

Водные биоресурсы и среда обитания
2019, том 2, номер 2, с. 7–19
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2019, vol. 2, no. 2, pp. 7–19
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Обзорные статьи

УДК 551.582.3:551.46(262.54)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АЗОВСКОГО МОРЯ В XX – НАЧАЛЕ XXI ВВ.

© 2019 С. В. Бердников, Л. В. Дашкевич, В. В. Кулыгин

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону 344006, Россия
E-mail: berdnikov@ssc-ras.ru

Аннотация. В статье рассмотрена динамика основных климатических условий в регионе, формировавших гидрологический режим Азовского моря в XX – начале XXI вв. На азовском побережье относительно середины – конца XX в. сохраняется тенденция пониженной ветровой активности как в среднем за год, так и для всех сезонов. В результате перестройки климата наблюдается увеличение среднегодового количества осадков по сравнению с первой половиной прошлого века. Пик роста годового количества осадков пришелся на 2010 г., после которого отмечается некоторое снижение. В начале XXI в. в регионе Азовского моря наблюдался наибольший рост температур в годовом исчислении на вековом отрезке времени (до 0,08 °С/год). При этом за 100 лет увеличение среднегодовых температур воздуха составило около 1 °С для Керчи и Генчешка, около 2 °С — для Таганрога, Ейска и Приморско-Ахтарска. Наибольший вклад в повышение внес рост средних зимних и весенних температур, наименьший — осенних. Следует отметить, что с 2010 г. в азовском регионе наблюдается снижение темпов роста температур. Рост годовых температур воды у побережья составил около 1 °С за 100 лет. Отмечено уменьшение средней ледовитости Азовского моря примерно в 2 раза, с 30 % в 1980-х гг. до 16 % в начале XXI в. В вековом ряду наблюдений за соленостью Азовского моря четко прослеживается чередование периодов опреснения и осолонения. С 2007 г. море находится в очередном периоде осолонения, более выраженном, чем считавшееся катастрофическим осолонение 1970-х гг. Современное осолонение связывают с наблюдаемым в регионе снижением количества атмосферных осадков и ростом антропогенного изъятия стока рек. Текущее состояние Азовского моря (значительная положительная аномалия температуры и солености вод) не отмечалось ранее в истории исследования данного водоема, а увеличение среднего квадратичного отклонения рядов среднегодовых значений как по солености, так и по температуре воды может говорить об увеличении изменчивости этих характеристик в современный период.

Ключевые слова: Азовское море, климатические изменения, температура воды, соленость воды

CLIMATIC CONDITIONS AND HYDROLOGICAL REGIME OF THE SEA OF AZOV IN THE XX – EARLY XXI CENTURIES

S. V. Berdnikov, L. V. Dashkevich, V. V. Kulygin

*Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don 344006, Russia
E-mail: berdnikov@ssc-ras.ru*

Abstract. The paper is devoted to consideration of the main climatic conditions dynamics that formed the hydrological regime of the Sea of Azov in the 20th – early 21st centuries. In the Azov coastal region from the mid to end of the 20th century, the trend of reduced wind activity persists, both for average annual and seasonal values. As a result of climate changes, average annual precipitation increased to compare with the first half of the last century. The peak of annual precipitation growth was in 2010, after which a slight decrease is observed. The highest trend of air temperature increase was observed in the region of the Sea of Azov at the beginning of the 21st century (up to 0.08 °C/year). At the same time, for the 100-year period, the increase in average annual air temperatures was about 1 °C for Kerch and Genichesk, and about 2 °C for Taganrog, Yeisk and Primorsko-Akhtarsk. The most part of this increase was due to the growth of average winter and spring temperatures, the least — by the growth of autumn ones. It should be noted that, since 2010, there has been a decrease in temperature growth rate in the Sea of Azov region. The growth of annual water temperatures near the coast of the Sea of Azov is about 1 °C for 100 years. The average ice cover of the Sea of Azov reduced almost by half: from 30 % in the 1980s down to 16 % at the beginning of the 21st century. In the century-long series of observations of the Sea of Azov salinity, there is a clear rotation of desalination and salinization periods. Since 2007, the sea is in yet another period of salinization, more pronounced than the salinization of the 1970s, which was considered disastrous. Modern salinization is associated with a decrease in precipitation in the region and an increase in anthropogenic withdrawal of river flow. The current state of the Sea of Azov (a significant positive temperature and salinity anomaly) has never been recorded previously in the history of its studies. An increase in the standard deviation of the average annual series, both for water temperature and salinity, may indicate an increase in the variability of these characteristics in the modern period.

Keywords: Sea of Azov, climate change, water temperature, water salinity

ВВЕДЕНИЕ

Климат Азовского моря и состояние его биологических ресурсов на протяжении столетий определяют условия жизни и хозяйственную деятельность обширного региона с населением более 20 млн человек, что обуславливает актуальность его изучения.

Исследованию экосистемы Азовского моря посвящено большое число книг и статей. Ряд фундаментальных работ по описанию климата Азовского моря представлен в виде справочников, которые широко использовались для решения научных и прикладных задач [1–3].

Работы по изучению Азовского моря, в которых проводились измерения состояния среды и биологических ресурсов, начались в середине XIX века. В 1922–1928 гг. под руководством Н.М. Книповича в рамках Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции были проведены комплексные исследования Азовского и Черного морей. В 1928–1932 гг.

регулярные экспедиционные работы проводились Азово-Черноморской рыбохозяйственной станцией, преобразованной в Азово-Черноморский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АзЧерНИРО). Создание в 1936 г. Государственным управлением гидрометеослужбы СССР сети гидрометеорологических станций (ГМС) и стандартных гидрологических разрезов на Азовском море послужило основой для систематического сбора данных о состоянии морской среды. Эти работы выполнялись Государственным океанографическим институтом (ГОИН). С 1958 г. Азовским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства (АзНИИРХ) проводятся регулярные экспедиции по исследованию океанографических и биологических характеристик Азовского моря.

С 1997 г. Мурманский морской биологический институт начал проводить экспедиционные исследования в Азовском море. В 1999 г. был организован Азовский филиал института и научно-исследовательская база, оснащенная судами и современ-

ным научным оборудованием. В 2002 г. в Ростове-на-Дону был создан Южный научный центр Российской Академии наук (ЮНЦ РАН). С момента создания центра было организовано свыше 300 научных экспедиций, которые служат основой для получения новых фундаментальных знаний о климатической системе Азовского моря. Результаты исследований отражены в трудах ЮНЦ РАН и многочисленных статьях в российских и зарубежных журналах.

На рубеже XX и XXI вв. в бассейне Азовского моря произошли существенные изменения, которые обусловлены возросшей антропогенной нагрузкой на регион и естественными колебаниями климата. В настоящей статье сделан краткий обзор основных тенденций в изменениях климатических условий и гидрологического режима Азовского моря в XX – начале XXI вв. по результатам исследований и обобщений материалов наблюдений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Начиная с 2004 г., в ЮНЦ РАН при поддержке мирового центра данных НОАА (NODC NOAA) формируется база данных (далее — БД) наблюдений за гидрометеорологическим режимом Азовского моря. В 2006 г. была подготовлена к изданию первая версия БД, которая содержала 14145 станций [4]. В опубликованном в 2008 г. Климатическом атласе Азовского моря БД содержала уже информацию о 35417 морских станциях и данные 89203 прибрежных наблюдений [5]. При подготовке к изданию Климатического атласа девяти больших морских экосистем Северного полушария [6] океанографическая БД Азовского моря была расширена до 66609 морских станций, охватывая период наблюдений 1891–2012 гг. Работы по сохранению и анализу информации продолжаются. В представленной работе для оценки климатических изменений использовались данные наблюдений на прибрежных ГМС, для расчета средней солености Азовского моря — вся имеющаяся БД, в т. ч. экспедиционные наблюдения в открытом море.

Дополнительно для статистического анализа привлекались данные наблюдений на ГМС из общедоступных баз данных российского сайта ООО «Расписание Погоды» (<http://rp5.ru>) и Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (<http://esimo.ru>): срочные наблюдения за скоростью ветра, температурой воздуха и воды, атмосферными осадками. В качестве данных

спутникового мониторинга использовался продукт «Черное море — температура поверхности моря в высоком разрешении» от Европейского центра данных Copernicus (Marine environment monitoring service: <http://marine.copernicus.eu>). В основе этого продукта данные проекта Pathfinder — дешифрованные спутниковые снимки, полученные различными аппаратами, за период 1981–2018 гг.

Статистическая обработка рядов данных наблюдений проводилась общепринятыми методами. Средняя соленость моря была рассчитана согласно методике, подробно описанной в работе [7]. Средняя годовая температура воды для моря в целом рассчитывалась согласно [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние внешних факторов на экосистему моря имеет разнонаправленные тенденции. В многолетней динамике с конца XX к началу XXI в. для температуры воздуха, воды и количества осадков отмечается тенденция повышения, а для скорости ветра — снижения. Как показано в работах [9–11], особенно ярко накопленные изменения проявляются при сравнении метеоусловий начала XX и XXI вв.

Анализ ветровой активности на азовских прибрежных ГМС с конца 1940-х до середины 1980-х гг. свидетельствует о понижении скорости ветра как в среднем за год, так и для всех сезонов [12]. В последующие годы тенденция пониженной ветровой активности на азовском побережье сохранилась и даже усилилась в начале XXI в. [11, 13, 14] (рис. 1).

Выделяют несколько причин явного снижения скорости ветра на протяжении XX – начала XXI вв. Некоторые исследователи связывают данное явление со значительным увеличением плотности застройки прилегающих к ГМС территорий и изменением инструментария для измерения скоростей ветра. Однако значительное снижение ветровой активности на всех прибрежных азовских ГМС, безусловно, имеет и климатическую составляющую, в частности смену циркуляционной эпохи в 1970–1975 гг. [12, 15–17]. Произошло увеличение повторяемости западных ветров в течение года. Если в середине XX века они преобладали лишь в летне-осенний период, с 1989 г. — охватывают и зимнее время, а с 1996 г. — период с февраля по июнь. С этим также можно связать увеличение количества зимних осадков в регионе в конце XX – начале XXI вв. [18]. Весьма вероятно,

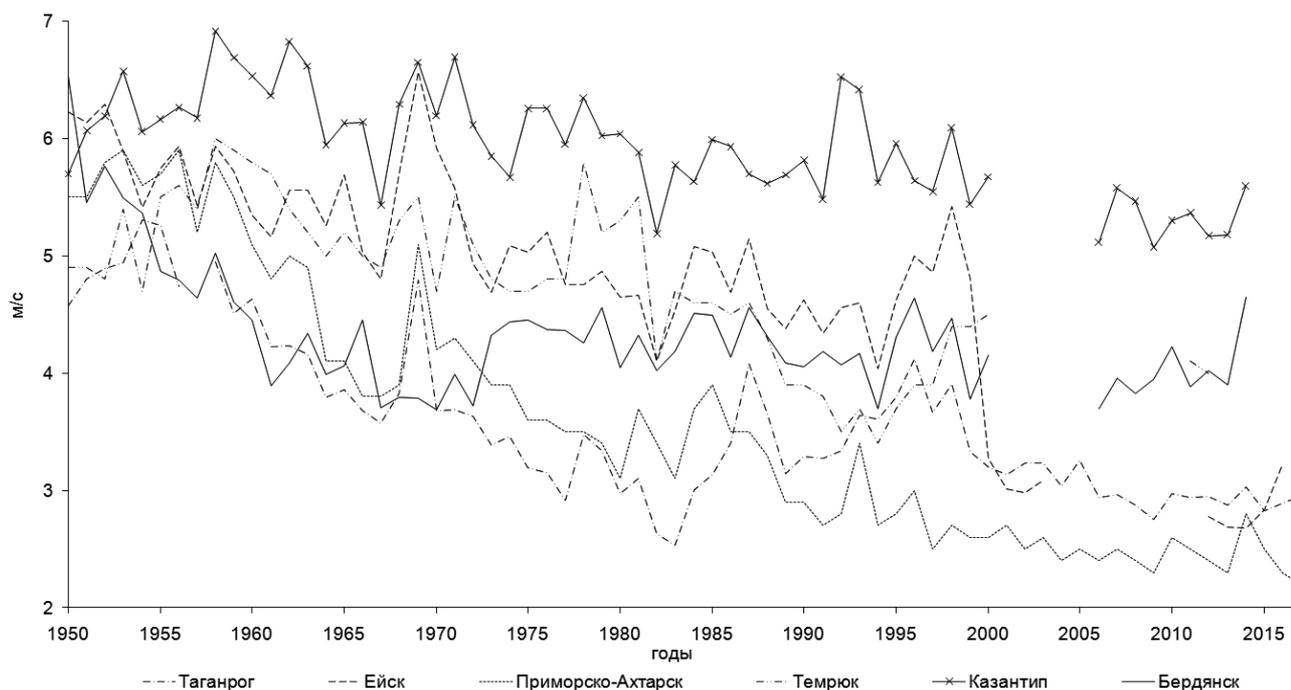


Рис. 1. Среднегодовая скорость ветра на побережье Азовского моря по данным ГМС 1950–2017 гг.

Fig. 1. The average annual wind velocity on the coast of the Sea of Azov based on the data, collected at hydrometeorological stations in 1950–2017

что отмеченные тенденции являются примером внутривековых и межвековых природных циклов [19, 20].

Атмосферные осадки — важнейший фактор формирования речного стока и водного баланса Азовского моря. В результате перестройки климата в конце XX — начале XXI вв. наблюдается увеличение среднегодового количества осадков относительно первой половины прошлого века. За период 1891–1995 гг. тренд атмосферных осадков был положительным [15]. В последующие годы тенденция оставалась прежней: среднегодовое количество осадков с 1979 по 2010 г. увеличилось на 54 мм [21, 22]. Наблюдаемые изменения исследователи связывают с увеличением количества циклонов и их «водности» в азовском регионе [23]. Наибольшие изменения среднегодового количества осадков отмечены на юго-западе региона. Однако после пика, пришедшегося на 2010 г., в последние годы наблюдается снижение годового количества осадков в азовском регионе (рис. 2).

В период 2000–2015 гг. наблюдались наибольшие скорости роста температуры воздуха за последнее столетие (1915–2015 гг.) со следующими коэффициентами линейной регрессии: в Ейске и Керчи — 0,08 °C/год, Мариуполе — 0,07 °C/год, Таганроге, Приморско-Ахтарске и Геническе — 0,06 °C/год.

На отрезке времени 1915–2015 гг. рост годовых температур составил около 1 °C за 100 лет для Керчи и Геническа, около 2 °C — для Таганрога, Ейска и Приморско-Ахтарска [11, 14, 24].

За последние сто лет наибольший вклад в повышение годовых температур воздуха внес рост средних зимних (макс. до 0,04 °C/год в Ейске) и весенних температур (макс. до 0,03 °C/год в Ейске). Наименьшее повышение средних сезонных температур воздуха отмечено осенью (лето — 0,01 °C/год; осень — 0–0,01 °C/год).

При этом в период 2000–2017 гг. в азовском регионе быстрее всего росли среднесезонные температуры лета (до 0,15 °C/год в Таганроге и 0,14 °C/год в Ейске) и весны (до 0,08 °C/год в Керчи и Таганроге), а затем зимы (до 0,04 °C/год в Керчи).

Следует отметить, что с 2010 г. в азовском регионе отмечено снижение темпов повышения температуры воздуха (рис. 3).

В многолетней динамике температуры воды Азовского моря, по данным дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ), как и по данным ГМС, наблюдается тенденция роста с середины 1990-х гг., несколько замедлившаяся после наиболее теплого за имеющийся период спутниковых наблюдений 2010 г. (рис. 4).

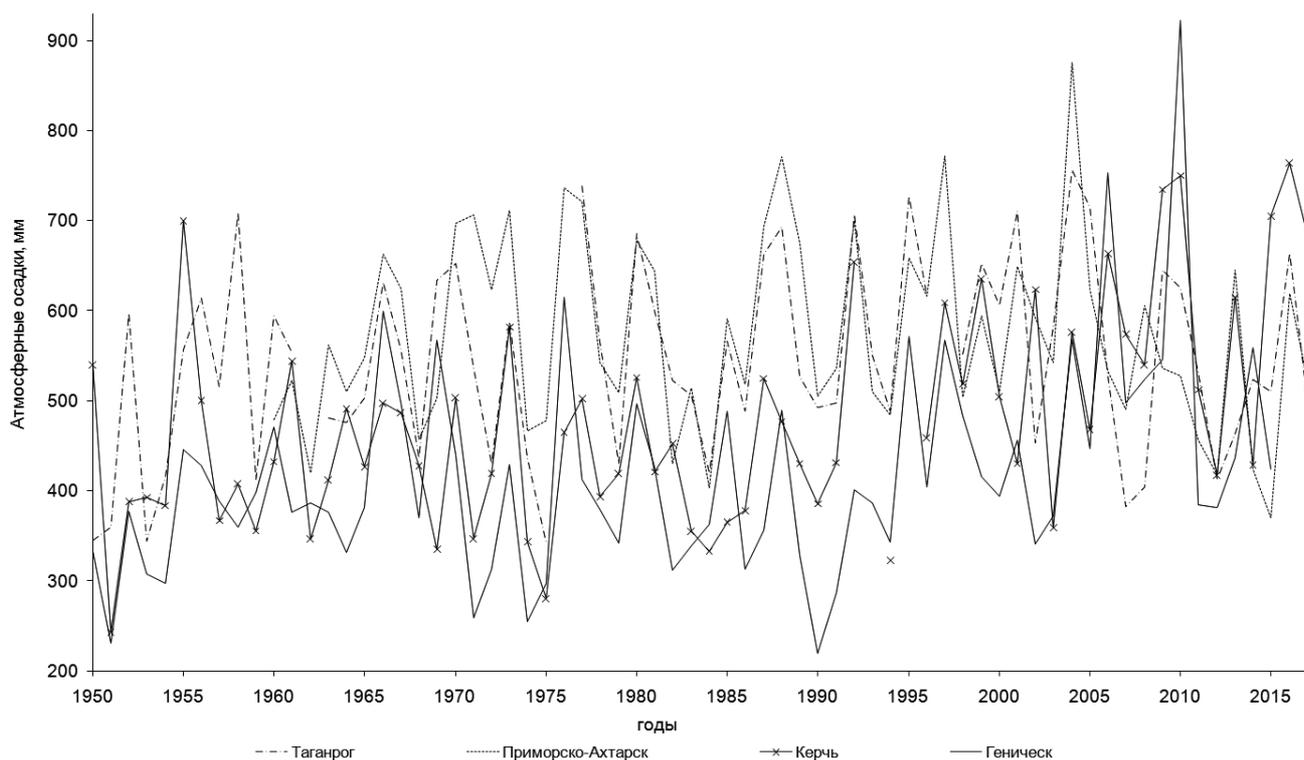


Рис. 2. Среднегодовая сумма атмосферных осадков над Азовским морем по данным ГМС 1950–2017 гг.

Fig. 2. The average annual precipitation over the Sea of Azov based on the data, collected at hydrometeorological stations in 1950–2017

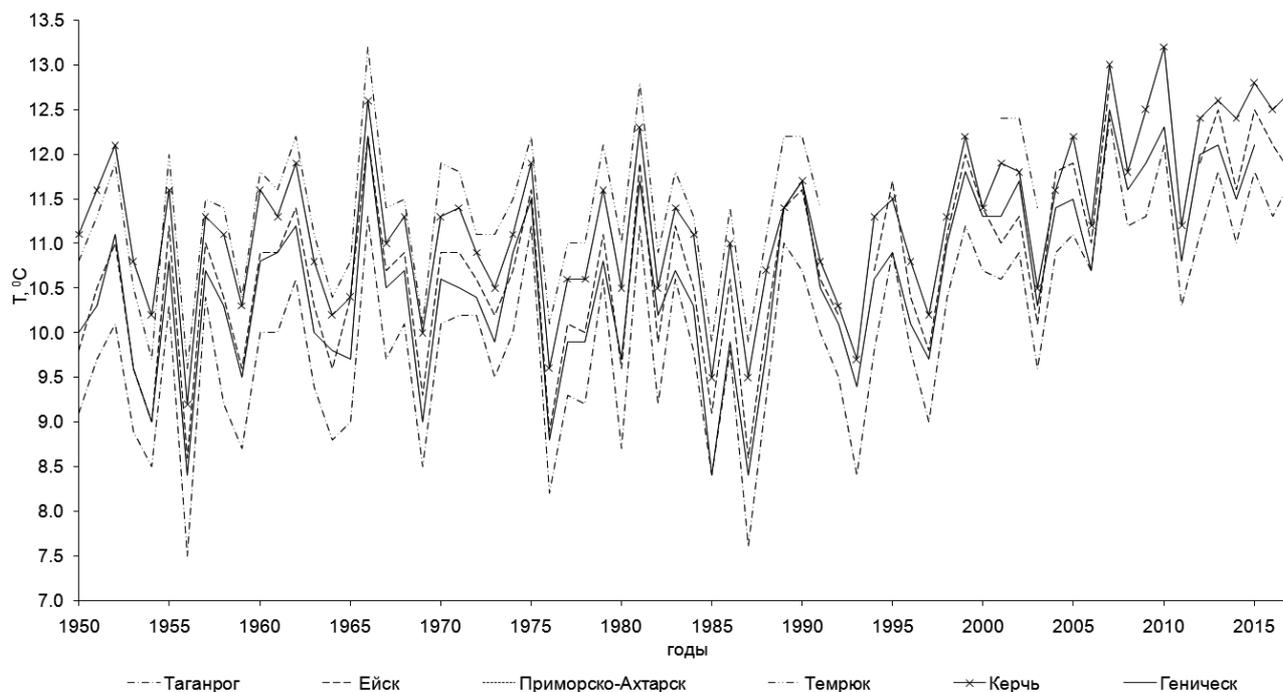


Рис. 3. Среднегодовая температура воздуха по данным ГМС 1950–2017 гг.

Fig. 3. The average annual air temperature based on the data, collected at hydrometeorological stations in 1950–2017

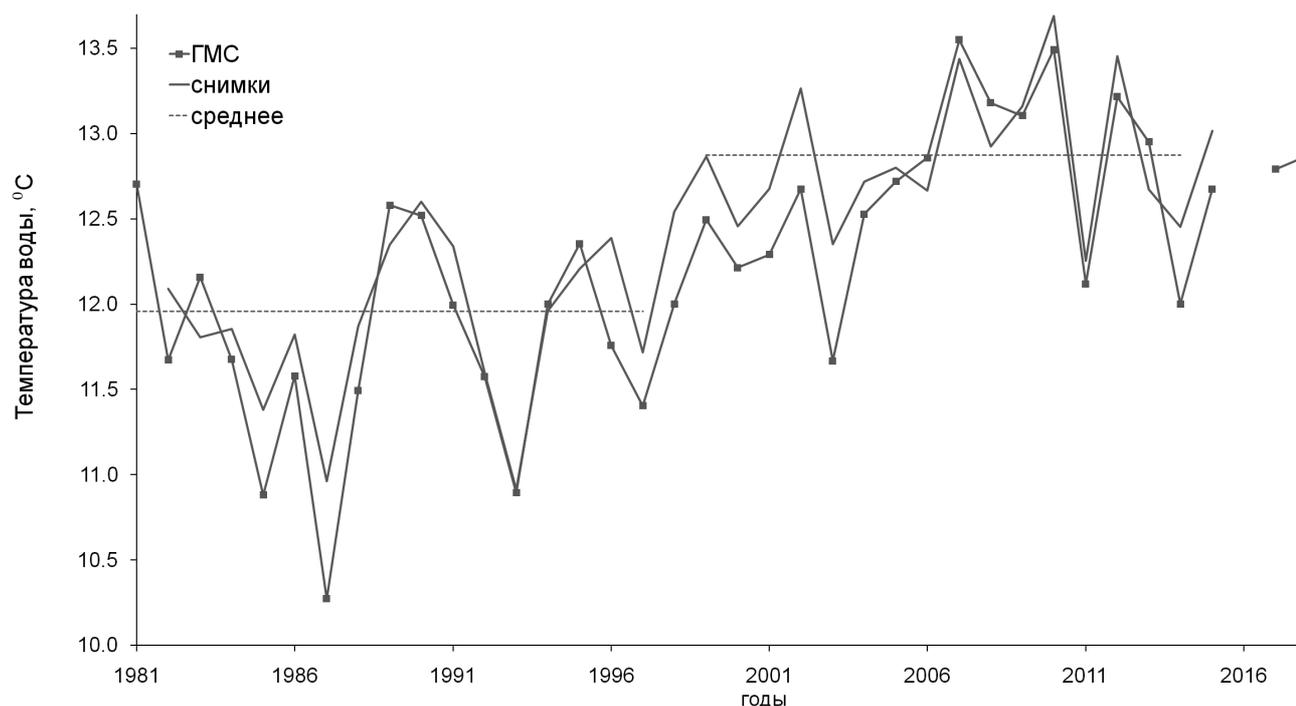


Рис.4. Средняя годовая температура воды Азовского моря за период 1981–2018 гг.

Fig. 4. The average annual water temperature of the Sea of Azov in 1981–2018

Рост среднегодовых температур воды у побережья составил около $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 100 лет (1915–2015 гг.) для всех прибрежных ГМС [14, 24]. За период 2000–2015 гг. наблюдается рост температуры воды со следующими коэффициентами линейной регрессии: в Приморско-Ахтарске — 0,08, Бердянске — 0,07, Мариуполе — 0,06; Геническе — 0,05, Ейске и Темрюке — 0,03 $^{\circ}\text{C}/\text{год}$, Таганроге — 0,02 $^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

При сравнении графиков для Таганрогского залива и открытого моря, полученных по данным ГМС и ДДЗЗ (рис. 4), при том что они имеют общий характер изменений, температура воды по снимкам системно на 0,01–0,7 $^{\circ}\text{C}$ выше, чем по данным ГМС. Вероятно, это связано с разницей между температурой поверхности моря (измеряемой дистанционными методами) и температурой поверхностного слоя вод (измеряемого контактными методами). Коэффициент корреляции между значениями среднегодовой температуры воды по ДДЗЗ и оценкам по ГМС и для залива, и для открытой части моря составил 0,92. Следует отметить, что для безледного периода (весна–осень) он несколько выше: $r = 0,95$ и $0,94$ для Таганрогского залива и открытого моря, соответственно. Возможно, это говорит о недооценке зимних температур воды по ДДЗЗ [8].

В последнюю четверть XX в. разными авторами было отмечено некоторое потепление вод Азовско-

го моря в холодный период года и смягчение его ледовых условий. С середины 1980-х гг. (в сравнении с началом XX в.) наблюдается развитие следующих тенденций: средние даты ледообразования сдвинулись примерно на 1–2 недели позже, а средние даты полного исчезновения льда по большинству пунктов стали отмечаться раньше. Сократилась на 2–4 недели средняя продолжительность ледового сезона по наблюдениям на всех ГМС, особенно в районах Ейска, Мариуполя, Должанской, Таганрога; в меньшей степени у Керчи, Геническа, Стрелкового [3, 25]. Для периода 1968–1998 гг., по данным [26], уменьшилось число дней с припаем и снизилась его максимальная толщина, при этом произошло увеличение продолжительности ледового сезона и количества дней со льдом, что связано с особенностями мягких зим в эти годы. Отмечается более раннее появление первичных форм льда, в частности увеличилась вероятность наличия льда в декабре. Аналогичные тенденции отмечены в работе [27]. Наблюдения на береговой научно-экспедиционной базе ЮНЦ РАН «Кагальник» в 2005–2018 гг. также подтверждают эту тенденцию. В начале XXI века наряду с преобладающими умеренными зимами были отмечены и достаточно суровые (2005/06, 2011/12 гг.) и мягкие (2006/07, 2014/15, 2015/16, 2017/18 гг.) [19, 20, 28, 29].

В работе [30] был предложен модельный подход ретроспективного расчета гидрологического режима водоема, основанный на уравнениях водного, солевого и теплового балансов. Для районов моря в многолетнем аспекте рассчитываются среднемесячные величины температуры и солености воды, ледовитость (доля площади района, занятая льдом) и толщина льда в зависимости от задаваемых внешних факторов. В качестве внешних факторов используются суммарная солнечная радиация, температура и относительная влажность воздуха, облачность, скорость ветра, температура речных и черноморских вод. Верификацию модели и сравне-

ние полученных результатов с натурными наблюдениями проводили на основе баз данных [4–6] за почти столетний период, космических снимков MODIS Terra и Aqua за 2006–2016 гг., картосхем ледовой обстановки НИЦ «Планета» (planet.iitp.ru) за 2008–2016 гг.

Анализ ледовитости Азовского моря по данным [2] и снимкам MODIS показал смягчение ледовых условий на рубеже веков, уменьшение средней ледовитости Азовского моря примерно в 2 раза, с 30 % в 1980-х гг. до 16 % в начале XXI в. [31] (рис. 5). При этом, по результатам модельных расчетов, в последнее десятилетие на фоне умень-

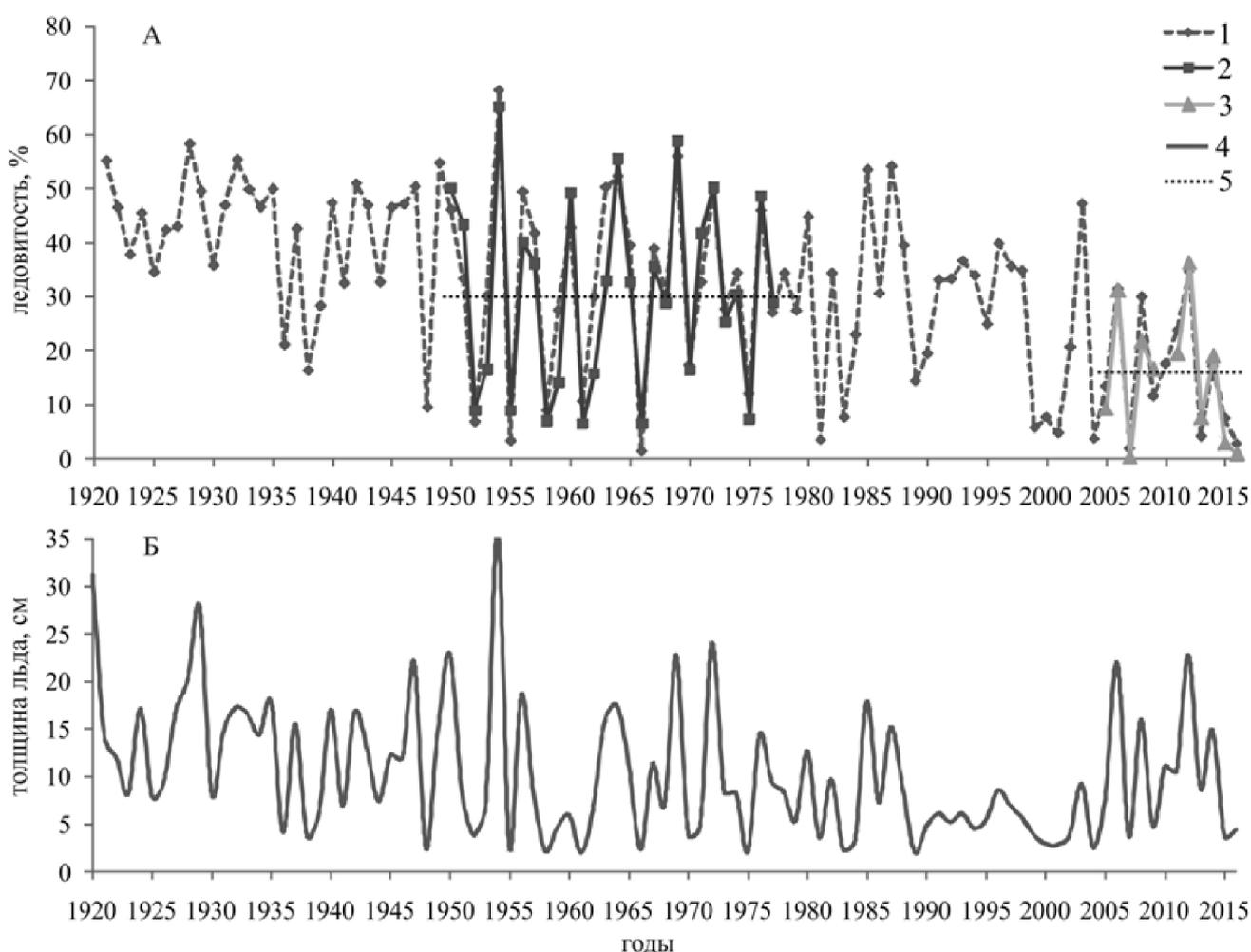


Рис. 5. Многолетняя динамика ледовитости (А) и толщины льда (Б) в Азовском море в 1920–2016 гг.:

1 — результаты модельного расчета ледовитости [31]; 2 — ледовитость по материалам [2]; 3 — оценка ледовитости по спутниковым снимкам MODIS (Terra/Aqua); 4 — средняя за ноябрь–март толщина льда, результаты расчета [31]; 5 — средняя ледовитость за период

Fig. 5. Long-term dynamics of ice cover (A) and ice thickness (Б) of the Sea of Azov in 1920–2016:

1 — results of ice cover model simulation [31]; 2 — ice cover data according to [2]; 3 — ice cover assessment based on the MODIS (Terra/Aqua) satellite images; 4 — November–March average value of ice thickness, results of estimation [31]; 5 — ice cover average value for the period

шения ледовитости и сокращения продолжительности ледового периода средняя толщина льда снизилась незначительно.

Соленость вод является ключевым гидрохимическим и экологическим фактором для любого морского водоема. Так как соленость Азовского моря характеризуется относительно большими горизонтальными градиентами (от практически пресных вод в приустьевых областях рек до вод значительной солености Керченского пролива и близ Геническа), при оценках состояния экосистемы часто используют такой показатель гидрологического

режима, как средняя соленость (выполняется осреднение данных наблюдений по отдельным районам). В вековом ряду наблюдений за соленостью Азовского моря (рис. 6) четко прослеживается чередование периодов опреснения и осолонения [7]. С 2007 г. море находится в очередном периоде осолонения, причем современное даже более выражено, чем считавшееся катастрофическим осолонение 1970-х гг.

Причиной современного осолонения является наблюдаемое в последнее десятилетие снижение стока р. Дон (рис. 6) на фоне увеличения испаре-

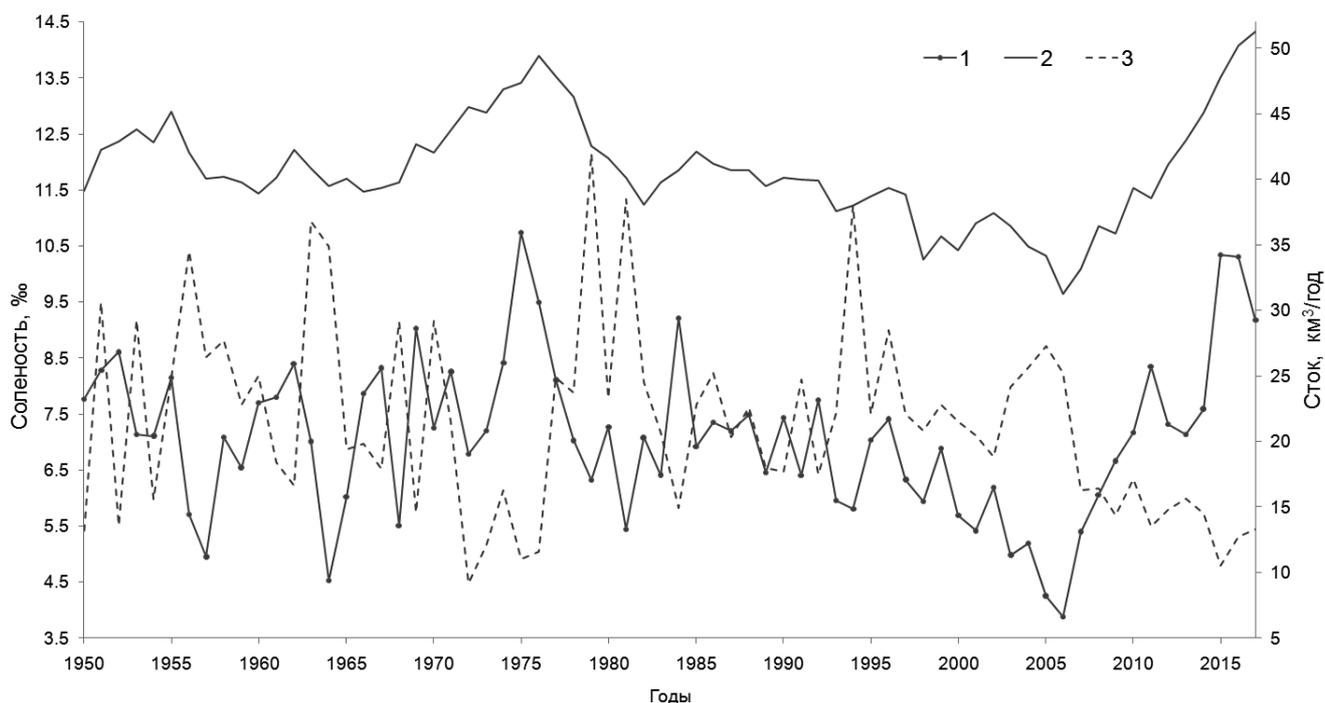


Рис. 6. Средняя соленость Азовского моря и сток р. Дон в 1950–2017 гг.: 1 — соленость ТЗ, 2 — соленость открытого моря, 3 — сток р. Дон

Fig. 6. The average annual water salinity of the Sea of Azov and annual flow of the Don River in 1950–2017: 1 — salinity of the Taganrog Bay, 2 — salinity of the open part of the sea, 3 — annual flow of the Don River

ния, связанного с повышением температур. Так, сток р. Дон в период 2007–2017 гг. снизился до 11–17 км³/год, с минимумом в 2015 г. — 10,5 км³/год; в 2017 г. — 13,3 км³/год (<https://gmvo.skniivh.ru/>).

Для ТЗ периоды осолонения/опреснения выражены менее четко при большем размахе колебаний, что объясняется высокой изменчивостью гидрологического режима данного района. При этом зачастую начало периодов осолонения и его пики в ТЗ наблюдались на 1–2 года раньше, чем в открытом море [7].

Экосистема Азовского моря перешла в новое состояние? Построение диаграммы состояния среды на основе среднегодовых значений температуры и солености вод (рис. 7) показывает, что гидрологический режим Азовского моря находится в положении, которое ранее, за почти 100-летний период исследований, не наблюдалось. Для него характерна значительная положительная аномалия температуры воды на фоне роста солености (2011–2016 гг.).

На протяжении почти всего XX в. чередовалось пребывание Азовского моря в одном из двух состоя-

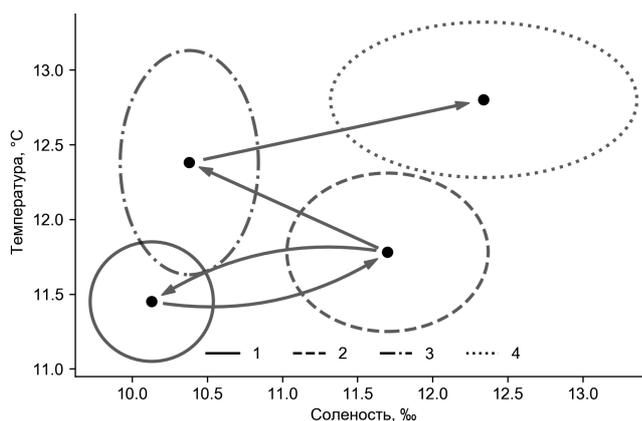


Рис. 7. Изменение состояния среды (температуры воды и солености) Азовского моря по периодам в XX – начале XXI вв.: 1 — 1920–1935, 1941–1949 гг.; 2 — 1936–1940, 1950–1992 гг.; 3 — 1993–2010 гг.; 4 — 2011–2016 гг.

Примечание: полуоси эллипсов — среднее квадратичное отклонение температуры воды и солености, соответственно

Fig. 7. Changes in the state of the Sea of Azov environment (water temperature and salinity) by periods in the 20th — early 21st centuries: 1 — 1920–1935, 1941–1949; 2 — 1936–1940, 1950–1992; 3 — 1993–2010; 4 — 2011–2016

Note: semi-axes of ellipses are the standard deviation of water temperature and salinity, respectively

ний: распресненном или осолоненном. Наблюдавшийся на рубеже веков (1993–2010 гг.) интенсивный рост температуры воды и последующий период маловодья (2011–2016 гг.) перевел систему Азовского моря в новое состояние.

Следует обратить внимание на увеличение среднего квадратичного отклонения рядов среднегодовых значений для новых состояний как по солености, так и по температуре воды, что особенно выражено при сравнении состояний, характерных для начала XX и XXI вв. Это можно интерпретировать как увеличение изменчивости этих характеристик в современный период.

Вопрос о том, как эти изменения проявляются в экосистеме Азовского моря, остается открытым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдаемые в XXI в. климатические флуктуации в регионе Азовского моря имеют разнонаправленный характер. Особенно ярко различия проявляются при сравнении климатических условий начала XX и XXI вв. Изменение ветровой активности и режима осадков сказывается на стоке рек,

естественное снижение которого усугубляется нерациональным антропогенным изъятием и увеличением величины испарения под влиянием роста температур.

Текущее состояние Азовского моря (значительная положительная аномалия температуры и солености воды) не отмечалось ранее в истории исследования данного водоема. Необходимость всесторонних оценок происходящих изменений и поиск оптимальных условий эксплуатации истощенных биологических ресурсов моря обуславливает развитие системы мониторинга и технологий моделирования для понимания происходящих процессов.

Исследование выполнено в рамках ПФИ Президиума РАН I.52 «Обеспечение устойчивого развития Юга России в условиях климатических, экологических и техногенных вызовов» (ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта АААА-А18-118011990324-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорологический справочник Азовского моря / Под ред. А.А. Аксенова. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 856 с.
2. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3. Азовское море. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 218 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5. Азовское море. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 237 с.
4. Matishov G., Matishov D., Gargopa Yu., Dashkevich L., Berdnikov S., Baranova O., Smolyar I. NOAA Atlas NESDIS 59. Climatic atlas of the Sea of Azov 2006 / S. Levitus, G. Matishov. (Eds.). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2006. 103 p.
5. Matishov G., Matishov D., Gargopa Yu., Dashkevich L., Berdnikov S., Kulygin V., Arkhipova O., Chikin A., Shabas I., Baranova O., Smolyar I. NOAA Atlas NESDIS 65. Climatic atlas of the Sea of Azov 2008 / G. Matishov, S. Levitus. (Eds.), Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2008. 148 p.
6. NOAA Atlas NESDIS 78. Atlas of climatic changes in nine large marine ecosystems of the northern hemisphere (1827–2013) / G.G. Matishov, S.V. Berdnikov, A.P. Zhichkin, S.L. Dzhenyuk, I.V. Smolyar, V.V. Kulygin, N.A. Yaitskaya, V.V. Povazhniy, I.V. Sheverdyayev, S.V. Kumpan, I.A. Tretyakova, A.E. Tsygankova, N.N. D'yakov, V.V. Fomin, D.N. Klochkov, B.M. Shatohin, V.V. Plotnikov, N.M. Vakulskaya, V.A. Luchin, A.A. Kruts. (Eds.). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2014. 131 p.
7. 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/S0321059617040046.

8. Дашкевич Л.В. Средние температура воды и соленость Азовского моря — региональные аспекты // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2018. Вып. 3. С. 14–18. doi: 10.23885/2500-123x-2018-2-3-14-20.
9. Дашкевич Л.В. Анализ многолетней изменчивости температурного режима вод открытой части Азовского моря с использованием геоинформационных технологий и математического моделирования : автореф. дис. канд. геогр. наук. Мурманск: Изд-во ММБИ КНЦ РАН, 2008. 26 с.
10. Дашкевич Л.В., Бердников С.В. Математическое моделирование температурного режима и ледовитости Азовского моря в период 1920–2008 гг. // Труды ЮНЦ РАН. 2009. Т. 4. С. 186–196.
11. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. Climatic changes and salinity of the Sea of Azov for 100 years // Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 (Albena, 28 June – 6 July, 2016). New York: Curran Associates, Inc., 2016. Book 3. Vol. 2. Pp. 719–726. doi: 10.5593/SGEM2016/B32/S15.094.
12. Гаргопа Ю.М. Закономерности многолетней динамики океанографических процессов и компонентов биоты Азовского моря // Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 44–71.
13. Дьяков Н.Н., Фомин В.В., Мартынов Е.С., Гармашов А.В. Ветро-волновой режим Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2010. № 22. С. 228–239.
14. Дашкевич Л.В., Бердников С.В. Климатические изменения в бассейне Азовского моря в период 1950–2014 гг. // Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем : матер. Всерос. конф. «Экология. Экономика. Информатика» (г. Ростов-на-Дону, 7–12 сентября 2014 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2014. Т. 1. С. 101–109.
15. Лурье П.М., Панов В.Д. Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI века // Метеорология и гидрология. 1999. № 4. С. 90–97.
16. Луц Н.В. Многолетняя изменчивость скорости ветра в восточном Приазовье // Метеорология и гидрология. 2001. № 2. С. 98–102.
17. Гаргопа Ю.М. Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря : автореф. дис. канд. геогр. наук. Мурманск: Изд-во ММБИ КНЦ РАН, 2003. 48 с.
18. Сорокина В.В., Ивлиева О.В., Лурье П.М. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века // Вестник ЮНЦ РАН. 2006. Т. 2, № 2. С. 58–67.
19. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргопа Ю.М. Климатогенные изменения экосистем южных морей в условиях антропогенных воздействий // Известия РАН. Серия географическая. 2008. № 3. С. 26–34.
20. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргопа Ю.М., Дашкевич Л.В. Замерзание Азовского моря и климат в начале XXI века // Вестник ЮНЦ РАН. 2010. Т. 6, № 1. С. 33–40.
21. Дьяков Н.Н. Современный гидрометеорологический режим Азовского моря : автореф. дис. канд. геогр. наук. Севастополь: Изд-во МГИ НАНУ, 2010. 21 с.
22. Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А. Климатическая изменчивость гидрометеорологических параметров морей России в 1979–2011 гг. // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2014. № 570. С. 50–87.
23. Бабкин В.И., Постников А.Н. О роли циклонической деятельности в формировании стока Волги, Дона и Днепра // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 1. С. 106–108.
24. Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Анализ климатических факторов по данным наземных наблюдений и спутниковым снимкам на примере Таганрогского залива // Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем : матер. Всерос. конф. «Экология. Экономика. Информатика» (п. Дюрсо, 4–9 сентября 2017 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2017. Т. 1, № 2. С. 216–226.
25. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М., Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. 608 с.
26. Дьяков Н.Н., Иванов В.А., Горбач С.Б. Сезонная и межгодовая изменчивость гидрологических характеристик прибрежной зоны Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2002. Вып. 1 (6). С. 39–46.
27. Боровская Р.В., Ломакин П.Д. Особенности ледовых условий в Азовском море и Керченском проливе в зимний сезон 2005/06 гг. // Метеорология и гидрология. 2008. № 7. С. 67–72.
28. 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 // Доклады академии наук. 2014. Т. 457, № 5. С. 603–607.
29. Дашкевич Л.В. Флуктуации ледового режима в вершине Таганрогского залива // Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Черном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Изучение изменчивости окружающей среды и выявление наиболее опасных гидрометеорологических ситуаций в зимний период : матер. Всерос. конф. «Экология. Экономика. Информатика» (г. Ростов-на-

Дону, 7–12 сентября 2014 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2014. Т. 2. С. 261–265.

30. Бердников С.В. Моделирование крупномасштабных изменений океанологических характеристик экосистемы Азовского моря // Закономерности экосистемных процессов в Азовском море / Сост. Г.Г. Матишов, Ю.М. Гаргопа, С.В. Бердников, С.Л. Дженюк. М.: Наука, 2006. С. 137–229.
 31. 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. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-91-100.
- ## REFERENCES
1. Gidrometeorologicheskii spravochnik Azovskogo morya [Hydrometeorological directory of the Sea of Azov]. A.A. Aksenov. (Ed.). Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1962, 856 p. (In Russian).
 2. Gidrometeorologicheskie usloviya shel'fovoy zony morey SSSR. T. 3. Azovskoe more [Hydrometeorological conditions of a shelf zone of the USSR Seas. Vol. 3. The Sea of Azov]. Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1986, 218 p. (In Russian).
 3. Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR. T. 5. Azovskoe more [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol. 5. The Sea of Azov]. Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1991, 237 p. (In Russian).
 4. Matishov G., Matishov D., Gargopa Yu., Dashkevich L., Berdnikov S., Baranova O., Smolyar I. NOAA Atlas NESDIS 59. Climatic atlas of the Sea of Azov 2006. S. Levitus, G. Matishov. (Eds.). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2006, 103 p.
 5. Matishov G., Matishov D., Gargopa Yu., Dashkevich L., Berdnikov S., Kulygin V., Arkhipova O., Chikin A., Shabas I., Baranova O., Smolyar I. NOAA Atlas NESDIS 65. Climatic atlas of the Sea of Azov 2008. G. Matishov, S. Levitus. (Eds.). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2008, 148 p.
 6. NOAA Atlas NESDIS 78. Atlas of climatic changes in nine large marine ecosystems of the northern hemisphere (1827–2013). G.G. Matishov, S.V. Berdnikov, A.P. Zhichkin, S.L. Dzhenyuk, I.V. Smolyar, V.V. Kulygin, N.A. Yaitskaya, V.V. Povazhnyi, I.V. Sheverdyayev, S.V. Kumpan, I.A. Tretyakova, A.E. Tsygankova, N.N. D'yakov, V.V. Fomin, D.N. Klochkov, B.M. Shatokhin, V.V. Plotnikov, N.M. Vakul'skaya, V.A. Luchin, A.A. Kruts. (Eds.). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2014, 131 p.
 7. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V. Mnogoletnee izmenenie sredney solenosti Azovskogo morya [Many-year variations of the average salinity of the Sea of Azov]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2017, vol. 44, no. 5, pp. 563–572. doi: 10.7868/S0321059617040046. (In Russian).
 8. Dashkevich L.V. Srednie temperatura vody i solenost' Azovskogo morya — regional'nye aspekty [Regional aspects of average annual water temperature and average salinity of the Sea of Azov]. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring* [Ecology. Economy. Informatics. Geoinformation technologies and space monitoring], 2018, issue 3, pp. 14–18. doi: 10.23885/2500-123x-2018-2-3-14-20. (In Russian).
 9. Dashkevich L.V. Analiz mnogoletney izmenchivosti temperaturnogo rezhima vod otkrytoy chasti Azovskogo morya s ispol'zovaniem geoinformatsionnykh tekhnologiy i matematicheskogo modelirovaniya : avtoref. dis. kand. geogr. nauk [Analysis of long-term variability of the temperature regime of the Sea of Azov open waters with application of geoinformational technologies and mathematical modeling. Extended abstract of Candidate's (Geography) Thesis]. Murmansk: MMBI KSC RAS (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences) Publ., 2008, 26 p. (In Russian).
 10. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. Matematicheskoe modelirovanie temperaturnogo rezhima i ledovitosti Azovskogo morya v period 1920–2008 gg. [Mathematical modeling of temperature regime and ice coverage of the Sea of Azov in 1920–2008]. *Trudy YuNTs RAN* [SSC RAS Proceedings], 2009, vol. 4, pp. 186–196. (In Russian).
 11. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. Climatic changes and salinity of the Sea of Azov for 100 years. In: *Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 (Albena, 28 June – 6 July, 2016)*. New York: Curran Associates, Inc., 2016, book 3, vol. 2, pp. 719–726. doi: 10.5593/SGEM2016/B32/S15.094.
 12. Gargopa Yu.M. Zakonomernosti mnogoletney dinamiki okeanograficheskikh protsessov i komponentov bioty Azovskogo morya [Consistent patterns in the long-term dynamics of oceanographic processes and biota components of the Sea of Azov]. In: *Sreda, biota i modelirovanie ekologicheskikh protsessov v Azovskom more* [Habitat, biota and modeling of environmental processes in the Sea of Azov]. Apatity: Kola Science Centre of the RAS Publ., 2001, pp. 44–71. (In Russian).
 13. D'yakov N.N., Fomin V.V., Martynov E.S., Garmashov A.V. Vetro-volnovoy rezhim Azovskogo morya [Wind and wave regime of the Sea of Azov]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources], 2010, no. 22, pp. 228–239. (In Russian).
 14. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. Klimaticheskie izmeneniya v bassejne Azovskogo morya v period 1950–

- 2014 gg. [Climatic changes in the basin of the Sea of Azov in the period 1950–2014]. In: *Sistemnyy analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem : materialy Vserossiyskoy konferentsii "Ekologiya. Ekonomika. Informatika"* (g. Rostov-na-Donu, 7–12 sentyabrya 2014 g.) [System analysis and mathematical modeling of ecological and economic systems. Proceedings of the All-Russian Conference "Ecology. Economy. Informatics" (Rostov-on-Don, 7–12 September, 2014)]. Rostov-on-Don: SFEDU (Southern Federal University) Publ., 2014, vol. 1, pp. 101–109. (In Russian).
15. Lur'e P.M., Panov V.D. Vliyaniye izmeneniy klimata na gidrologicheskiy rezhim r. Don v nachale XXI veka [An influence of climate changes on hydrological regime of the Don River in the early 21st century]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 1999, no. 4, pp. 90–97. (In Russian).
 16. Luts N.V. Mnogoletnyaya izmenchivost' skorosti vetra v vostochnom Priazov'e [Long-term variability of wind velocity in the Eastern Azov Region]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 2001, no. 2, pp. 98–102. (In Russian).
 17. Gargopa Yu.M. Krupnomasshtabnye izmeneniya gidrometeorologicheskikh usloviy formirovaniya bioproduktivnosti Azovskogo morya : avtoref. dis. kand. geogr. nauk [Wide-scale changes in the hydrometeorological conditions of biological productivity formation in the Sea of Azov. Extended abstract of Candidate's (Geography) Thesis]. Murmansk: MMBI KSC RAS (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences) Publ., 2003, 48 p. (In Russian).
 18. Sorokina V.V., Ivlieva O.V., Lur'e P.M. Dinamika stoka na ust'evykh uchastkakh rek Don i Kuban' vo vtoroy polovine XX veka [River flow alteration in the Don and the Kuban mouths, the second part of XX century]. *Vestnik YuNTs RAN [SSC RAS Bulletin]*, 2006, vol. 2, no. 2, pp. 58–67. (In Russian).
 19. Matishov G.G., Matishov D.G., Gargopa Yu.M. Klimatogennyye izmeneniya ekosistem yuzhnykh morey v usloviyakh antropogennykh vozdeystviy [Climatic changes of ecosystems of the southern seas under anthropogenic impact]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Geographics]*, 2008, no. 3, pp. 26–34. (In Russian).
 20. Matishov G.G., Matishov D.G., Gargopa Yu.M., Dashkevich L.V. Zamerzaniye Azovskogo morya i klimat v nachale XXI veka [Freezing of the Sea of Azov and climate at the beginning of the XXI century]. *Vestnik YuNTs RAN [SSC RAS Bulletin]*, 2010, vol. 6, no. 1, pp. 33–40. (In Russian).
 21. D'yakov N.N. Sovremennyy gidrometeorologicheskiy rezhim Azovskogo morya : avtoref. dis. kand. geogr. nauk [Modern hydrometeorological regime of Sea of Azov. Extended abstract of Candidate's (Geography) Thesis]. Sevastopol: MHI Publ., 2010, 21 p. (In Russian).
 22. Kostyanoy A.G., Ginzburg A.I., Lebedev S.A. Klimaticheskaya izmenchivost' gidrometeorologicheskikh parametrov morey Rossii v 1979–2011 gg. [Climatic variability of hydrometeorological parameters of the Russian seas (1979–2011)]. *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeikova [Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory]*, 2014, no. 570, pp. 50–87. (In Russian).
 23. Babkin V.I., Postnikov A.N. O roli tsiklonicheskoy deyatel'nosti v formirovaniy stoka Volgi, Dona i Dnepra [About the role of cyclonic activity in the formation of streamflow of the Volga, Don, Dnepr rivers]. *Vodnye resursy [Water Resources]*, 2000, vol. 27, no. 1, pp. 106–108. (In Russian).
 24. Dashkevich L.V., Kulygin V.V. Analiz klimaticheskikh faktorov po dannym nazemnykh nablyudeniy i sputnikovym snimkam na primere Taganrogskogo zaliva [Analysis of climate factors following the data from ground-based observations and satellite images, through the example of the Taganrog Bay]. In: *Sistemnyy analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem : materialy Vserossiyskoy konferentsii "Ekologiya. Ekonomika. Informatika"* (p. Dyurso, 4–9 sentyabrya 2017 g.) [System analysis and mathematical modeling of ecological and economic systems. Proceedings of the All-Russian Conference "Ecology. Economy. Informatics" (Dyurso, 4–9 September, 2017)]. Rostov-on-Don: SFEDU (Southern Federal University) Publ., 2017, vol. 1, no. 2, pp. 216–226. (In Russian).
 25. Dumanskaya I.O. Ledovye usloviya morey evropeyskoy chasti Rossii [Ice conditions of the seas of the European part of Russia]. Moscow, Obninsk: IG-SOTsIN, 2014, 608 p. (In Russian).
 26. D'yakov N.N., Ivanov V.A., Gorbach S.B. Sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost' gidrologicheskikh kharakteristik pribrezhnoy zony Azovskogo morya [Seasonal and inter-annual variability of hydrological characteristics of the coastal waters of the Sea of Azov]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa [Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources]*, 2002, issue 1 (6), pp. 39–46. (In Russian).
 27. Borovskaya R.V., Lomakin P.D. Osobennosti ledovykh usloviy v Azovskom more i Kerchenskom prolive v zimniy sezon 2005/06 gg. [Specific features of ice conditions in the Sea of Azov and the Kerch Strait in the winter season of 2005/06]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 2008, no. 7, pp. 67–72. (In Russian).
 28. Matishov G.G., Chikin A.L., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Chikina L.G. Ledovyy rezhim Azovskogo morya i klimat v nachale XXI veka [The ice regime of the Sea of Azov and climate in the early 21st century]. *Doklady akademii nauk [Reports of the Russian Academy of Sciences]*, 2014, vol. 457, no. 5, pp. 603–607. (In Russian).

29. Dashkevich L.V. Fluktuatsii ledovogo rezhima v vershine Taganrogsogo zaliva [Fluctuations of ice regime in the upper part of the Taganrog Bay]. In: *Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskiy monitoring. Azovskoe more, Kerchenskiy proliv i predprolivnye zony v Chernom more: problemy upravleniya pribrezhnymi territoriyami dlya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya. Izuchenie izmenchivosti okruzhayushchey sredy i vyyavlenie naibolee opasnykh gidrometeorologicheskikh situatsiy v zimniy period : materialy Vserossiyskoy konferentsii "Ekologiya. Ekonomika. Informatika" (g. Rostov-na-Donu, 7–12 sentyabrya 2014 g.)* [Geoinformational technologies and satellite monitoring. The Sea of Azov, the Kerch Strait and pre-strait areas in the Black Sea: problems of coastal area management, ensuring environmental safety and sustainable exploitation of natural resources. Proceedings of the All-Russian Conference "Ecology. Economy. Informatics" (Rostov-on-Don, 7–12 September, 2014)]. Rostov-on-Don: SFEDU (Southern Federal University) Publ., 2014, vol. 2, pp. 261–265. (In Russian).
30. Berdnikov S.V. Modelirovanie krupnomasshtabnykh izmeneniy okeanologicheskikh kharakteristik ekosistemy Azovskogo morya [Simulation of large-scale changes in oceanographic characteristics of the Azov Sea ecosystem]. In: *Zakonomernosti ekosistemnykh protsessov v Azovskom more* [Regularities of ecosystem processes in the Sea of Azov]. Yu. Gargopa, S. Berdnikov, S. Dzhenyuk, G. Matishov. (Eds.). Moscow: Nauka [Science], 2006, pp. 137–229. (In Russian).
31. Dashkevich L.V., Nemtseva L.D., Berdnikov S.V. Otsenka ledovitosti Azovskogo morya v XXI veke po sputnikovym snimkam Terra/Aqua MODIS i rezul'tatam matematicheskogo modelirovaniya [Assessment of the Sea of Azov ice cover in the XXI century using Terra/Aqua MODIS images and numerical modelling]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 2016, vol. 13, no. 5, pp. 91–100. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-91-100. (In Russian).

Поступила 19.03.2019

Принята к печати 11.04.2019