие отклонения от средней многолетней суммы температур за зимний период как в сторону максимальных, так и в сторону минимальных делят на три равные части, которые характеризуют мягкие, умеренные и суровые зимы. Несмотря на то, что метод А.Н. Лебедева и Г.П. Писаревой представлен полвека назад, на наш взгляд, он более аргументирован, объективен и «прозрачен». Поэтому в данной работе использован именно этот подход, уточнённый и дополненный, хотя и он не лишён недостатков – пороговые значения суровости напрямую зависят от длительности ряда исходных данных. Подробное описание методики и примеры расчётов даны в работе [28].

Классификация зимних периодов

В основу классификации для Азовского моря положены следующие факторы: 1) тип зимы для прибрежных ГМС (суровая, умеренная, мягкая); 2) значение и дата минимальной температуры воздуха для прибрежных ГМС за зимний сезон; 3) среднее значение ледовитости Азовского моря за сезон, %; 4) начало, конец (даты) и продолжительность ледостава для каждого пункта наблюдений в отдельности (дни). В классификации использованы данные, рассчитанные и обобщённые для Азовского моря в целом и двух прибрежных ГМС Таганрог и Керчь отдельно. Выбор этих ГМС обусловлен их географическим положением – пункты расположены в разных частях Азовского моря и имеют различные условия ледообразования, также для этих ГМС накоплен самый полный архив наблюдений.

Классификация проводилась путём вычисления отклонений от среднемноголетних значений каждого параметра. Наибольшие отклонения как в сторону максимальных, так и в сторону минимальных значений делились на три равные части, которые определяют положительные и отрицательные аномалии, а также значения в пределах нормы. Позже им были присвоены баллы: «1» для положительной аномалии; «0» для значений, находящихся в пределах нормы; «–1» для отрицательной аномалии. Присвоение результирующего класса выполнялось по суммарному числу баллов (максимум семь). В некоторых случаях при выделении итоговых классов суммарный показатель зимних периодов находился в пределах пограничных значений, что затрудняло присвоение конкретного класса. В таких случаях дополнительно рассматривались данные о типе зимы в Азовском море. Описание методики и примеры расчётов представлены в работе [29].

Результаты и обсуждение

Ключевой фактор, определяющий ледовый режим Азовского моря, – динамика атмосферных процессов в регионе. Осенью и зимой погодные условия в акватории определяются в основном антициклоническими воздействиями с северо-запада и северо-востока и циклоническими – с запада и юго-запада. На ледяной

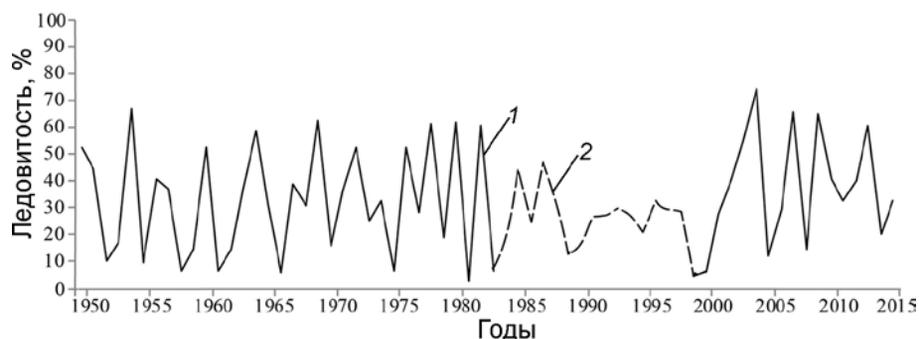


Рис. 2. Многолетний ход ледовитости Азовского моря:

1 – ледовитость по [23]; 2 – ледовитость по [21]

Fig. 2. The long-term dynamics of the ice cover of the Sea of Azov:

1 – ice cover after [23]; 2 – ice cover after [21]

покрова непосредственно влияют также динамическое воздействие ветра, адвекция тепла черноморскими течениями, краткосрочные колебания уровня моря, ветровое волнение [2]. В совокупности эти факторы обуславливают чрезвычайно сложную картину изменчивости ледовых условий во времени и пространстве [5].

Межгодовая динамика характеристик ледяного покрова по данным наблюдений. Главный показатель ледового режима замерзающего водоема – ледовитость, т.е. степень покрытия льдом акватории моря, выраженная в процентах [25]. Значения ледовитости в Азовском море от сезона к сезону значительно изменяются. Так, ледовитость одной зимы (в целом) может в 15 раз превышать ледовитость другой [13]. Наибольшего развития ледовитость достигает в феврале, при этом максимальные значения за сезон изменяются от 13–20% в мягкие зимы (например, 1954/55, 2013/14 гг.) до 90–100% в умеренные (например, 2010/11, 2011/12 гг.) и суровые зимы (например, 1953/54, 1955/56, 2002/03 гг.). По данным разных источников, значение ледовитости за среднемноголетний период колеблется от 16 [21] до 63% [12]. При этом средняя ледовитость – наиболее спорная характеристика, поскольку зависит от регулярности измерений площади льда в зимний сезон. Наиболее точны в этом отношении – результаты модельных расчётов. Так, в работе [21] представлена динамика средней за зимний сезон ледовитости Азовского моря за 1920–2016 гг., рассчитанная с помощью мультикомпарментальной балансовой гидрологической модели [30]. Полученные значения согласуются с оценками ледовитости по данным наблюдений

в 1950–1977 гг., приведёнными в работе [1], – коэффициент корреляции равен 0,92. Поскольку для некоторых зимних сезонов невозможно достоверно оценить среднюю ледовитость Азовского моря за зиму из-за недостаточного объёма наблюдений, в настоящей работе результаты моделирования рассматриваются в качестве альтернативного источника информации [21].

По данным многолетних наблюдений, среднемноголетнее значение ледовитости с 1950 по 2015 г. составляет 33%. Ледовитость моря в суровые зимы в среднем составляет около 52%, в умеренные – около 36%, в мягкие – около 26% (рис. 2). В зависимости от суровости зимы от сезона к сезону изменяется степень покрытия поверхности воды дрейфующим льдом, т.е. меняется сплочённость льда. Она рассчитывается как отношение площади льдин в зоне, где они распределены равномерно, к общей площади этой зоны, и выражается в десятых долях [31]. В умеренные и суровые зимы преобладают очень сплочённые и сплочённые льды (9–10 баллов) (рис. 3). Вероятность их встречи уменьшается от берегов к центру моря от 80–60% в умеренные зимы до 70–100% – в суровые [1].

В многолетнем режиме лёд сплочённостью 9–10 баллов чаще всего встречается в Таганрогском заливе. В зависимости от суровости метеорологических условий он может занимать либо всю акваторию моря, либо только прибрежные районы (Таганрогский залив, Бейсугский лиман, Утлюкский залив). Лёд сплочённостью 7–8 баллов располагается в направлении с северо-восточной части моря на юго-западную, нередко занимая и центральную часть моря.

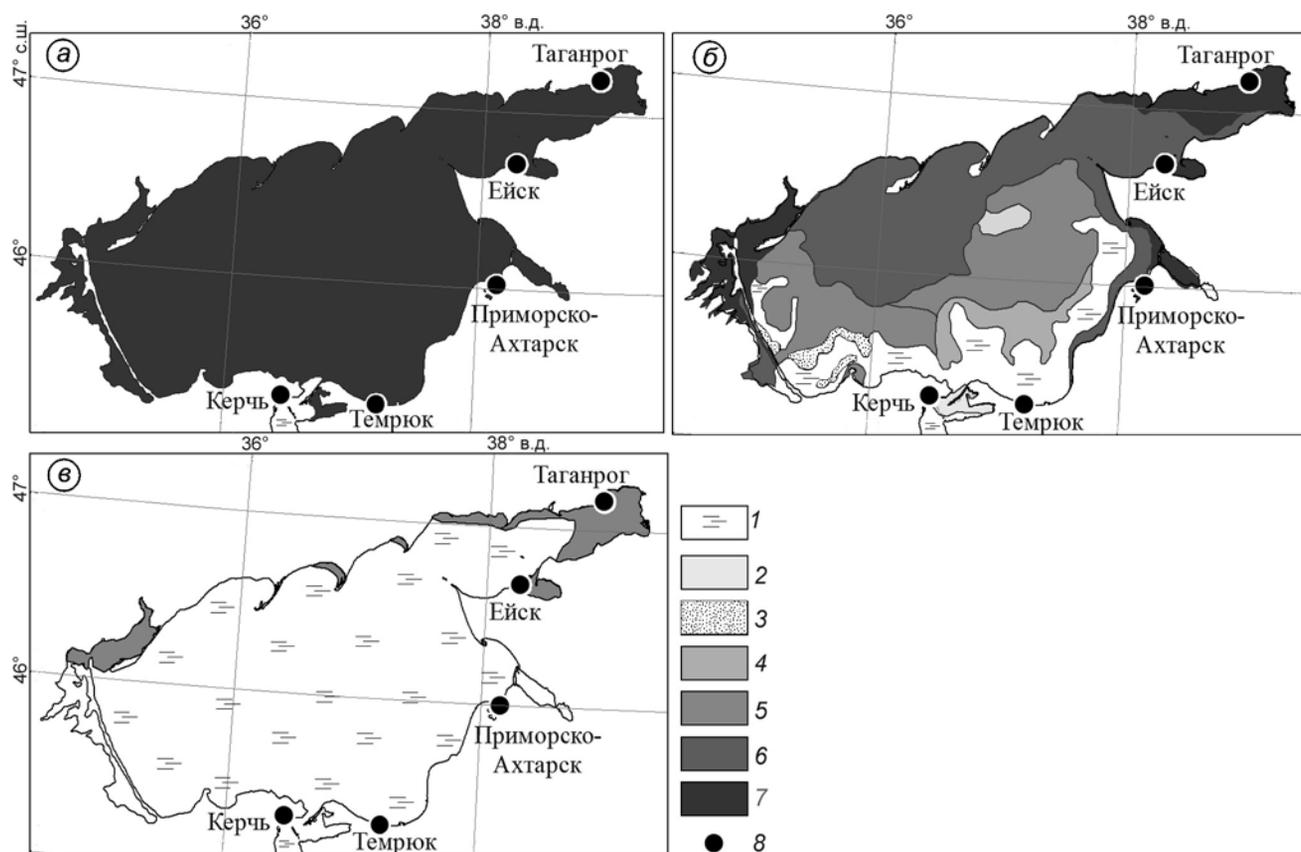


Рис. 3. Распределение льда в Азовском море:

a – в суровую зиму (1953/54 г.); *б* – в умеренную зиму (2007/08 г.); *в* – в мягкую зиму (2006/07 г.);

1 – чистая вода; сплочённость льда, баллы: 2 – 3–5/10; 3 – 4–6/10; 4 – 5–7/10; 5 – 7–8/10; 6 – 9–10/10; 7 – 10/10; 8 – пункты наблюдений

Fig. 3. Distribution of ice in the Sea of Azov:

a – in severe winter (1953/54); *b* – in moderate winter (2007/08); *v* – in soft winter (2006/07);

1 – ice free; ice concentration, points: 2 – 3–5/10; 3 – 4–6/10; 4 – 5–7/10; 5 – 7–8/10; 6 – 9–10/10; 7 – 10/10; 8 – stations of observation

В мягкие зимы этот тип льда преобладает в феврале, в умеренные – в марте. Лёд сплоченностью 4–6 баллов наблюдается в центральном и юго-восточном районах моря.

Немаловажный показатель динамики ледового режима – изменение площади неподвижного или припайного льда. Припай образуется, как правило, через 5–7 дней после первого появления льда. К концу декабря почти на всём Таганрогском заливе, Утлюкском, Ахтарском и Бейсугском лиманах отмечается припай. В мягкие зимы припай отмечается в вершине Таганрогского залива. В экстремально суровые зимы в январе–феврале вся акватория моря покрывается припайным льдом (например, зимы 1953/54 и 2002/03 гг.). В разработанной ГИС регулярные и точные данные о припае в Азовском море, определённые по космическим снимкам, имеются с

2000 по 2015 г. (рис. 4). За этот период средне-многолетняя площадь припая составляет около 2,5 тыс. км² или 6,3% общей площади моря.

По данным, приведённым в [2], в среднем за многолетний период ледообразование начинается с северных и северо-восточных районов моря, распространяясь затем на запад. Первое появление льда отмечается в Таганрогском заливе и приустьевой области р. Дон. Немного позже лёд образуется в Приморско-Ахтарске, а затем в Ейске. Самое позднее лёдообразование за зимний сезон отмечается в южной части моря (а иногда его там не происходит вообще) – в конце декабря, что обусловлено влиянием тёплых черноморских вод. В таком же порядке изменяется продолжительность ледового периода: максимальные значения отмечаются в Таганроге, минимальные – в Керчи и Темрюке. Сред-

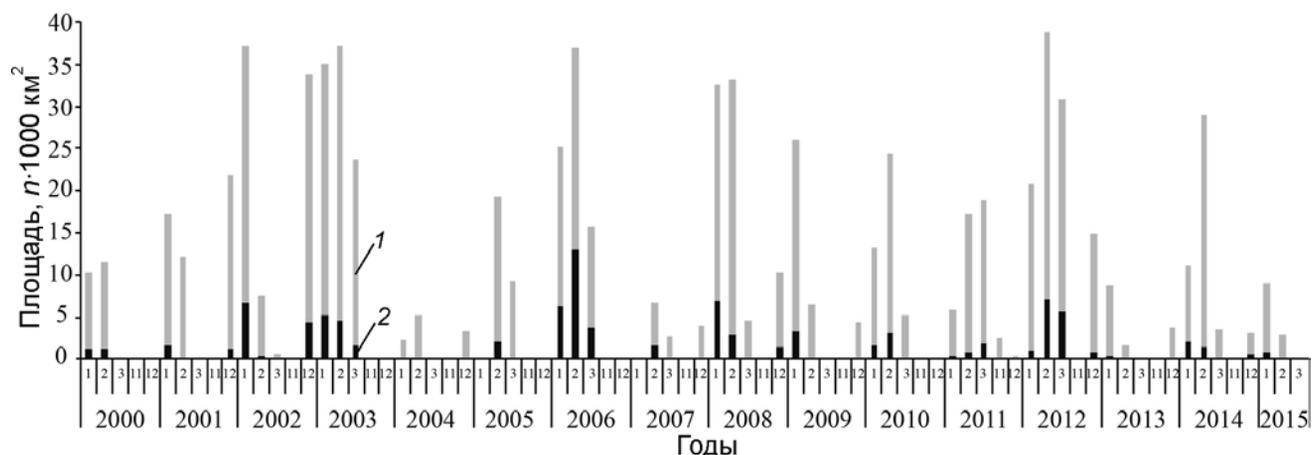


Рис. 4. Среднемесячные значения площади припая и площади льда за период с 2000 по 2015 г.:
1 – среднемесячные значения площади льда, км²; 2 – среднемесячные значения площади припая, км²; 1 – январь; 2 – февраль; 3 – март; 11 – ноябрь; 12 – декабрь

Fig. 4. Average monthly values of the fast ice area and ice area for the period 2000–2015:
1 – monthly average values of ice area, km²; 2 – monthly average values of fast ice area, km²; 1 – January; 2 – February; 3 – March; 11 – November; 12 – December

Таблица 1. Среднегодовые даты наступления ледовых фаз в Азовском море за период с 1916 по 2015 г.

| Гидрометеостанции | Дата появления льда | | | Дата очищения ото льда | | |
|-------------------|---------------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|
| | средняя | ранняя | поздняя | средняя | ранняя | поздняя |
| Таганрог | 30.11 | 17.10.1976 | 18.01.2010 | 21.03 | 18.02.1927 | 23.04.1929 |
| Ейск | 13.12 | 03.11.1925 | 24.02.2007 | 26.03 | 15.01.2013 | 24.04.1929 |
| Приморско-Ахтарск | 07.12 | 01.11.1947 | 23.02.2004 | 22.03 | 28.01.1995 | 19.04.1929 |
| Темрюк | 31.12 | 13.11.1993 | 04.03.1955 | 1.03 | 29.12.1998 | 03.05.1929 |
| Керчь | 29.12 | 19.10.1976 | 26.02.1938 | 28.02 | 25.12.1998 | 07.04.1954 |

Таблица 2. Среднегодовая продолжительность ледостава в Азовском море (дни) по разным данным

| Гидрометеостанции | [5, 32] (1927–2005 гг.) | [33] (период наблюдений не указан) | [15] (1922–2011 гг.) | Настоящее исследование (1916–2015 гг.) |
|-------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------|--|
| Таганрог | 121 | 122 | 111 | 115 |
| Ейск | 98 | 100 | 94 | 96 |
| Приморско-Ахтарск | 102 | 89 | 93 | 95 |
| Темрюк | 70 | 63 | - | 62 |
| Керчь | 73 | 73 | 61 | 63 |

немноголетние даты наступления ледовых фаз, полученные в ходе настоящего исследования, приведены в табл. 1. По сравнению с опубликованными данными [5, 15, 32, 33] продолжительность ледостава Азовского моря уменьшилась для разных пунктов наблюдений от 7 до 10 дней и составила 115 дней на ГМС Таганрог и 63 дня на ГМС Керчь (табл. 2). Это может быть связано, с одной стороны, со смягчением температурных условий в регионе, а с другой – с длительностью рассматриваемого периода наблюдений.

Типизация зим по степени суровости. За 133-летний период метеонаблюдений (1883–2015 гг.) в соответствии с принятой методикой выделено 15 суровых зим, 70 умеренных и 40 мягких, что в процентном соотношении составляет 12, 56 и 32% соответственно (табл. 3, рис. 5). Чтобы оценить произошедшие долговременные изменения, 133-летний ряд данных был разделён на два периода: 1883–1958 гг. (68 лет) и 1959–2015 гг. (57 лет). Сопоставление полученных значений с типизацией зим за 1883–1958 гг., выполненной в [2], пока-

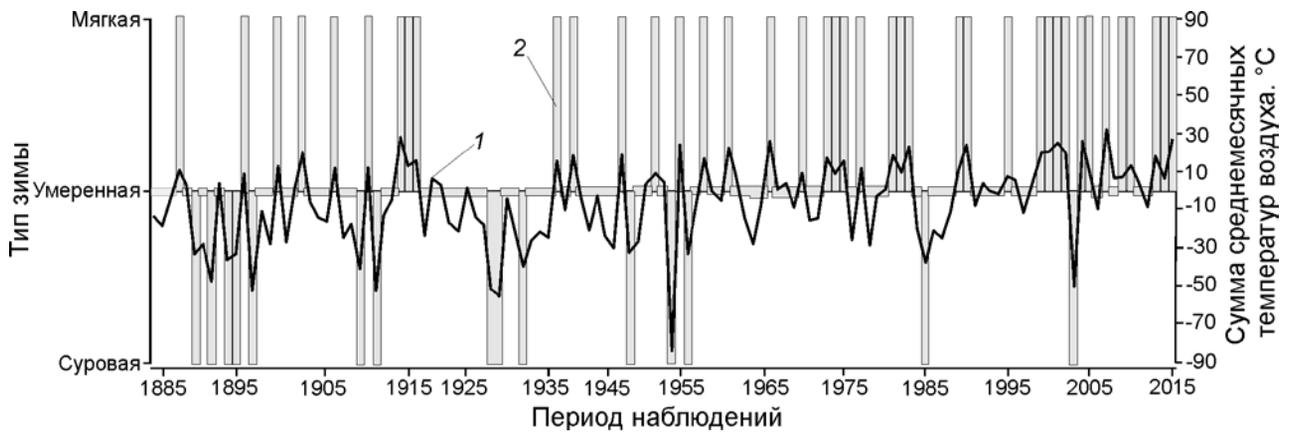


Рис. 5. Сумма сумм среднемесячных температур воздуха и типизация зим по степени суровости Азовского моря за период с 1885 по 2015 г.:

1 – сумма сумм среднемесячных температур воздуха (°C) за зимний период (декабрь – март) по трём гидрометеорологическим станциям: Таганрог, Геническ, Керчь; 2 – тип зимы

Fig. 5. The sum of sums of the monthly average air temperatures and winter types by the severity index of the Sea of Azov for the period 1885–2015:

1 – sum of sums of monthly average air temperatures (°C) at winter period (December – March) by three weather station: the Taganrog, the Genichesk, the Kerch; 2 – type of winter

Таблица 3. Число зим различной суровости (числитель, в знаменателе в %) в регионе Азовского моря за период с 1883 по 2015 г.

| Тип зимы | 1883–1958 гг., по [2] | Настоящее исследование | | |
|-----------|-----------------------|------------------------|---------------|---------------|
| | | 1883–1958 гг. | 1959–2015 гг. | 1883–2015 гг. |
| Суровая | 8/11,7 | 14/20,5 | 3/5,0 | 15/12,0 |
| Умеренная | 39/57,5 | 39/57,5 | 29/51,0 | 70/56,0 |
| Мягкая | 21/30,8 | 15/22 | 25/44,0 | 40/32,0 |

зало, что длительность периода наблюдений непосредственно влияет на предельные значения сумм среднемесячных температур [28].

Согласно полученным данным, в азовском регионе преобладают зимы умеренного типа (см. табл. 3). Так, с 1883 по 1958 г. наблюдается примерно равное число суровых и мягких зим, но уже во второй половине XX – начале XXI вв. число суровых зим сократилось, а мягких и умеренных – увеличилось. Ранее в работе [2] отмечалось, что закономерности в последовательности зим разной суровости не установлено. Однако обработка и анализ более чем векового ряда натурных наблюдений позволяют сделать вывод, что 2–3 сезона подряд повторяются умеренные и мягкие зимы, при этом число суровых зим уменьшается и с 1960 г. они отмечаются раз в 15–20 лет. Данный факт указывает на некоторое потепление в регионе [28]. Такие выводы не

согласуются с некоторыми ранее выполненными исследованиями [18, 19].

Самая суровая в ряду наблюдений – зима 1953/54 г. Сумма среднемесячных температур воздуха в регионе составила $-84,3$ °C. При этом минимальные температуры за сутки опускались в среднем до $-29,5$ °C. В умеренные по температурным условиям зимы (например, 1952/53, 1970/71, 2007/08 гг.) сумма среднемесячных температур воздуха изменяется от $-27,7$ до $+5,9$ °C. Минимальные среднесуточные температуры воздуха достигают значений $-28,4$ °C. Самая мягкая – зима 2006/07 г., когда сумма среднемесячных температур воздуха была равна $31,5$ °C, а минимальная среднесуточная температура воздуха в регионе составила $-15,9$ °C (ГМС Таганрог).

Отметим, что не все месяцы в течение суровой зимы такие, как отмечалось в работе [2]. Часто тенденцию задают один–два месяца (обычно январь и февраль), которые в дальнейшем и определяют тип зимы. Поэтому минимальные температуры воздуха в различные по типу зимы часто одинаковы, изменяется лишь их повторяемость в течение сезона. Так, в самую суровую зиму 1953/54 г. устойчивые низкие температуры воздуха (ниже -10 °C) наблюдались с середины декабря до середины марта, а в умеренную зиму 1970/71 г. – всего семь дней. Поэтому при характеристике суровости зим необ-

Таблица 4. Пороговые значения характеристик для ГМС Таганрог (числитель) и ГМС Керчь (знаменатель)

| Характеристики | Суровый период | Умеренный период | Мягкий период |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Σ , °С | $\leq -16,3 / \leq -2$ | $-16,3 \div -1,5 / -2 \div 11,4$ | $\geq -1,5 / \geq 11,4$ |
| Минимальная температура, °С | $\leq -23,2 / \leq -13,7$ | $-23,2 \div -16,4 / -13,7 \div -7,4$ | $\geq -16,4 / \geq -7,4$ |
| Ледовитость Азовского моря, % | $\geq 46,4$ | $22,5 \div 46,4$ | $\leq 22,5$ |
| Продолжительность ледостава, дни | $\geq 130 / \geq 83$ | $86-130 / 40-83$ | $\leq 86 / \leq 40$ |

ходимо учитывать дополнительные параметры, на что указывают и авторы методики в работе [2]. Для этого в рамках настоящей работы разработан новый универсальный комплексный подход и выполнена классификация зимних периодов в регионе Азовского моря, учитывающие многолетнюю динамику основных характеристик (значение и дата минимальной температуры воздуха для прибрежных ГМС за зимний сезон; среднее значение ледовитости Азовского моря за сезон, %; начало, конец (даты) и продолжительность ледостава, дни) ледового режима Азовского моря и суровость температурных условий.

Классификация зимних периодов. С 1950 по 2015 г. в ГМС Таганрог отмечается девять суровых зимних периодов, 43 умеренных и 14 мягких, в ГМС Керчь – соответственно 10, 40 и 16 (рис. 6). Каждый тип характеризуется определённым сочетанием метеорологических условий. Пороговые значения параметров представлены в табл. 4.

Класс «-1» – суровые зимние периоды. Минимальные среднесуточные температуры воздуха, отмеченные в эти периоды, достигают $-29,5$ °С для ГМС Таганрог и $-19,3$ °С для ГМС Керчь. Суммы среднесезонных температур воздуха за зимний период изменяются от $-5,9$ до $-35,8$ °С для ГМС Таганрог, от $1,7$ до $-19,3$ °С для ГМС Керчь. Среднее значение ледовитости за сезон составляет 52%, при этом ледостав продолжается до 166 дней (среднемноголетнее значение 115 дней) для ГМС Таганрог и до 133 дней (среднемноголетнее значение 63) для ГМС Керчь.

Класс «0» – умеренные зимние периоды. Все показатели ледового режима Азовского моря изменяются в пределах среднемноголетних значений. Суммы среднесезонных температур воздуха для ГМС Таганрог составляют от $-22,0$ до $3,9$ °С. В ГМС Керчь сумма среднесезонных температур воздуха в основном положительна и варьирует от $-1,0$ до $14,4$ °С. Минимальные среднесуточные температуры воздуха, характерные для данного класса, не опускаются ниже $-28,4$ °С для ГМС Таганрог и

$-20,8$ °С для ГМС Керчь. Ледовитость Азовского моря составляет 35–60%. Продолжительность ледостава в этот период составляет 81–148 дней для ГМС Таганрог и 9–118 дней для ГМС Керчь.

Класс «1» – мягкие зимние периоды. Для них характерен непродолжительный ледостав: от 36 до 105 дней для ГМС Таганрог и 3–95 дней для ГМС Керчь. Значения самых низких температур воздуха составляют $-22,6$ °С для ГМС Таганрог и $-14,3$ °С для ГМС Керчь, но сумма среднесезонных температур воздуха при этом часто положительная: за десять мягких зимних периодов отрицательная сумма температур отмечена для четырёх зимних периодов на ГМС Таганрог и не отмечена совсем на ГМС Керчь. Суммы среднесезонных температур изменяются от $-6,4$ до 9 °С для ГМС Таганрог и от $2,7$ до $21,4$ °С для ГМС Керчь. Ледовитость Азовского моря составляет 20–40%.

За исследуемый период (1950–2015 гг.) в целом в Азовском море преобладают умеренные зимние периоды (65% для ГМС Таганрог и 61% для ГМС Керчь), которые сменяются мягкими периодами (21% для ГМС Таганрог и 24% для ГМС Керчь), реже суровыми (14% для ГМС Таганрог и 15% для ГМС Керчь). Таким образом, для всех рассмотренных параметров ледового режима характерны существенные изменения за более чем 50-летний период. Преобладание мягких зим в регионе и, как следствие, сокращение продолжительности ледостава, площади акватории, занятой льдом, в том числе припайным, – все эти факторы позволяют сделать вывод о некотором потеплении в регионе и смягчении ледовых условий моря, особенно за последние десятилетия.

Заключение

Выполнено исследование многолетней динамики ледового режима Азовского моря на основе картосхем ледовой обстановки и данных наблюдений с прибрежных ГМС (Таганрог,

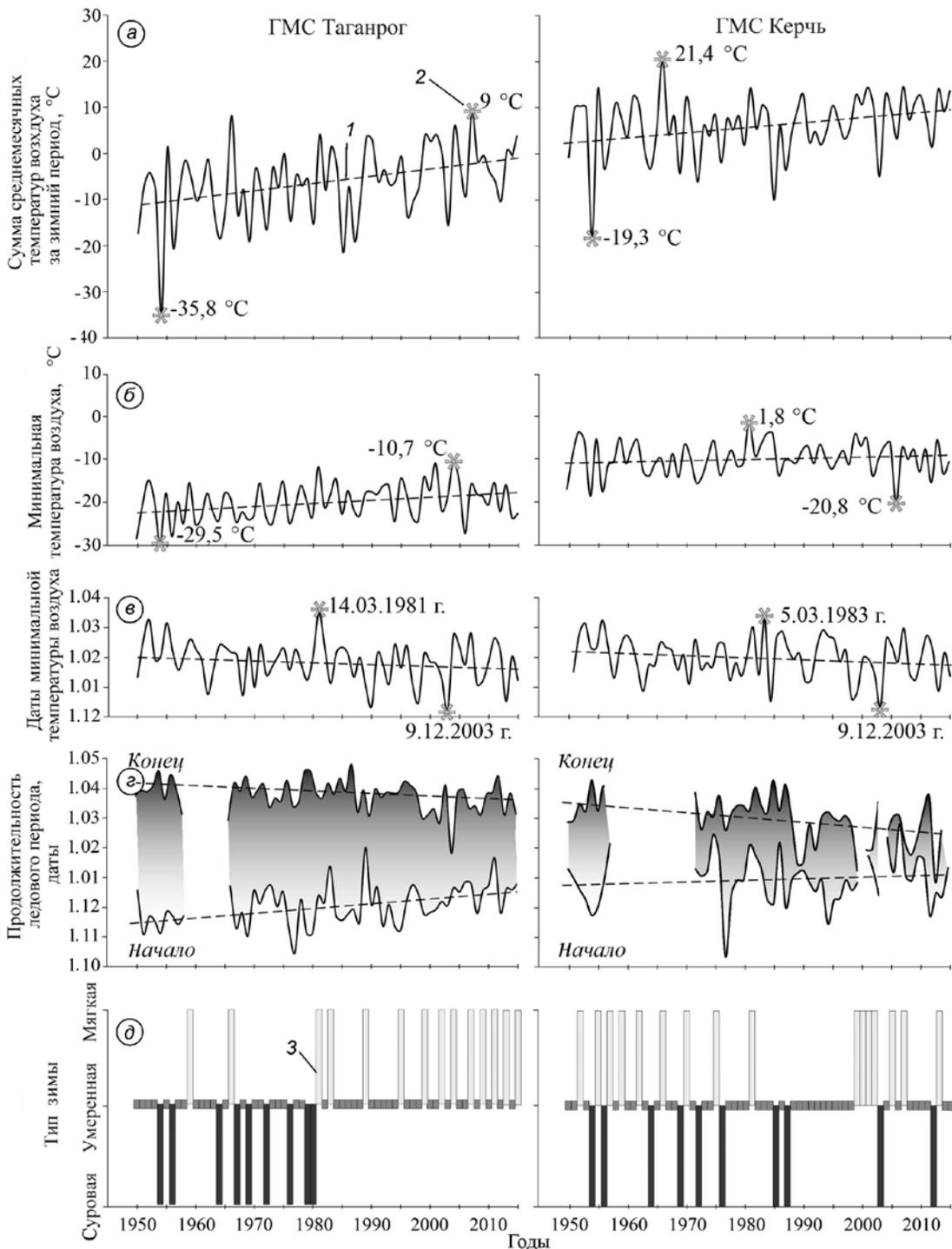


Рис. 6. Классификация зимних периодов по ледовым характеристикам для Азовского моря за период с 1950 по 2015 г.:

a – сумма среднемесячных температур воздуха (°C) за зимний период; *b* – минимальная температура воздуха (°C), отмеченная в зимний сезон (декабрь–март); *в* – даты минимальной температуры воздуха, отмеченной за зимний сезон (декабрь–март); *г* – продолжительность ледового периода, даты; *д* – класс зимнего периода; 1 – линия тренда; 2 – максимальные и минимальные значения параметров; 3 – суровый, умеренный, мягкий тип зимы

Fig. 6. Classification of winter periods by ice characteristics for the Sea of Azov for the period 1950–2015: *a* – sum of average air temperatures (°C) for winter period; *b* – minimum air temperature (°C), recorded in the winter season (December–March); *в* – dates of the minimum air temperature, recorded in the winter season (December–March); *г* – duration of the ice period, dates; *д* – winter period; 1 – trend line; 2 – maximum and minimum values of parameters; 3 – severe, moderate, mild types of winter

Ейск, Приморско-Ахтарск, Темрюк, Керчь). Проанализированы основные характеристики ледового режима моря: ледовитость, сплочённость, продолжительность ледостава. Показано, что среднемноголетнее значение ледовитости за исследуемый период составляет 33%, уточнено значение средней продолжительности ледостава. Так, по сравнению с литературными источниками [5, 15, 32, 33] она уменьшилась для разных пунктов наблюдений Азовского моря от 7 до 10 дней и составила 115 дней на ГМС Таганрог и 63 дня на ГМС Керчь.

На основе существующей методики [2], усовершенствованной и адаптированной для условий Азовского региона, выполнена типизация зим по степени суровости. Такой подход позволил обобщить длительный ряд наблюдений и более объективно подойти к анализу данных. Установлены тенденции внутривековых изменений. Для Азовского региона характерно сокращение числа суровых зим во второй половине XX в. — начале XXI в. Увеличение суммы среднемесячных температур воздуха приводит к смягчению зимних/ледовых условий. За период 1883–2015 гг. по степени суровости выделено 15 суровых, 70 умеренных и 40 мягких зим. Связь с такими компонентами ледового режима, как ледовитость и сплочённость льда, отражается в изменении этих характеристик в зависимости от типа зимы. Так, ледовитость моря в суровые зимы в среднем составляет около 52%, в умеренные — около 36%, в мягкие — около 26%, а наибольшего развития очень сплочённый

и сплочённый лёд (9–10 баллов) достигает в суровые и умеренные зимы.

Разработан новый подход и выполнена классификация зимних периодов на основе ряда факторов: типов зим для прибрежных ГМС (суровая, умеренная, мягкая); значений и дат минимальной температуры воздуха для прибрежных ГМС за зимний сезон; средних значений ледовитости Азовского моря за сезон, %; начала, конца (даты) и продолжительности ледостава (дни). Определены пороговые значения для каждого фактора. С 1950 по 2015 г. в Азовском море выделено 9 суровых, 43 умеренных и 14 мягких классов зим для ГМС Таганрог и соответственно 10 суровых, 40 умеренных и 16 мягких классов зим для ГМС Керчь. В дальнейшем предполагается дополнить разработанную классификацию оценками степени аридности региона и применить описанный подход для исследования ледового режима Каспийского моря.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00318 мол_а и при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41190 РГО_а.

Acknowledgments. The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 16-35-00318 мол_а and by RFBR and Russian Geographical Society according to the research project No. 17-05-41190 РГО_а.

Литература

1. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР: Т. 3. Азовское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 218 с.
2. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 853 с.
3. *Julius Büdel.* Das Eis im Kaspisee // *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie.* 1943. Jg. 71. S. 118–121.
4. Государственный водный кадастр: Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек: Разд. 1 Поверхностные воды: Сер. 2. Ежегодные данные. Т. 13 Азовское море / Государственный океанографический институт, Севастопольское отделение. ВНИИГМИ, 1988. 114 с.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР: Т. V. Азовское море. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. 237 с.

References

1. *Gidrometeorologicheskie usloviya shel'fovoy zony morey SSSR. T. 3. Azovskoe more.* Hydrometeorological conditions of the shelf zone of seas in the USSR. V. 3. The Sea of Azov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986: 218 p. [In Russian].
2. *Gidrometeorologicheskii spravochnik Azovskogo morya.* Hydrometeorological directory of the Sea of Azov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1962: 853 p. [In Russian].
3. *Büdel J.* Das Eis im Kaspisee. *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie.* 1943, 71: 118–121.
4. *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr: Ezhegodnye dannye o rezhime i kachestve vod morey i morskikh ust'ev rek: Razdel 1. Poverhnostnye vody: Ser. 2. Ezhegodnye dannye. T. 13 Azovskoe more.* State Water Cadastre: Annual Data on the Regime and quality of water of seas and marine estuaries of rivers: Section 1. Surface Water: Series 2. Annual data. V. 13 The Sea of Azov. State

6. ФГБУ «Научно-исследовательский центр «Планета» <http://planet.iitp.ru/> [Электронный ресурс].
7. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане «ЕСИМО» <http://portal.esimo.ru/portal> [Электронный ресурс].
8. Zhang J., Rothrock D.A. Modeling global sea ice with a thickness and enthalpy distribution model in generalized curvilinear coordinates // *Monthly Weather Review*. 2003. V. 131. № 5. P. 845–861.
9. Бердников С.В., Чикин А.Л., Дашкевич Л.В., Яицкая Н.А. Подходы к краткосрочному прогнозированию ледового режима Азовского моря // *Экология. Экономика. Информатика. Материалы Всерос. объединённой конф. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2014. С. 233–237.*
10. Голубева Е.Н., Платов Г.А., Якшина Д.Ф. Численное моделирование современного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана // *Лёд и Снег*. 2015. № 2 (130). С. 81–92.
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: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
12. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М.: ИГ–СОЦИН, 2014. 608 с.
13. 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.
14. Дьяков Н.Н., Тимошенко Т.Ю., Белогудов А.А. Изменение ледовых условий Азово-черноморского бассейна // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2014. № 28. С. 122–137.
15. Думанская И.О. Типовые условия на основных судоходных трассах морей европейской части России для зим различной суровости // *Тр. Гидрометцентра РФ*. 2013. № 350. С. 142–166.
16. 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.
17. Федоренко А.В. Исследование сезонных и внутривековых колебаний основных ледовых параметров на южных морях (Азовское и Каспийское) // *Тр. ГОИН*. 2011. Т. 215. С. 15–25.
- Oceanographic Institute, Sevastopol Branch. VNIIG-MI, 1988: 114 p. [In Russian].
5. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey SSSR. T. V. Azovskoe more*. Hydrometeorology and hydrochemistry of the USSR seas. V. 5. The Sea of Azov. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991: 237 p. [In Russian].
6. <http://planet.iitp.ru/>.
7. <http://portal.esimo.ru/portal>.
8. Zhang J., Rothrock D.A. Modeling global sea ice with a thickness and enthalpy distribution model in generalized curvilinear coordinates. *Monthly Weather Review*. 2003, 131 (5): 845–861.
9. Berdnikov S.V., Chikin A.L., Dashkevich L.V., Yaitskaya N.A. Approaches to short-term forecasting of the ice regime of the Sea of Azov. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Materialy Vserossiyskoy ob"edinennoy konferentsii*. Ecology. Economy. Informatics Materials of the All-Russia Joint Conf. 2014: 233–237. [In Russian].
10. Golubeva E.N., Platov G.A., Yakshina D.F. Numerical modeling of the current state of waters and sea ice in the Arctic Ocean. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2015, 2 (130): 81–92. [In Russian].
11. Matishov G.G., Berdnikov S.V., Zhichkin A.P., Makarevich P.R., Dzhenyuk S.L., Kulygin V.V., Yaitskaya N.A., Povazhnyi V.V., Sheverdyaev I.V., Kumpan S.V., Tretyakova I.A., Tsygankova A.E. *Atlas klimaticheskikh izmeneniy v bol'shikh morskikh ekosistemakh Severnogo polushariya (1878–2013). Region 1. Morya Vostochnoy Arktiki. Region 2. Chyornoe, Azovskoe i Kaspiyskoe morya*. 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: RAS, 2014: 256 p. [In Russian].
12. Dumanskaya I.O. *Ledovye usloviya morey evropeyskoy chasti Rossii*. Ice conditions of the seas of the European part of Russia. Moscow, 2014: 608 p. [In Russian].
13. Bukatov A.E., Zav'yalov D.D., Bukatova O.M., Solomakha T.A. Influence of the ice cover on wave disturbances in the Sea of Azov. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal*. Marine Hydrophysical Journal. 2001, 4: 11–22. [In Russian].
14. Dyakov N.N., Timoshenko T.YU., Belogudov A.A. Change in the ice conditions of the Azov-Black Sea basin. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon morya 2014*. Ecological safety of the coastal and offshore zones of the sea. 2014, 28: 122–137. [In Russian].
15. Dumanskaya I.O. Typical conditions on the main navigable routes of the seas of the European part of Russia for winters of varying severity. *Trudy Gidrometcentra Rossii*. Proc. of the Hydrometcentre of Russia. 2013, 350: 142–166. [In Russian].
16. 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. *Fizicheskie problemy ekologii*. Physical problems of ecology. 2012, 18: 48–72. [In Russian].
17. Fedorenko A.V. The study of seasonal and intra-annual variations of the main ice parameters on the southern

18. Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Чикина Л.Г. Ледовый режим Азовского моря и климат в начале XXI века // ДАН. 2014. Т. 457. № 5. С. 603–607.
19. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Сорокина В.В., Левитус С., Смоляр И.В. Внутри-вековые флуктуации климата Азовского моря (по термохалинным данным за 120 лет) // ДАН. 2008. Т. 422. № 1. С. 106–109.
20. 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.
21. 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 // Современ. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 91–100.
22. Яицкая Н.А., Салтановская Е.В. Геоинформационная система ледового режима южных морей России // Экология, экономика, информатика. Т. 2: Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии. Геоинформационные технологии и космический мониторинг (п. Абрау-Дюрсо, 8–13 сентября 2013 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. С. 217–219.
23. Магаева А.А., Яицкая Н.А., Лихтанская Н.В., Дашкевич Л.В. Развитие геоинформационной системы ледового режима южных морей России // Экология. Экономика. Информатика. Т. 3: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2015. С. 269–275.
24. <http://desktop.arcgis.com/ru/> [Электронный ресурс].
25. Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт <http://www.aari.ru/> [Электронный ресурс].
26. Электронный ресурс: Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швеиц Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных>
27. Бухарицин П.И. Сравнительные характеристики многолетней изменчивости ледяного покрова северной части Каспийского и Азовского морей // Вестн. Астраханского гос. техн. ун-та. 2008. № 3. С. 207–213.
28. Магаева А.А., Яицкая Н.А. Типизация зим в регионе Азовского моря по степени суровости // Экология, экономика, информатика. Азов- seas (the Sea of Azov and the Caspian Sea). *Trudy GOIN. Proc. of the GOIN.* 2011, 215: 15–25. [In Russian].
18. Matishov G.G., Chikin A.L., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Chikina L.G. Ice regime of the Sea of Azov and the climate at the beginning of the XXI century. *Doklady akademii nauk. Doklady Earth Sciences.* 2014, 457 (5): 603–607. [In Russian].
19. 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 akademii nauk. Doklady Earth Sciences.* 2008, 422 (1): 106–109. [In Russian].
20. Borovskaya R.V. Features of the ice regime of the Kerch Strait over the past 15 years according to satellite observations. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon.* Ecological safety of coastal and shelf zones. 2006, 14: 253–258. [In Russian].
21. 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. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* Current problems of remote sensing of the Earth from space. 2016, 13 (5): 91–100. [In Russian].
22. Yaitskaya N.A., Saltanovskaya E.V. Geoinformation system of the ice regime of the southern seas of Russia. *Ekologiya, ekonomika, informatika. T. 2: Geoinformatsionnye nauki i ekologicheskoe razvitie: novye podkhody, metody, tekhnologii. Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring (Abray-Dyurso, 8–13 sentyabrya 2013 g.).* Rostov-na-Donu: Izd-vo YUFU. Ecology, economics, informatics. T. 2: Geoinformation sciences and ecological development: new approaches, methods, technologies. Geoinformation technologies and space monitoring (Abray-Durso, September 8–13, 2013). Rostov-on-Don: Publishing house of SFEDU. 2013: 217–219. [In Russian].
23. Magaeva A.A., Yaitskaya N.A., Likhanskaya N.V., Dashkevich L.V. Development of geoinformation system of the Russian southern seas ice conditions. *Ekologiya, ekonomika, informatika. T. 3: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring.* Ecology, Economy, Informatics. Geoinformation technologies and space monitoring. Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishers, 2015, 3: 269–275. [In Russian].
24. <http://desktop.arcgis.com/ru/>.
25. <http://www.aari.ru/>.
26. <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных>.
27. Bukharitsyn P.I. Comparative characteristics of long-term variability of the ice cover in the north part of the Caspian Sea and Sea of Azov. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* Herald of the Astrakhan State Technical University. 2008, 3: 207–213. [In Russian].
28. Magaeva A.A., Yaitskaya N.A. Winter types in the region of the Sea of Azov by the severity index. *Ekologiya, ekonomika, informatika. Azovskoe more, Kerchenskiy proliv i predprolivnye zony v Chernom more: problemy upravleniya pribrezhnymi territoriyami dlya obespech-*

- ское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Черном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Сб. материалов III Всероссий. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. С. 240–248.
29. Магаева А.А., Яицкая Н.А. Классификация зимних периодов в зависимости от ледовых условий в Азовском море // Материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных географических исследований», посвящ. 220-летию выдающегося русского мореплавателя, географа, вице-председателя Русского географического общества Ф.П. Литке в рамках XIII Большого географического фестиваля. СПб: Свое изд-во, 2017. [Электронное издание]. С. 84–87.
30. Бердников С.В. Моделирование крупномасштабных изменений океанологических характеристик экосистемы Азовского моря // Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. С. 137–229.
31. Атлас ледовых образований. Л.: Изд-во ААНИИ, 1974. 141 с.
32. Морской гидрометеорологический ежегодник 1958 г. Азовское море. Ч. 1. Прибрежные наблюдения. Севастополь, 1977. 138 с.
33. Никифорова Н.А. Экстремальная продолжительность ледового периода на Азовском море зимой 1979/80 г. // Тр. Гидрометцентра СССР. 1983. № 256. С. 55–60.
- eniya ekologicheskoy bezopasnosti i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: sbornik materialov III Vserossiyskoy konf. Ecology. Economy. Informatics. The Sea of Azov, the Kerch Strait and near-strait zones in the Black Sea: the problems of management of coastal territories to ensure ecological safety and sustainable nature exploitation. Rostov-on-Don: Publishing house of Southern Federal University, 2016: 240–248. [In Russian].*
29. *Magaeva A.A., Yaitskaya N.A. Classification of winter periods depending on ice conditions in the Sea of Azov. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Teoriya i praktika sovremennykh geograficheskikh issledovaniy». Materials of the international scientific and practical conf. of students, graduate students and young scientists «Theory and practice of modern geographical research». Sankt Petedrsburg, 2017. [Electronic edition]: 84–87. [In Russian].*
30. *Berdnikov S.V. Modeling of large-scale changes in the oceanological characteristics of the Sea of Azov ecosystem. Zakonomernosti ekosistemnykh protsessov v Azovskom more. Regularities of ecosystem processes in the Sea of Azov. Moscow: Nauka, 2006: 137–229. [In Russian].*
31. *Atlas ledovykh obrazovaniy. Atlas of ice formations. Leningrad: AARI, 1974: 141 p. [In Russian].*
32. *Morskoy gidrometeorologicheskyy ezhegodnik 1958 g. Azovskoe more. Chast' 1. Pribrezhnye nablyudeniya. Marine Hydrometeorological Yearbook 1958. The Sea of Azov. Part 1. Coastal observations. Sevastopol, 1977: 138 p. [In Russian].*
33. *Nikiforova N.A. Extreme duration of the ice period of the Sea of Azov in the winter of 1979/80. Trudy Gidrometcentra SSSR. Proc. of the USSR Hydrometeorological Center. 1983, 256: 55–60. [In Russian].*