

Районирование черноморского шельфа Крыма по характеристикам временной изменчивости температуры воды поверхностного слоя

О. А. Лукашова, В. Н. Белокопытов *

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

* e-mail: belokopytov.vn@mhi-ras.ru

Аннотация

На основе массива ежесуточных спутниковых данных *Copernicus* о температуре поверхности моря на сетке с пространственным разрешением $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ рассчитаны характеристики общей интенсивности изменчивости температуры поверхности моря и сезонных вариаций температуры на различных временных масштабах. Проведено региональное обобщение этих характеристик по четырем районам черноморского побережья Крымского полуострова за климатический период 1991–2020 гг. Характеристики сезонного хода и межгодовой/десятилетней изменчивости оценивались по среднемесячным значениям, основной части синоптического диапазона – по среднедекадным значениям, а низкочастотной части мезомасштабного диапазона – по среднесуточным значениям. Существенно отличается от остальных районов Каркинитский залив, с максимальным размахом сезонного хода и наибольшей интенсивностью во всех диапазонах изменчивости в зимний период. Западный район по всем параметрам имеет самый низкий уровень временной изменчивости. Для Керченско-Феодосийского шельфа осенью характерна наибольшая интенсивность изменчивости во всех диапазонах. Южный берег Крыма по характеристикам временной изменчивости занимает промежуточное положение между Западным и Керченско-Феодосийским районами. В целом шельфовая зона Крымского полуострова, в сравнении с открытой частью Черного моря, демонстрирует повышенную региональную контрастность в изменчивости поверхностной температуры воды на различных временных масштабах. Одной из причин интенсивных колебаний температуры воды являются апвеллинги и даунвеллинги, связанные с изменчивостью полей ветра в рассматриваемом регионе.

Ключевые слова: шельф Крыма, температура поверхности моря, сезонный ход, межгодовая изменчивость, синоптическая изменчивость, мезомасштабная изменчивость

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0014 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, формирующих изменчивость физического состояния морской среды на различных пространственно-временных масштабах».

© Лукашова О. А., Белокопытов В. Н., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Лукашова О. А., Белокопытов В. Н. Районирование черноморского шельфа Крыма по характеристикам временной изменчивости температуры воды поверхностного слоя // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 4. С. 53–63. EDN XGKJBD.

Black Sea Crimean Shelf Zoning by Temporal Variability of Sea Surface Temperature

O. A. Lukashova, V. N. Belokopytov *

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, Russia

* e-mail: belokopytov.vn@mhi-ras.ru

Abstract

This study analyzes the daily sea surface temperature from the Copernicus database on a grid with a spatial resolution of $0.05^\circ \times 0.05^\circ$. It calculates the characteristics of total sea surface temperature variability and seasonal variations across multiple temporal scales. A regional synthesis of these characteristics was performed for four areas along the Black Sea coast of the Crimean Peninsula over the 1991–2020 climate period. Characteristics of seasonal and interannual/decadal variability were evaluated using monthly averages, the main part of the synoptic range was evaluated with 10-day averages and the low-frequency part of the mesoscale band was analysed using daily averages. The results show distinct regional patterns. Karkinit Bay differed significantly from the other regions, exhibiting the largest seasonal range and the highest intensity of variability across all bands during winter. The Western region demonstrated the lowest level of temporal variability in all parameters. The Kerch-Feodosia shelf exhibited the highest variability across all bands in autumn. The Southern Coast of Crimea held an intermediate position in terms of temporal variability characteristics between the Western and Kerch-Feodosia regions. Overall, the shelf zone of the Crimean Peninsula shows enhanced regional contrast in sea surface temperature variability across different temporal scales compared to the open Black Sea. One of the primary drivers of these intense water temperature fluctuations is the occurrence of upwelling and downwelling events, which are linked to the variability of wind fields over the region.

Keywords: Crimean shelf, sea surface temperature, seasonal variability, interannual variability, mesoscale variability, sub-mesoscale variability

Acknowledgments: The work was funded by the state assignment no. FNNN-2024-0014 “Fundamental studies of interaction processes in the sea–air system that form the physical state variability of the marine environment at various spatial and temporal scales”.

For citation: Lukashova, O.A. and Belokopytov, V.N., 2025. Black Sea Crimean Shelf Zoning by Temporal Variability of Sea Surface Temperature. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 53–63.

Введение

Распределение энергии колебаний по различным диапазонам временной изменчивости поверхностной температуры воды в морях и океанах имеет хорошо выраженные региональные особенности. В наибольшей степени региональные отличия характерны для показателей сезонного хода температуры, которые определяются сезонным ходом теплового баланса поверхности моря.

Соотношение вклада других диапазонов временной изменчивости в общую дисперсию колебаний температуры поверхности моря (ТПМ) гораздо менее изучено, чем оценки среднего сезонного цикла. Это связано с необходимостью рассматривать более длительные ряды данных ТПМ в фиксированных точках с более высокой временной дискретностью. Такие данные в настоящее время стали доступны благодаря развитию дистанционных методов, где основными инструментами измерения являются спутниковые радиометры в инфракрасном и микроволновом диапазонах.

Для бассейна Черного моря общие сведения об интенсивности изменчивости температуры воды на различных временных масштабах представлены в обобщающих монографиях, основанных преимущественно на анализе данных контактных наблюдений [1–4]. С появлением спутниковой информации, кроме сезонного хода, стали исследоваться межгодовые колебания и долговременные тенденции ТПМ [4–11]. Повышение пространственного и временного разрешения спутниковых средств измерений позволило исследовать более высокочастотные процессы: синоптическую изменчивость [12] и суточный ход [13–15]. Результаты 20-летних исследований с использованием дистанционных методов подтвердили закономерности, выявленные ранее с помощью контактных наблюдений: интенсивность изменчивости ТПМ убывает в следующей последовательности масштабов – сезонная, межгодовая, синоптическая, мезомасштабная. Среди районов Черного моря выделяется северо-западная и северо-восточная части моря, где сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ максимальны.

Для прибрежных районов оценки интенсивности в различных диапазонах временной изменчивости температуры воды были крайне ограниченными. Необходимым требованиям к рядам данных соответствовали лишь несколько морских метеорологических станций на побережье, а достоверность и пространственное разрешение спутниковой информации вблизи берегов были недостаточными. Появление цифровых массивов для отдельных морей с разрешением до 0.05° позволяет провести более подробные оценки распределения энергии колебаний в прибрежной зоне для различных временных диапазонов.

Цель работы – оценить региональные особенности общей интенсивности изменчивости ТПМ на различных временных масштабах в прибрежных и шельфовых районах шельфа Крымского п-ова на основе массива спутниковых данных с высоким пространственным разрешением.

Материалы и методы исследования

В работе использовался массив данных *Black Sea High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed*¹⁾ европейской программы непрерывных научных наблюдений за состоянием Земли *Copernicus*, содержащий ежесуточные (ночные) значения ТПМ с 1 января 1982 г. по настоящее время, приведенные к глубине 20 см, на сетке $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ [16]. Данный продукт представляет собой часть глобального цифрового массива данных о ТПМ, созданного

¹⁾ *Black Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed* [online]. Available at: https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_BS_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_022/description [Accessed: 15 February 2024]. <http://doi.org/10.48670/moi-00160>

для климатических исследований в рамках европейских проектов *ESA Climate Change Initiative* и *Copernicus Climate Change Service* на основе обработки измерений 22 спутниковых платформ: инфракрасных (*AVHRR*, *ATSR*, *SLSTR*) и микроволновых (*AMS*) радиометров.

Оценки временной изменчивости ТПМ проводились для четырех районов шельфа, примыкающего к черноморскому побережью Крыма (рис. 1):

- 1) Каркинитского залива как составной части обширного северо-западного шельфа со своим особым гидрологическим режимом;
- 2) шельфа Западного Крыма, от м. Тарханкут до м. Херсонес, как промежуточной зоны между северо-западным шельфом и глубоководной частью Черного моря;
- 3) Южного берега Крыма (ЮБК), близкого к условиям центральной части моря, испытывающего непосредственное воздействие Основного Черноморского течения (ОЧТ);
- 4) шельфа Восточного Крыма, от м. Меганом до Анапы, находящегося под влиянием водообмена с Азовским морем и ОЧТ, меняющего свое направление вдоль Кавказского побережья в сторону Крымского п-ова.

Для расчетов был выбран период 1991–2020 гг., который соответствует последнему климатическому периоду Всемирной метеорологической организации и используется при расчетах этого массива данных о ТПМ ²⁾ в качестве климатической нормы.

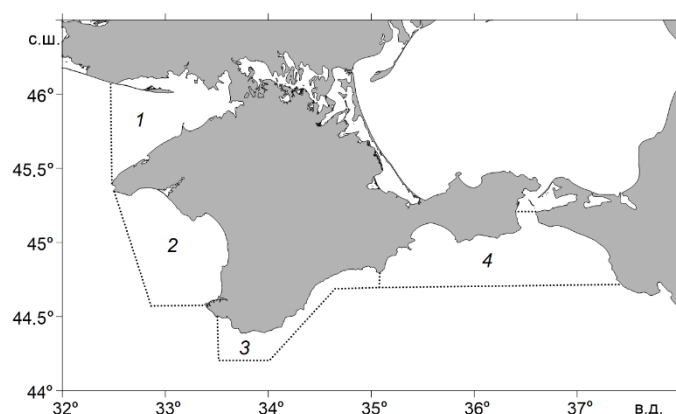


Рис. 1. Районирование шельфовой зоны Крыма по региональным океанографическим условиям: 1 – Каркинитский залив, 2 – Западный район, 3 – Южный берег Крыма, 4 – Керченско-Феодосийский район

Fig. 1. Crimean shelf regions division by oceanographic conditions: 1 – Karkinit Bay, 2 – Western Region, 3 – South Coast of Crimea, 4 – Kerch-Feodosia Region

²⁾ URL: https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_BS_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_022/description (дата обращения: 29.11.2025).

Для каждого узла регулярной сетки по ежесуточным данным рассчитывали среднедекадные (10-суточные) и среднемесячные значения для каждого конкретного года. По избранному временному ряду рассчитывали дисперсии:

- среднесуточных значений для 365 календарных дней;
- среднедекадных (10-суточных) значений для 37 календарных декад;
- среднемесячных значений для 12 календарных месяцев.

За общий уровень межгодовой и десятилетней изменчивости принимали дисперсию среднемесячных значений за каждый месяц, усредненную за год. Дисперсии среднедекадных значений, которые в определенной степени характеризуют синоптическую изменчивость (периоды от суток до месяца), осредняли по 12 месяцам и в целом за год. Дисперсии среднесуточных значений, представляющие низкочастотную часть мезомасштабного диапазона (периоды от часов до суток) также осредняли по 12 месяцам и за год. Сезонную изменчивость оценивали по среднему сезонному ходу – среднеквадратическому отклонению (СКО) и размаху среднемесячных значений, осредненных за выбранный 30-летний период. Результирующие средние поля всех рассчитанных характеристик временной изменчивости сглаживались гауссовским фильтром с радиусом пять узлов сетки.

Сравнение с результатами других исследований проводилось по работам [11, 12], использующих предыдущую версию массива *Black Sea High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed* на сетке $0.04^\circ \times 0.04^\circ$ [17], основанную на *AVHRR Pathfinder Version 5.2 (PFV52)*, для периодов 1982–2014 и 1982–2018 гг.

Результаты и обсуждение

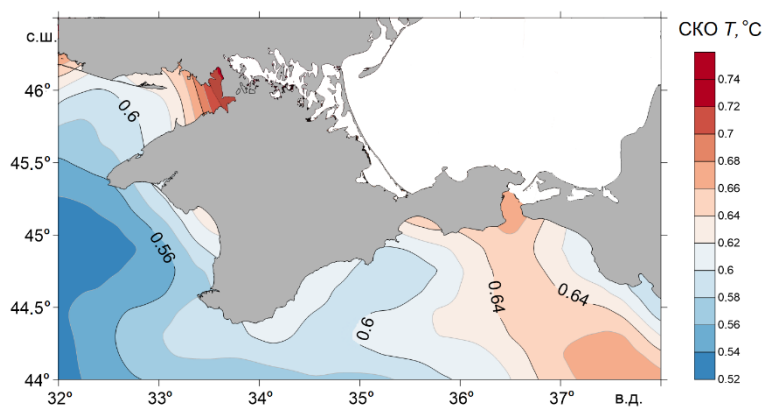
Для Черного моря, включая шельфовую зону, как и для ряда морей умеренных широт, характерна большая амплитуда сезонного хода ТПМ, значительно превосходящая временную изменчивость на других масштабах [1–12]. Размах сезонного хода резко возрастает в мелководных районах северной части моря, склонных к замерзанию, например в Каркинитском заливе, где достигает максимума (22°C) (рис. 2). В то же время минимумы размаха сезонного хода в Черном море (менее 17°C) наблюдаются в Керченско-Феодосийском районе и вблизи юго-западной оконечности Крыма, что связано с отепляющим действием ОЧТ в зимний период. Еще один пример минимума сезонного хода в Черном море – район у Синопского п-ова, где минимальные значения обусловлены постоянным летним апвеллингом.

Количественные значения и пространственное распределение СКО сезонной изменчивости хорошо согласуются с результатами работы [11], несмотря на различия в периоде осреднения, наборе спутниковых платформ, глубине, к которой отнесена ТПМ, и алгоритмах приведения к уровню L4.

Как отмечалось ранее в литературе [3, 11], следующей по интенсивности после сезонного хода является межгодовая изменчивость, СКО которой в несколько раз меньше сезонной СКО. При используемом методе расчета по мере увеличения периода осреднения в этом диапазоне будет возрастать доля более низкочастотных колебаний, таких как десятилетняя и междесятилетняя изменчивость. Далее в порядке уменьшения следуют 10-суточная изменчивость (условно синоптическая), которая в два раза слабее межгодовой,

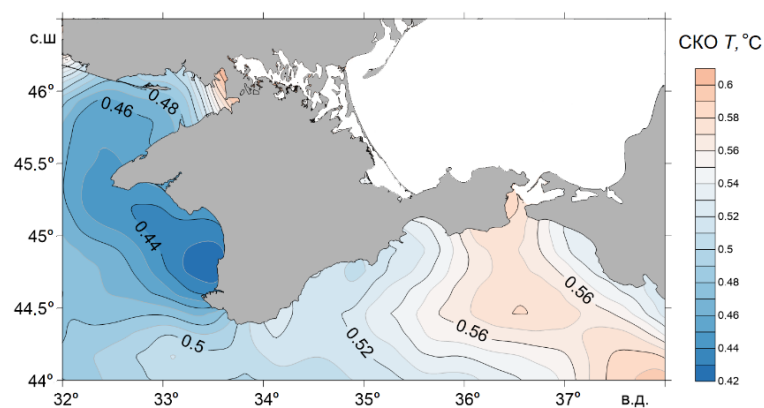
и среднесуточная (условно мезомасштабная). В каждом из исследуемых районов соотношение различных диапазонов временной изменчивости ТПМ имеет свои региональные особенности (рис. 3).

Пространственные распределения межгодовой и 10-суточной изменчивости имеют качественно сходную картину (рис. 4). Их основное отличие от пространственного распределения сезонного хода заключается в появлении нового максимума в районе Керченского пролива и сокращении зоны максимальных значений в Каркинитском заливе. При рассмотрении более высокочастотной части спектра (среднесуточная изменчивость) появляется минимум в юго-западном районе (Каламитский залив) (рис. 5).



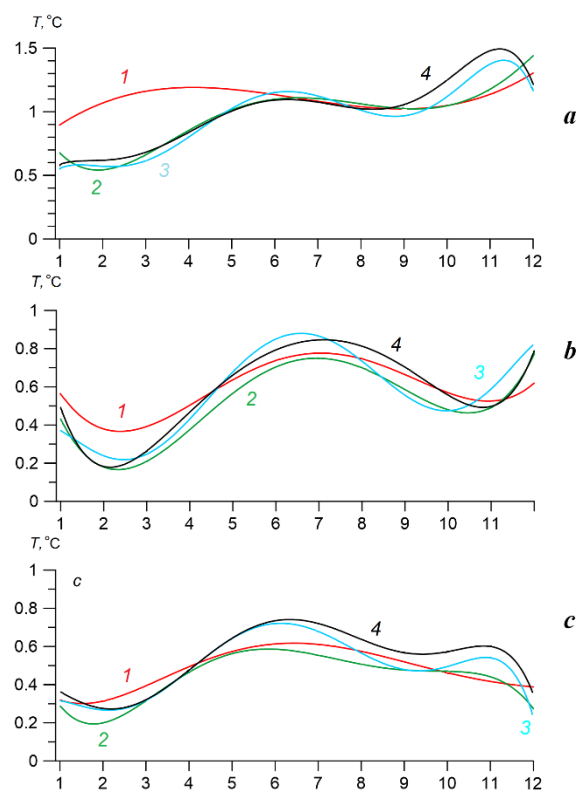
Р и с . 4. Среднее СКО 10-суточной изменчивости ТПМ у побережья Крыма в 1991–2020 гг.

Fig. 4. Mean standard deviation of 10-day variability of sea surface temperature near the Crimean coast in 1991–2020



Р и с . 5. Среднее СКО среднесуточной изменчивости ТПМ у побережья Крыма в 1991–2020 гг.

Fig. 5. Mean standard deviation of daily SST variability near the Crimean coast in 1991–2020



Р и с . 6 . Сезонный ход СКО ТПМ для четырех шельфовых районов Крыма в диапазонах межгодовой (а), 10-суточной (b) и среднесуточной (с) изменчивости в 1991–2020 гг. Цифры соответствуют номерам районов (см. рис. 1)

Fig. 6. Seasonal variability of mean standard deviations for sea surface temperature: interannual (a), 10-day (b) and daily (c) in 1991–2020. Digits stand for region numbers (see Fig. 1)

Пространственное распределение СКО межгодовой изменчивости ТПМ качественно согласуется с результатами работы [11], но количественные оценки в настоящей работе в среднем на 10 % ниже. Указанные расхождения обусловлены различиями не только в используемых массивах данных о ТПМ, но и в методиках оценки ее изменчивости в различных временных диапазонах. Провести прямое количественное сравнение с данными работы [12], посвященной синоптической изменчивости ТПМ, не представляется возможным. В этой работе изменчивость оценивалась по внутримесячным интервалам, что включает вклад колебаний в более широком частотном диапазоне. В связи с этим суммарная дисперсия для 10-суточного и среднесуточного диапазонов (рис. 4, 5), рассчитанная в нашей работе, оказывается в 1.5–2 раза ниже, чем значения, приведенные в [12], при качественном сходстве пространственных картин распределения для 10-суточной изменчивости (рис. 4).

Анализ сезонного хода интенсивности изменчивости ТПМ выявил как общие закономерности для всех четырех районов (рис. 6), так и региональные особенности. Для всех регионов характерны основной минимум интенсивности колебаний во всех диапазонах зимой и ранней весной и менее выраженный локальный минимум – в начале осени. Максимумы изменчивости приходятся на лето и позднюю осень, причем для межгодовой изменчивости осенний максимум выражен сильнее. Исключением является Каркинитский залив: здесь, в отличие от других районов, наблюдается более ровный сезонный ход межгодовых колебаний, которые, как и во всех остальных диапазонах изменчивости, имеют максимальную интенсивность зимой.

Интенсивность вариаций температуры в Керченско-Феодосийском районе в летне-осенний сезон выше, чем в других районах, а максимум наблюдается в начале лета на ЮБК. Наименьшие значения во всех диапазонах временной изменчивости отмечены в Юго-Западном Крыму.

Сезонный ход межгодовой изменчивости в северо-восточной части моря, вблизи Керченского пролива, количественно и качественно согласуется с данными работы [11]. Однако у ЮБК обнаружены заметные расхождения: в нашем исследовании максимум приходится на осень, тогда как в работе [11] он зафиксирован летом. Существенные различия также выявлены для синоптической изменчивости. В работе [12] отмечены два четких максимума – в мае и октябре, тогда как в наших данных основной максимум смещен на июнь, а октябрь характеризуется локальным минимумом.

Заключение

На основе массива среднесуточных данных *Black Sea High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed* на сетке с разрешением $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ рассчитаны характеристики временной изменчивости ТПМ в шельфовых районах черноморского побережья Крыма за климатический период ВМО 1991–2020 гг.

Среди четырех исследуемых районов, выделенных по океанографическим характеристикам, наиболее выраженной изменчивостью характеризуется Каркинитский залив. Для этого района свойственны максимальный размах сезонного хода ТПМ и наибольшая интенсивность изменчивости (особенно межгодовой) во всех временных диапазонах в зимний период, что особенно заметно для межгодового масштаба. Подобный режим межгодовых колебаний типичен для мелководных замерзающих участков северо-западного шельфа и обусловлен резкой сменой аномально теплых и холодных зим.

Граничащий с Каркинитским заливом Западный район, напротив, отличается наименьшим среди рассматриваемых участков крымского шельфа уровнем временной изменчивости ТПМ. Зимой обогревающее воздействие ОЧТ значительно уменьшает размах сезонного хода температуры, а Севастопольский антициклон способствует накоплению и распределению более теплых вод над шельфом. Низкая интенсивность более высокочастотных колебаний ТПМ обусловлена в целом слабой циркуляцией вод в районе.

Керченско-Феодосийский район отличается наибольшей интенсивностью изменчивости ТПМ во всех диапазонах в осенний период благодаря возрастанию атмосферной синоптической активности в северо-восточной части Черного моря и водообмену с быстро охлаждающимся Азовским морем.

При этом в указанном районе также наблюдается минимум размаха сезонного хода ТПМ, обусловленный обогревающим эффектом ОЧТ в зимний период.

Показатели временной изменчивости ТПМ вблизи ЮБК занимают промежуточное положение между показателями Западного и Керченско-Феодосийского районов. Однако размах сезонного хода здесь больше, что объясняется отсутствием квазистационарных антициклонических вихрей, таких как Керченский и Севастопольский, способствующих распределению вод ОЧТ по акватории. В результате обогревающее действие ОЧТ сосредоточено в большей степени в его струе, а не на шельфе. Летний пик среднесуточной и 10-суточной изменчивости связан с частыми апвеллингами и даунвеллингами, вызванными изменчивостью полей ветра.

В целом для шельфовой зоны Крыма характерна повышенная пространственная контрастность как общей интенсивности изменчивости ТПМ, так и ее сезонных вариаций на разных временных масштабах. Это позволяет эффективно использовать данные параметры для районирования акватории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / А. С. Блатов [и др.] ; под ред. Б. А. Нелепо. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное Море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. А. И. Симонова, Э. Н. Альтмана. Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1991. 432 с.
3. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* Океанография Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 209 с. EDN XPERZR.
4. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2. Черное море / Ю. П. Ильин [и др.]. Севастополь : УкрНИГМИ, 2012. 421 с.
5. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А.* Об использовании спутниковых данных в исследовании сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря // Исследование Земли из космоса. 2001. №. 1. С. 51–61.
6. *Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A.* Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982–2000) // Journal of Marine Systems. 2004. Vol. 52, no. 1–4. P. 33–50. EDN LIRXCX. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2004.05.002>
7. *Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A.* Sea surface temperature variability // The Black Sea environment / Eds. A. G. Kostianoy, A. N. Kosarev. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2008. P. 255–275. (The handbook of environmental chemistry ; vol. 5, part Q). EDN LHBGRY. https://doi.org/10.1007/698_5_067
8. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А.* Долговременная изменчивость температуры поверхности Черного моря и ее отклик на глобальные атмосферные воздействия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5, т. II. С. 76–83. EDN NDPVON.
9. *Артамонов Ю. В., Бабий М. В., Скрипалева Е. А.* Региональные особенности межгодовой изменчивости поля температуры на поверхности Черного моря // Системы контроля окружающей среды. 2005. Вып. 8. С. 240–242.
10. *Артамонов Ю. В., Белокопытов В. Н., Скрипалева Е. А.* Особенности изменчивости гидрологических и биооптических характеристик на поверхности Черного моря по данным спутниковых и контактных измерений // Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря / под ред. В. Н. Еремеева, С. К. Коновалова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. С. 88–115.

11. Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Федирко А. В. Региональные особенности климатической изменчивости поля температуры на поверхности Черного моря // Метеорология и гидрология. 2017. № 2. С. 56–66. EDN XWUADV.
12. Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Федирко А. В. Региональные особенности синоптической изменчивости поля температуры на поверхности Черного моря по спутниковым данным // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 2. С. 202–213. EDN UXHHYT. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-2-202-213>
13. Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В. Сезонная изменчивость суточного хода температуры поверхностного слоя Черного моря по данным сканера SEVIRI // Морской гидрофизический журнал. 2019. № 2. EDN BGXSET. С. 171–184. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-2-171-184>
14. Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В. Сезонный и суточный ход температуры вод Черного моря по данным термопрофилирующих дрейфующих буев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 268–281. EDN CIQYLL. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-268-281>
15. Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В. Сезонная и суточная изменчивость характеристик термического скин-слоя на основе сопоставления спутниковых измерений SEVIRI и данных термопрофилирующих буев // Исследование Земли из космоса. 2021. № 3. С. 30–44. EDN TWLLRM. <https://doi.org/10.31857/S020596142102007X>
16. Satellite-based time-series of sea-surface temperature since 1981 for climate applications / C. J. Merchant [et al.] // Scientific data. 2019. Vol. 6. 223. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0236-x>
17. A re-analysis of Black Sea surface temperature / B. B. Nardelli [et al.] // Journal of Marine Systems. 2010. Vol. 79, iss. 1–2. P. 50–64. EDN MZVFGP. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.07.001>

Поступила 05.03.2025 г.; одобрена после рецензирования 26.05.2025 г.; принята к публикации 17.09.2025 г.; опубликована 30.12.2025 г.

Об авторах:

Лукашова Оксана Анатольевна, старший инженер-исследователь, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), SPIN-код: 5308-6338, luk_ok@mail.ru

Белокопытов Владимир Николаевич, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом океанографии, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, ResearchID: ABA-1230-2020, ORCID ID: 0000-0003-4699-9588, Scopus Author ID: 6602381894, SPIN-код: 5697-5700, belokopytov.vn@mhi-ras.ru, v.belokopytov@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Лукашова Оксана Анатольевна – обзор литературы, проведение расчетов, подготовка графических материалов, анализ и интерпретация результатов

Белокопытов Владимир Николаевич – постановка задач исследования, формирование структуры статьи, анализ и интерпретация результатов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.