

Суточный ход температуры вод Черного моря в районе Южного берега Крыма по данным высокочастотных измерений термопрофилемера

В. А. Рубакина *, А. А. Кубряков, П. В. Гайский

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

** e-mail: valenru93@mail.ru*

Аннотация

Целью настоящей работы является анализ вертикальной изменчивости суточного хода температуры прибрежных вод в районе Южного берега Крыма. Исследование выполнено с использованием данных термопрофилемера с высоким временным разрешением 0.5 с, установленного на океанографической платформе в п. Качивели, за период с 24.08.2021 по 26.11.2023. Определено, что суточный ход температуры выражен на всех горизонтах измерений, наиболее ярко – на верхнем горизонте 0.75 м с мая по август. Максимальные аномалии среднего суточного хода отмечаются в мае – июле в утренние и дневные часы. Максимальный прогрев происходит с 11:00 до 16:00 в слоях до 6–8 м, а в теплый период достигает горизонтов 14–16 м. Рассмотрены отдельные события значительного дневного прогрева в холодный и теплый периоды года. Амплитуда суточного хода составляет 1.3 °C в холодный и 3.5 °C в теплый период. Статистический анализ дневного прогрева ΔT показал, что чаще всего ΔT составляет менее 0.3 °C, а события с ΔT более 2–3 °C редки. Наибольшая температура наблюдается в июне – августе на верхних горизонтах при ветре 2–4 м/с, прогрев может проникать до 18 м. В холодный период (ноябрь – апрель) при сильном ветре температура имеет низкие значения на всех горизонтах. Наибольшие средние значения ΔT отмечаются летом при ветре до 6 м/с, с усилением ветра они снижаются; наименьшие – характерны для холодного периода года. В слоях до 4–6 м значения ΔT летом превышают 0.8–1 °C, а зимой близки к 0 °C на всех горизонтах измерений. Таким образом, данные термопрофилемера могут быть использованы для анализа суточной изменчивости температуры вод прибрежной зоны. Результаты, полученные в исследовании, дополняют уже имеющуюся картину суточной изменчивости температуры в прибрежной зоне Черного моря. В частности, определено, что вертикальное распределение суточных колебаний температуры вод сильно зависит от сезона и ветровых условий, а в летний период дневной прогрев может проникать до глубин 14–18 м.

Ключевые слова: суточный ход температуры, распределенный датчик температуры, термопрофилемер, термокоса, Черное море, Южный берег Крыма

© Рубакина В. А., Кубряков А. А., Гайский П. В., 2026



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

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по темам FNNN-2024-0012 «Анализ, диагноз и оперативный прогноз состояния гидрофизических и гидрохимических полей морских акваторий на основе математического моделирования с использованием данных дистанционных и контактных методов измерений» и FNNN-2024-0001 «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на ее границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях».

Для цитирования: Рубакина В. А., Кубряков А. А., Гайский П. В. Суточный ход температуры вод Черного моря в районе Южного берега Крыма по данным высокочастотных измерений термопрофилемера // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2026. № 3. С. 56–75. EDN DNXDEJ.

Diurnal Cycle of the Black Sea Waters Temperature in the Area of the Southern Coast of Crimea Based on High-Frequency Measurements of the Thermoprofiler

V. A. Rubakina *, A. A. Kubryakov, P. V. Gaisky

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

** e-mail: valenru93@mail.ru*

Abstract

The aim of this article is to analyze the vertical variability of the diurnal temperature cycle in coastal waters off the Southern Coast of Crimea. The study is based on data from a thermoprofiler with a high temporal resolution of 0.5 s, installed on the oceanographic platform in Katsiveli, covering the period from August 24, 2021, to November 26, 2023. It was found that the diurnal temperature cycle is expressed at all measurement depths and is most pronounced at the uppermost level (0.75 m) from May to August. Maximum anomalies of the mean diurnal cycle are observed in May–July during the morning and afternoon hours. The strongest warming occurs from 11:00 to 16:00 in layers down to 6–8 m, and during the warm season it reaches depths of 14–16 m. Selected events of significant daytime warming in both cold and warm seasons are examined. The diurnal amplitude is 1.3 °C in the cold season and 3.5 °C in the warm season. Statistical analysis of daytime warming ΔT shows that ΔT is most often less than 0.3 °C, while events with ΔT exceeding 2–3 °C are rare. The highest temperatures are observed in June – August at the uppermost levels under wind speeds of 2–4 m/s, with warming penetrating down to 18 m. During the cold season (November–April), under strong winds, temperatures are low at all depths. The highest mean ΔT values occur in summer at wind speeds up to 6 m/s, decreasing with increasing wind speed. The lowest ΔT values are characteristic of the cold season. In layers down to 4–6 m, ΔT exceeds 0.8–1 °C in summer, while in winter it is close to 0 °C at all measurement levels. Thus, thermoprofiler data can be successfully used to analyze the diurnal variability of water temperature in the coastal zone. The results obtained in this study complement the existing understanding of diurnal temperature variability in the coastal Black Sea. In particular, it was determined that the vertical distribution of diurnal temperature fluctuations strongly depends on the season and wind conditions, and in summer daytime warming can penetrate to depths of 14–18 m.

Keywords: temperature diurnal cycle, distributed temperature sensor, thermoprofiler, thermistor chain, Black Sea, Southern Coast of Crimea

Acknowledgements: The study was performed under state assignment of MHI RAS on topics FNNN-2024-0012 “Analysis, diagnosis and real-time forecast of the state of hydrophysical and hydrochemical fields of marine water areas based on mathematical modelling using data from remote and in situ methods of measurements” and FNNN-2024-0001 “Fundamental studies of the processes that determine fluxes of matter and energy in the marine environment and at its boundaries, the state and evolution of the physical and biogeochemical structure of marine systems in modern conditions”.

For citation: Rubakina, V. A., Kubryakov, A.A. and Gaisky, P.V., 2026. Diurnal Cycle of the Black Sea Waters Temperature in the Area of the Southern Coast of Crimea Based on High-Frequency Measurements of the Thermoprofilemeter. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 56–75.

Введение

Мониторинг состояния прибрежной зоны моря, такой как Южный берег Крыма (ЮБК), необходим для понимания и прогнозирования протекающих в ней природных процессов и их воздействия на окружающую среду. Исследование температурной изменчивости прибрежных вод Черного моря в районе ЮБК имеет важное значение для оценки динамики экосистем, выявления климатических изменений и процессов взаимодействия на границе море – суша. Среди множества гидрофизических параметров вертикальная термическая структура вод является наиболее информативной, поскольку она определяет динамику биогеохимических компонентов морской среды, состояние береговой зоны и ее рекреационный потенциал. Особый интерес представляет температурная изменчивость, отражающая как сезонные, так и внутрисуточные колебания, которые влияют на экосистемные процессы и взаимодействие между морем и сушей.

Прибрежная зона ЮБК отличается высокой динамичностью температурного режима, обусловленной ее географическим положением и климатическими условиями. Поскольку значимые приливные колебания здесь отсутствуют, определяющую роль в формировании термической структуры играют апвеллинги и волновые процессы различной природы. Выявление таких трудно-предсказуемых событий, продолжительность которых варьируется от нескольких минут до нескольких дней, возможно только при проведении длительных непрерывных наблюдений [1].

Исследование суточного хода температуры верхнего слоя океана входит в число приоритетных задач современной океанологии, так как именно суточные колебания вносят существенный вклад в турбулентный обмен теплом и импульсом между океаном и атмосферой, влияют на формирование ветровых полей [2, 3]. Изменения стратификации вод, вызванные суточными колебаниями потоков тепла, влияют на физические и биогеохимические процессы в верхнем слое океана [2]. Как показано в работе [4], суточная изменчивость температуры в приповерхностном слое океана тесно связана с радиационным балансом и турбулентным обменом. Суточный ход температуры регистрируется практически во всем Мировом океане, и его учет обязателен для корректной оценки приповерхностной температуры воды, играющей значительную роль в тепло-массообмене через границу вода – воздух. Результаты моделирования подтверждают, что суточная изменчивость температуры существенным образом

модулирует стратификацию вод, условия турбулентности и формирование верхнего квазиоднородного слоя [5–7].

Этой проблематике посвящено множество исследований как зарубежных, так и отечественных авторов [8–13] с привлечением данных контактных измерений и спутникового мониторинга. Фундаментальные работы по общей циркуляции и климатологии Черного моря, например [14, 15], опираются на стандартные гидрологические разрезы, которые не могут адекватно отобразить высокочастотную суточную изменчивость и прибрежные процессы, характерные для прибрежной зоны ЮБК.

Следует отметить, что одним из главных факторов, формирующих термический режим у крымского побережья, являются апвеллинги. Именно им посвящено подавляющее большинство современных исследований изменчивости прибрежной термической структуры вод [1, 16–19]. Так, в работе [1] на основе данных термокосы с временным разрешением 60 с оценен сезонный цикл синоптической термической изменчивости вод на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне (ЧГПП), пгт Кацивели, в 2013 г., и рассмотрены реализации апвеллингов, не связанных с ветровым воздействием. В работе [20] с помощью термопрофилирующих дрейфующих буйев изучалась вертикальная термическая структура вод Черного моря, а в [21] высокочастотные данные сканера *SEVIRI* в сочетании с результатами береговых контактных измерений позволили успешно исследовать изменчивость температуры поверхности моря (ТПМ) в прибрежной зоне ЮБК.

Термическая структура вод на ЧГПП в пгт Кацивели изучается со стационарной океанографической платформы МГИ с середины 1990-х гг. с использованием различных приборов, в том числе термокосы, установленной от приповерхностного до придонного слоя. В [22] приведены сведения о самой платформе и ее возможностях для проведения длительных гидрометеорологических измерений, а также многолетние данные о вертикальном распределении температуры моря (1981–2003 гг.), показавшие положительный тренд среднегодовых значений температуры моря. В работе [23] представлены результаты многолетних измерений температуры воды у ЮБК, выполненных в районе океанографической платформы на глубинах до 25 м, а также соответствующие данные о поле ветра в этом районе. Для теплого полугодия детализированы месячные изменения температуры на шести стандартных горизонтах (1, 5, 10, 15, 20 и 25 м), а также зафиксированы стонно-нагонные процессы и их временная изменчивость.

Широкое применение термокос и термопрофилемеров не привело к детальному исследованию суточного хода температуры, поскольку большинство работ посвящено исследованию апвеллингов и внутренних волн. Исключением является работа [24], где с помощью термокосы измеряли температуру вод Балаклавской бухты на глубинах от 14.5 до 29 м (29.01.2022–04.02.2022). На каждом датчике было зарегистрировано 303 значения температуры воды. За все время измерений максимальная температура составляла 9.075 °С, минимальная – 8.375 °С. В результате проведенного исследования был сделан вывод о том, что суточный ход в данных термокосы не наблюдается. Более детально особенности вертикальной изменчивости суточного хода температуры вод Черного моря рассмотрены в работе [25], в которой изучались

события значительного дневного прогрева для холодного и теплого периода года. Однако эти измерения относятся преимущественно к глубоководной части Черного моря. Кроме того, вертикальное разрешение термодрифтеров [20] в поверхностном слое недостаточно высоко и ограничено данными лишь с двух датчиков – на горизонтах 0.2 и 12.2–12.5 м. Данные дистанционного зондирования сканера *SEVIRI* [26] позволяют оценить суточный ход ТПМ, а также события экстремального прогрева, но вертикальное распределение температуры этим сканером не регистрируется. Модельное исследование [27] воспроизводит на основе результатов расчета *NEMO* вертикальное распределение суточного хода температуры для бассейна Черного моря в различные сезоны 2015 г., однако применительно к району ЮБК подобные работы не проводились.

Таким образом, в настоящий момент исследования, в которых на основе длительных контактных измерений анализировалось бы вертикальное распределение суточного хода температуры в прибрежной зоне ЮБК в различные сезоны, отсутствуют.

Цель нашей работы – оценить суточную изменчивость температуры верхнего слоя вод в районе ЮБК с использованием высокочастотных данных термопрофилера за период более двух лет. Для реализации этой цели выполнены следующие задачи: изучены и описаны вертикальное распределение суточных колебаний и его особенности в различные сезоны года, проведен статистический анализ дневных прогревов в верхнем слое вод, проанализирована взаимосвязь суточной изменчивости температуры с ветровым воздействием.

Методы

Район и период измерений. Исследование выполнено на основе данных, полученных на стационарной океанографической платформе Морского гидрофизического института РАН, расположенной в пгт Кацивели (ЮБК) на расстоянии около 500 м от берега. Глубина моря в точке измерений составляла около 30 м. Измерения проведены с 24.08.2021 по 26.11.2023.

Данные термопрофилера. Вертикальные профили температуры получали с помощью распределенного датчика температуры (термопрофилера) общей длиной 24 м, состоящего из 16 полутораметровых термочувствительных участков [28]. Заякоренная на дне у платформы установка датчика обеспечивала непрерывные измерения интерполированного температурного профиля до глубины 19.5 м. Оставшиеся участки (4.5 м) располагались вертикально над водой и на границе раздела сред в зоне поверхностного морского волнения. В настоящей работе анализировали данные с 16 горизонтов измерений: 0.75, 2.25, 3.75 м над уровнем моря; –0.75, –2.25, –3.75, –5.25, –6.75, –8.25, –9.75, –11.25, –12.75, –14.75, –15.75, –17.25, –18.75 м относительно уровня моря. Первичный период опроса всех участков составлял 0.5 с, что позволяло получать почти мгновенную картину вертикальной стратификации температуры. Инструментальное разрешение измерительных каналов датчика составляло 0.0026 °C. Заявленная погрешность измерений на участках профиля – 0.1 °C. Тепловая инерционность датчика – около 30 с [29].

Данные о скорости ветра. Измерения¹⁾ проводили на той же платформе на высоте 21 м над уровнем моря с последующим приведением к стандартной высоте наблюдения 10 м [30]. Использовали при этом морскую часть платформы, ориентированную примерно 50°–230° относительно севера. Доступный для измерений диапазон направлений ветра составляет 340°–0°–270°. Все данные прошли контроль качества с отбраковкой ненадежных фрагментов.

Обработка данных. Для анализа временной изменчивости и суточного хода температуры исходные данные термопрофилемера (период опроса 0.5 с) были осреднены до часовых значений. Анализировали данные для горизонтов 0.75 м и ниже. Для каждого горизонта измерений построены временные ряды температуры, на основе которых оценивались сезонная и суточная изменчивость.

Для количественной оценки суточных колебаний использовались два параметра:

– амплитуда суточного хода (A), которую рассчитывали как разность между максимальным и минимальным значениями температуры за календарные сутки. Этот параметр характеризует общий размах суточных колебаний, однако может искажаться за счет апвеллингов, приводящих к резким похолоданиям;

– дневной прогрев (ΔT) – разность температуры в 17:00 и 4:00 местного времени:

$$\Delta T = T_{17:00} - T_{04:00}.$$

Выбор этих часов обоснован тем, что, согласно предварительному анализу среднего суточного хода, на 04:00 приходится минимум температуры, а на 17:00 – максимум в большинстве месяцев. Использование ΔT позволяет более объективно оценить именно дневной прогрев, исключая влияние апвеллингов и других кратковременных похолоданий, которые могут давать ложное завышение амплитуды A .

Статистический анализ. Для оценки повторяемости событий дневного прогрева построены гистограммы распределения ΔT для всего периода измерений, а также отдельно для теплого (май – сентябрь) и холодного (ноябрь – март) сезонов. Анализировались только положительные значения ΔT (случаи, когда температура в 17:00 превышала температуру в 04:00).

Ограничения. Анализ проводился для одной фиксированной локации измерения, поэтому полученные результаты отражают локальные особенности суточного хода и могут не полностью соответствовать условиям открытого моря. Данные профилемера охватывают только верхние слои 0–19.5 м, что ограничивает возможность анализа на более глубоких горизонтах.

¹⁾ База данных мониторинга характеристик ветра акватории прибрежного экотона Черного моря у мыса Кикинеиз Южного берега Крыма за 2013–2022 гг. / А. С. Кузнецов, А. В. Гармашов, В. В. Зима ; ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН». Электрон. дан. Москва, 2023. № гос. регистрации: RU 2023622482.

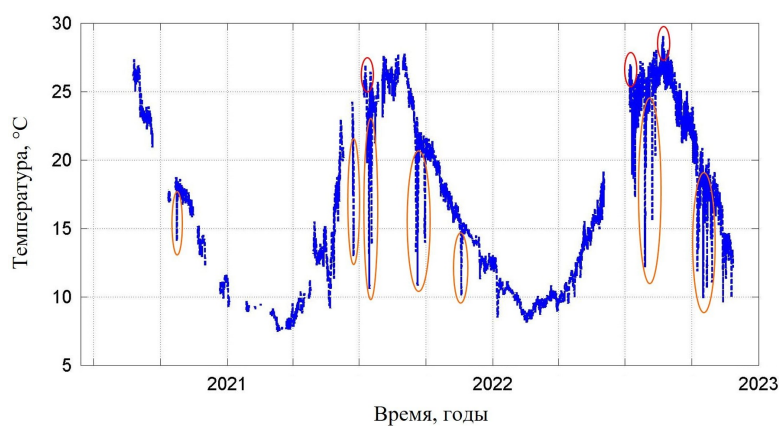
Результаты и обсуждение

Суточный и сезонный ход температуры вод в верхнем слое

Временной ход температуры воды на горизонте 0.75 м с 24.08.2021 по 26.11.2023 (рис. 1) демонстрирует четко выраженный сезонный ход и суточную изменчивость. Наименьшая температура на этом горизонте составила 7.4 °C (23:00 10.03.2022), а наибольшая – 29 °C (16:00 22.08.2023). В картине временного хода температуры выделяются события апвеллингов и экстремальных дневных прогревов с амплитудой суточного хода температуры на верхнем горизонте, превышающей 10 °C (примеры отмечены эллипсами на рис. 1).

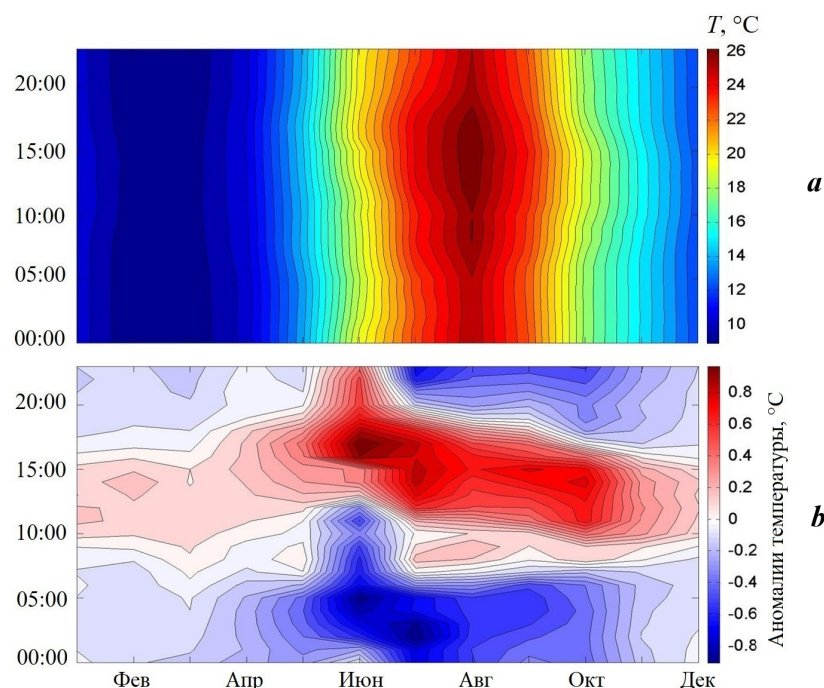
На рис. 2, *a* представлено распределение средней температуры на горизонте измерений 0.75 м по месяцам и часам суток. Из полученного распределения видно, что сезонный ход вносит наиболее существенный вклад в температурную изменчивость. Максимальные температуры в течение года приходятся на август (в послеобеденные часы) и составляют в среднем 26.6 °C, минимальные наблюдаются в феврале – марте (в ночные и утренние часы) и составляют 8.9–9 °C.

Диаграмма аномалий температуры (рис. 2, *b*) показывает отклонение суточного хода температуры на горизонте 0.75 м от среднего сезонного значения. Наибольшие по модулю аномалии наблюдаются в мае – августе, суточный ход температуры наиболее выражен. Максимальные значения регистрируются в июне – июле и составляют от –0.9...–0.8 °C (2:00–5:00) до приблизительно +1 °C в 17:00. Такое распределение среднего суточного хода хорошо согласуется с оценками, полученными ранее по данным SEVIRI о ТПИМ [26], и картиной распределения, полученной в работе [27] по результатам расчета



Р и с . 1 . Временная изменчивость температуры воды на горизонте 0.75 м с 24.08.2021 по 26.11.2023, по данным термопрофилемера (красными эллипсами отмечены примеры экстремального дневного прогрева, оранжевыми – апвеллинга)

Fig. 1. Temporal variability of temperature at a depth of 0.75 m from 24.08.2021 to 26.11.2023, based on thermoprofiler data (examples of extreme daytime warming are marked with red ellipses; examples of upwelling events are marked with orange ellipses)



Р и с . 2 . Сезонная изменчивость температуры T (a); аномалии температуры (b), по данным термопрофилимера за 2021–2023 гг. на горизонте 0.75 м по часам суток и месяцам

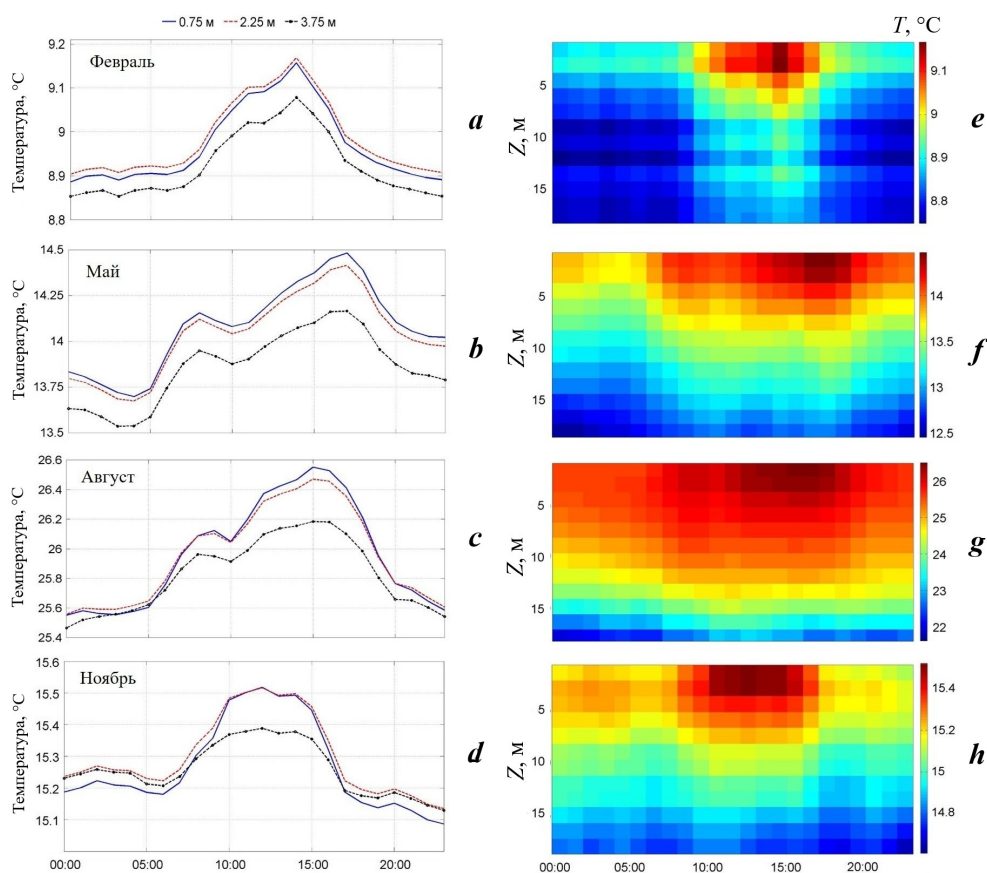
Fig. 2. Seasonal variability based on thermoprofiler data for 2021–2023: temperature at a depth of 0.75 m by hour of day and month (a); temperature anomalies at a depth of 0.75 m by hour of day and month (b)

модели *NEMO*. Расхождение с данными термодрифтеров [25] на горизонте 0.2 м (максимальные аномалии в апреле – мае, достигающие ± 0.4 °C) объясняется, вероятнее всего, тем, что термопрофилимер был расположен в прибрежной зоне на мелководье и измерения проводили в одной фиксированной точке. В летний период дополнительный вклад в изменчивость суточного хода в прибрежной зоне вносят бризовые ветры. Термодрифтеры, напротив, работали преимущественно в глубоководной части Черного моря и постоянно изменяли свое положение.

Вертикальное распределение суточного хода температуры

На горизонте 0.75 м средний суточный ход прослеживается в течение всего года (рис. 3). Максимальные температуры фиксировали в период с 11:00 до 16:00, время наступления максимума варьировалось по месяцам: в феврале – в 14:00, в мае – в 17:00, в августе – в 15:00, а в ноябре – в 12:00 (рис. 3, a – d).

Одним из анализируемых в работе параметров является амплитуда (A) суточного хода. A принимает максимальные значения в июне – октябре. На верхнем горизонте измерений в июне она достигала 1.8 °C, в июле – 1.7 °C.



Р и с . 3 . Средний суточный ход температуры на горизонте 0.75, 2.25 и 3.75 м (a – d) и вертикальное распределение среднего суточного хода температуры (e – h) в феврале (a, e), мае (b, f), августе (c, g), ноябре (d, h) 2021–2023 гг.

Fig. 3. The average temperature diurnal cycle at depths of 0.75, 2.25 and 3.75 m (a–d) and vertical distribution of the average temperature diurnal cycle (e–h) for February (a, e); May (b, f); August (c, g); November (d, h) 2021–2023

В холодный период года средняя амплитуда не превышала 0.4 °C. Максимальный прогрев отмечен преимущественно в верхних слоях до 6–8 м глубины. Однако в теплый период года он распространялся до нижних горизонтов измерений 14–16 м (рис. 3.) На горизонте 18.75 м средний суточный ход температуры в большей или меньшей степени был выражен для всех месяцев, за исключением июля и ноября. Наиболее явно он проявлялся в июне ($A = 1.5$ °C), августе ($A = 1.4$ °C) и октябре ($A = 0.7$ °C).

Необходимо отдельно отметить, что в холодный период (ноябрь – март) и в период сезонного снижения температуры (август – октябрь) в утренние и вечерние – ночные часы температура воды на верхнем горизонте измерений была меньше, чем в нижележащих слоях. Это хорошо просматривается на рис. 3, a, c, d. В декабре – марте температура на горизонте 0.75 м была ниже,

чем на горизонте 2.25 м. С августа по ноябрь в вечерние и утренние часы температура в верхнем слое была ниже, чем на горизонте 3.75 м (рис. 3), и только с 10:00 до 15:00 становилась выше, чем в нижележащих слоях.

В работе [25], в которой исследовался средний суточный ход для горизонтов 0.2 и 12.2 м, такое вертикальное распределение температуры в суточном ходе связывается с тем, что в дневные часы воды верхнего слоя прогреваются, а в ночные и утренние часы ночная конвекция выхолаживает этот верхний слой и температура на нижних горизонтах оказывается выше, чем в верхнем слое.

Особенности суточного хода и дневного прогрева

Дневной прогрев в теплый период года. На временной диапазон измерений термопрофилимером пришлось два теплых периода – с мая по август 2022 и 2023 гг. Данные термопрофилимера хорошо отражают сезонный прогрев. Наибольшие значения температуры зарегистрированы в августе. Наблюдается ряд событий выраженного апвеллинга.

Рассмотрим более подробно события значительного дневного прогрева в теплый период. На примере мая 2023 г. (рис. 4, а) хорошо видно, что в среднем значения A на верхнем горизонте не превышали $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значения A более $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответствуют событиям апвеллинга (выделены голубой областью). Например, 28 мая A достигала $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ вследствие выхолаживания, когда температура воды на горизонте 0.75 м в этот день была почти сравнялась с температурой на горизонте 18.75 м (рис. 4, а).

Событие интенсивного дневного прогрева зафиксировано 22.07.2023 (рис. 4, б). Температура верхнего слоя увеличилась от 23.7 до $27.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $A = 3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этот день скорость ветра была ниже, чем в предыдущий и последующий дни, и не превышала 6 м/с , температура воздуха достигала $29\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом 21 и 23 июля, когда скорость ветра превышала 10 м/с , аналогичного прогрева не наблюдалось, несмотря на высокую температуру воздуха (рис. 4, б). Формировалась устойчивая стратификация: температура вод на горизонте 18.75 м оставалась на уровне $18\text{--}19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Средняя амплитуда суточного хода A составила $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, достигая в ряде случаев $3\text{--}3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, б). В качестве примера рассмотрим событие прогрева 22 июля: за сутки A достигла $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура воды повысилась от 23.7 до $27.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, б). Это было обусловлено гидрометеорологическими условиями: скорость ветра в эти сутки не превышала 6 м/с , а температура воздуха возросла с 24.5 до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом 23 июля, несмотря на существенное повышение температуры воздуха до $27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, такого прогрева воды не наблюдалось из-за усиления ветра до 10 м/с . Отмечалась температурная стратификация: на горизонте 18.75 м температура воды в этот временной интервал не превышала $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, что было существенно ниже, чем в верхних слоях.

Дневной прогрев в холодный период года. В холодный период года (рис. 5, а) – с декабря 2022 г. по март 2023 г. – средняя амплитуда суточного хода на верхнем горизонте 0.75 м составила $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, что несколько выше оценок, полученных в работе [11] по данным термокосы в Балтийском море за аналогичный период 2014 г. ($0.1\text{--}0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Такое различие, вероятно, связано

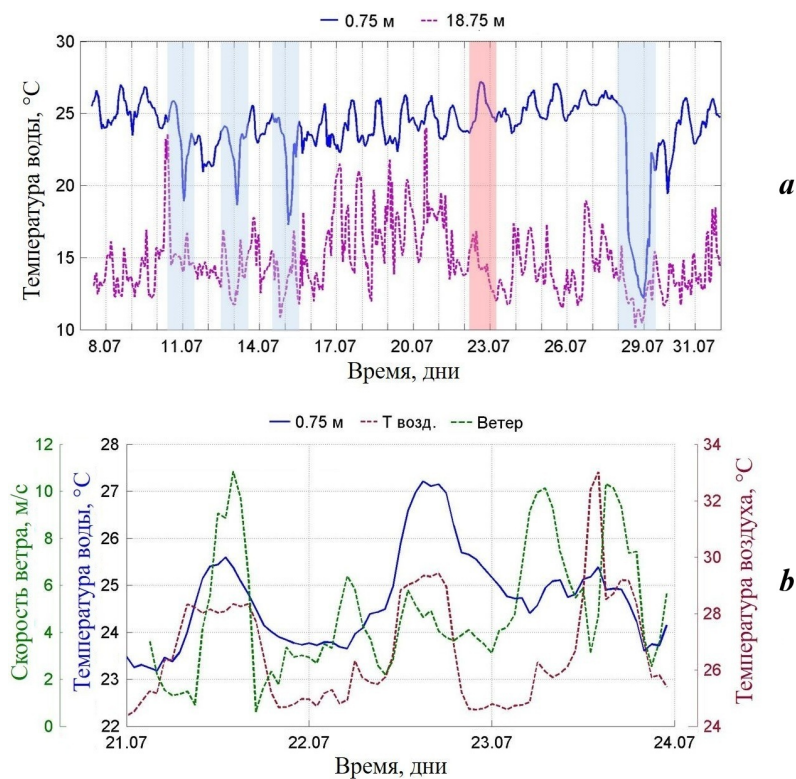


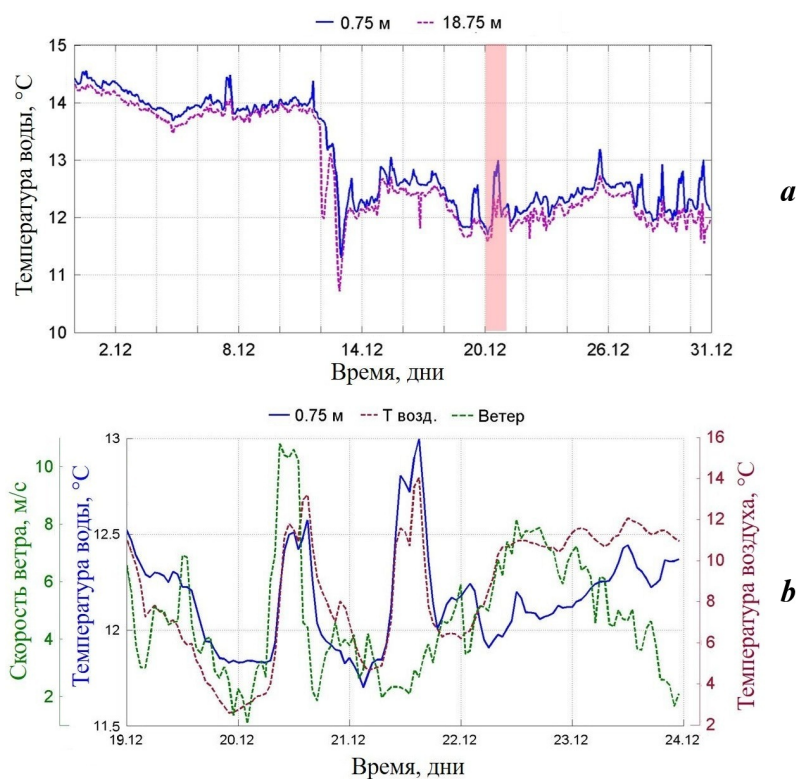
Рис. 4. Временной ход температуры на горизонтах 0.75 и 18.75 м с 07.07.2023 по 31.07.2023 (красной областью выделено событие прогрева 22.07.2023, голубыми – события апвеллинга) (а); временной ход температуры воздуха, температуры воды на горизонте 0.75 м, скорости ветра (б)

Fig. 4. Temporal variability of temperature at depths of 0.75 m and 18.75 m from 7.07.2023 to 31.07.2023 (the warming event on 22 July 2023 is highlighted with red shading; upwelling events are highlighted with blue shadings) (a); time series of air temperature, water temperature at a depth of 0.75 m, and wind speed (b)

с разными районами измерений: в настоящей работе использовались данные профилемера в прибрежной зоне Черного моря, тогда как в [11] измерения проводились термокосой в открытой части Балтийского моря.

Выделены четыре события прогрева, для которых значения A достигают и превышают $1\text{ }^{\circ}\text{C}$: 21.12.2022 ($1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$), 29.12.2022 ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$), 08.01.2023 ($1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) и 06.03.2023 ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Рассмотрим более подробно событие прогрева 21.12.2022 (рис. 5, b). В этот день температура воды и амплитуда ее суточного хода достигли достаточно высоких значений – 14 и $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Скорость ветра за рассматриваемые сутки не превышала 6 м/с , а в дневные часы сохранялись почти штилевые условия ($2\text{--}4\text{ м/с}$). При этом температура воздуха достигла максимума и составляла $12\text{--}14\text{ }^{\circ}\text{C}$ в дневные часы. Кроме того, в предыдущие сутки,



Р и с . 5 . Временная изменчивость температуры на горизонтах 0.75 и 18.75 м с 01.12.2022 по 31.01.2023 (красной областью выделено событие прогрева 21.12.2022) (а); временной ход температуры воды, температуры воздуха, скорости ветра с 19.12.2022 по 23.12.2022 (б)

Fig . 5 . Temporal variability of temperature at depths of 0.75 m and 18.75 m from 1.12.2022 to 31.01.2023 (the warming event on 21.12.2022 is highlighted with red shading) (a); time series of water temperature, air temperature, and wind speed for the period from 19.12.2022 to 23.12.2022 (b)

20 декабря, также отмечен существенный дневной прогрев с $A = 0.75$ °C при достаточно высокой температуре воздуха (13.2 °C). Хорошо видно, что при постепенном усилении скорости ветра и снижении температуры воздуха интенсивность дневного прогрева значительно снижается: 22 и 23 декабря значения A не превышали 0.4 °C (рис. 5, б).

В этот же период зафиксированы два апвеллинга – 13.12.2022 и 07.01.2023 (рис. 5, а), когда температура воды на верхнем горизонте 0.75 м снизилась с 14 до 11.3 °C и с 12.2 до 8.6 °C соответственно.

Экстремальный прогрев можно наблюдать и по данным дистанционного зондирования, и по результатам измерения термодрифтеров. Условия его формирования аналогичны описанным в работах [25, 26]: низкая скорость ветра и отсутствие облачного покрова.

Амплитуда суточного хода температуры, дневной прогрев и статистическое распределение величины дневного прогрева в верхнем слое вод. Для статистического анализа событий дневного прогрева амплитуда A , рассчитанная как разность максимального и минимального значений температуры за рассматриваемые сутки, может быть не всегда корректна. Это связано с тем, что в течение суток может происходить не только прогрев, но и выхолаживание, часто связанное с апвеллингами. На рис. 6 сопоставлены временные ряды A и ΔT (разность значений температуры в 17:00 и 4:00) на горизонте 0.75 м. Такая разность температур позволяет объективно оценить дневной прогрев, поскольку в эти часы наблюдаются соответственно суточный максимум и минимум температуры (см. рис. 2, *b*). Хорошо видно, что для событий с экстремально высокими значениями A в подавляющем большинстве случаев значения ΔT отрицательны, что свидетельствует о выхолаживании.

Статистический анализ событий дневного прогрева проводился только для положительных значений ΔT (случаи прогрева). Распределения для всего периода в целом, а также отдельно для теплого и холодного сезонов показывают (таблица), что наиболее распространен прогрев с ΔT менее 0.3 °C.

События с $\Delta T = 2 \dots 3$ °C были редки и не превышали 2 % от общего числа событий прогрева и 6 % в теплый период года. В теплый период (май – сентябрь) ΔT может достигать 5 °C и выше, тогда как в холодный период (ноябрь – март) ΔT не превышает 3 °C, а события прогрева с $\Delta T > 1$ °C составляют менее 1 %.

Изменчивость температуры воды и суточного прогрева для различных месяцев года и связь этих величин с полем ветра и горизонтом измерений. Исследована зависимость температуры воды и суточного прогрева ΔT от горизонта измерений и скорости ветра в различные месяцы года. Для каждого интервала

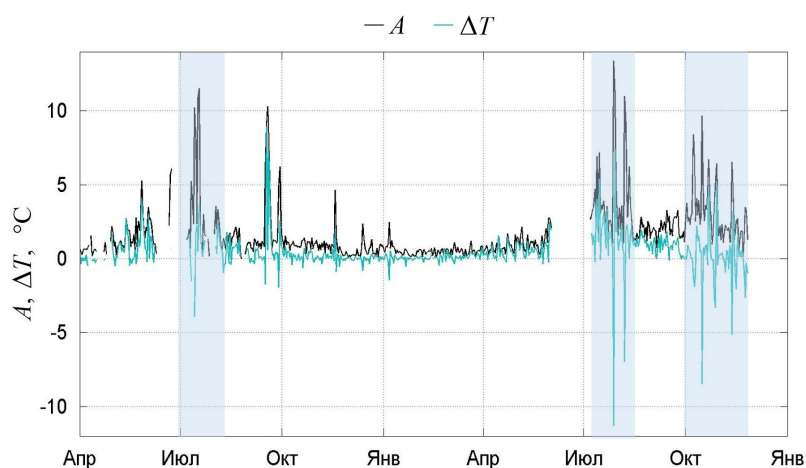


Рис. 6. График временного распределения значений A и суточного прогрева ΔT (голубой областью выделены события с A , соответствующие апвеллингам)

Fig. 6. Temporal variability of A values and the temperature difference ΔT (events with A corresponding to upwelling are highlighted with blue shading)

Статистическое распределение ΔT , %
Statistical distribution of diurnal warming ΔT , %

ΔT , °C	Май – сентябрь / May–September	Ноябрь – март / November–March	Весь период / Entire period
$\Delta T < 0.3$	28	84	57
$0.3 \leq \Delta T < 0.5$	12	11	13
$0.55 \leq \Delta T < 1$	25	4	14
$1 \leq \Delta T < 1.55$	17	< 1	8
$1.55 \leq \Delta T < 2$	8	< 1	4
$2 \leq \Delta T < 2.9$	6	< 1	2
$2.9 \leq \Delta T < 3.5$	~1	0	< 1
$3.5 \leq \Delta T < 4.5$	~1	0	< 1
$4.5 \leq \Delta T < 5$	~1	0	< 1
$5 \leq \Delta T < 8$	< 1	0	< 1
$\Delta T \geq 8$	0	0	< 1

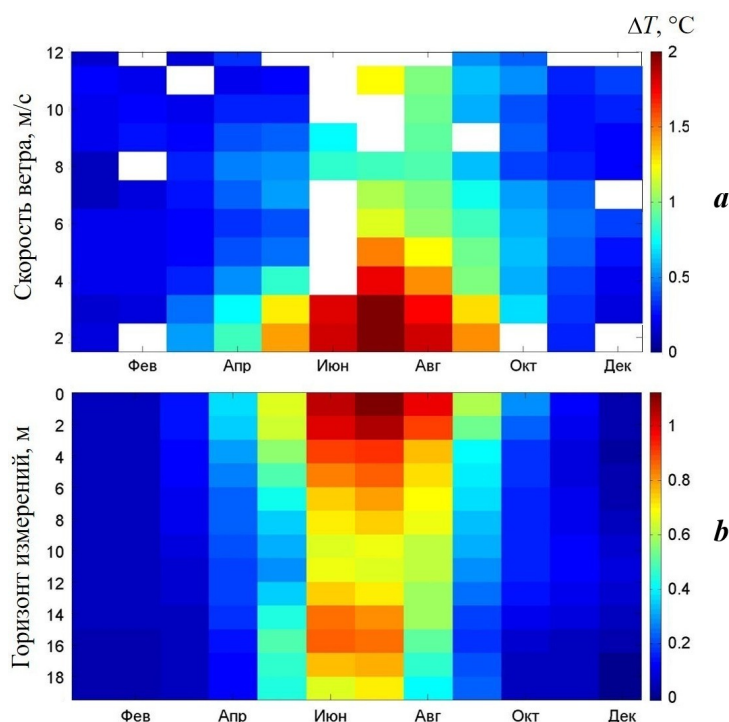
скорости ветра, месяца и горизонта измерений определяли среднее значение ΔT . Полученная зависимость представлена в виде диаграммы, ΔT рассчитывалась как разность температуры в 17:00 и 4:00 для исключения влияния апвеллингов и тех ситуаций, когда за сутки было мало измерений температуры и разницу максимального и минимального значений нельзя считать амплитудой суточного хода.

На верхнем горизонте измерений наибольшие ΔT (1.8–2 °C) наблюдаются в летние месяцы (июнь – август) с максимумом в июле (2.3 °C) при скорости ветра до 4 м/с (рис. 7, *a*). С увеличением скорости ветра ΔT снижается. Наименьшие значения ΔT приходятся на холодный период года и в среднем не превышают 0.3–0.4 °C.

Аналогичная зависимость для амплитуды суточного хода A , построенная по спутниковым данным за многолетний период [31], имеет сходный характер, однако максимум A смещен на апрель – июнь с наибольшими значениями в июне. Такое различие может быть связано как с разной продолжительностью временного ряда данных, так и с горизонтом измерений и способом получения данных.

По вертикальному распределению (рис. 7, *b*) наибольшие значения ΔT также приходятся на июнь – август с максимумом в июле в верхних слоях вод до горизонтов 4–6 м, превышающим на поверхности 1 °C. На горизонтах до 8 м ΔT достигает 1 °C. С апреля ΔT в верхних слоях увеличивается, а в сентябре снижается. Минимальные значения ΔT отмечаются в декабре – феврале для всех рассматриваемых горизонтов.

Главной особенностью полученной зависимости является локальный максимум ΔT в слое 14–18 м в июне – июле. Температура на нижних горизонтах существенно колеблется из-за внутренних волн, а также локальных течений и адвекции. В июне – июле на этой глубине располагается слой сезонного скачка температуры, колебания которого приводят к увеличению ΔT .



Р и с . 7. Зависимость суточного прогрева в различные месяцы: от скорости ветра на горизонте 0.75 м (а); от горизонта измерений (б)

Fig. 7. Dependence of diurnal warming for different months: on wind speed at a depth of 0.75 m (a) and on the depth (b)

Кроме того, в летние месяцы в слое 16–20 м находится максимум спектральной энергии инерционных колебаний [13], совпадающий с локальным максимумом спектральной энергии суточных колебаний.

Закключение

Исследовано вертикальное распределение суточной изменчивости температуры воды в Черном море в районе ЮБК по данным термопрофилемера с высоким временным разрешением (0.5 с). Определено, что данные термопрофилемера хорошо отображают суточный, сезонный и межгодовой ход температуры, а также явления апвеллинга и экстремальных прогревов.

Суточный ход в большей или меньшей степени прослеживается для всех анализируемых горизонтов в каждом месяце года. На верхнем горизонте 0.75 м он наиболее выражен в мае – августе. Наибольшие абсолютные значения аномалий в среднем суточном ходе приходятся на май – июль в 4:00–5:00 и 15:00–17:00.

Проанализирован средний суточный ход температуры на различных горизонтах в различные месяцы. Максимальный прогрев наблюдался с 11:00

до 16:00 (время изменялось по месяцам), преимущественно в верхних слоях до 8 м. Однако в теплый период года прогрев распространялся до нижних горизонтов измерений 14–16 м. В холодный период года (ноябрь – март), а также в период сезонного охлаждения (август – октябрь) в утренние и вечерние – ночные часы температура на верхнем горизонте 0.75 м была ниже, чем в нижележащих слоях.

Рассмотрены события экстремального дневного прогрева в холодный и теплый периоды года. Амплитуда A суточного хода температуры составила 1.3 и 3.5 °C соответственно. Формированию таких значительных прогревов способствовали штилевые условия и повышенная температура воздуха. Данные о вертикальном распределении температуры позволяют сделать вывод о формировании устойчивой стратификации: вертикальное перемешивание воды, особенно в теплый период года, почти отсутствовало.

Выполнен статистический анализ величины дневного прогрева ΔT . Наиболее распространен прогрев менее 0.3 °C. События, при которых температура за сутки увеличивалась более чем на 2–3 °C, были редки и не превышали 2 % от общего числа событий прогрева и 6 % в теплый период. В теплый сезон ΔT может достигать 5 °C и выше, тогда как с ноября по март ΔT не превышает 3 °C, а события прогрева с $\Delta T > 1$ °C в этот период редки и не превышают 1 %. Наибольшая температура воды достигается в июне – августе в верхних слоях при скорости ветра 2–4 м/с. В теплый период года при минимальной скорости ветра вода прогревалась до глубины 16–18 м. С ноября по апрель при высокой скорости ветра изменчивость температуры была минимальна на всех рассматриваемых горизонтах измерений.

Наибольшие значения A на горизонте 0.75 м (1.5 °C и выше) наблюдались при скорости ветра до 6 м/с с мая по сентябрь с максимальными значениями в июле (в среднем 2.5 °C). Минимальные значения A отмечены с ноября по апрель почти при любой скорости ветра. В период весеннего прогрева амплитуда A возрастала при скорости ветра менее 5 м/с. В вертикальном распределении наибольшие значения A приходились на июль, максимальные значения сосредоточены в слое 8–17 м.

Проанализирована изменчивость ΔT в разные месяцы при различных скоростях ветра и на разных горизонтах измерений. Для верхнего горизонта наибольшие ΔT (1.8–2 °C) наблюдались в летний период, с июня по август, с максимумом в июле (2.3 °C) при скорости ветра до 4–6 м/с. С увеличением скорости ветра ΔT снижается. Наименьшие значения ΔT зафиксированы в холодный период и в среднем не превышают 0.3–0.4 °C.

Наибольшие значения ΔT приходятся на июнь – август с максимумом в июле в верхних слоях воды. В слое до 4–6 м ΔT превышает 1 °C в летние месяцы, тогда как в слое 10–12 м – не превышает 0.65 °C в летние месяцы. Минимальные значения ΔT , близкие к 0 °C, наблюдались на нижних горизонтах измерений в ноябре – марте.

В работе продемонстрировано успешное использование данных термопрофилера для анализа суточной изменчивости температуры вод прибрежной зоны. Эти данные могут быть использованы для верификации численных моделей гидротермодинамики прибрежных зон, а также для исследования событий апвеллингов, что будет представлено в дальнейших работах. Полученные

результаты дополняют существующие представления о суточной изменчивости температуры в прибрежной зоне Черного моря. Определено, что вертикальное распределение суточных колебаний температуры вод сильно зависит от сезона и ветровых условий, а в летний период дневной прогрев может проникать до глубин 14–18 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстошеев А. П., Мотыжев С. В., Лунев Е. Г. Результаты долговременного мониторинга вертикальной термической структуры шельфовых вод на Черноморском гидрофизическом полигоне РАН // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 1. С. 75–87. EDN JONOWF. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-1-75-87>
2. Stuart-Menteth A. C., Robinson I. S., Challenor P. G. A global study of diurnal warming using satellite-derived sea surface temperature // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2003. Vol. 108, iss. C5. 3155. <https://doi.org/10.1029/2002JC001534>
3. Marullo S., Minnett P. J., Santoleri R., Tonani M. The diurnal cycle of sea-surface temperature and estimation of the heat budget of the Mediterranean Sea // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2016. Vol. 121, iss. 11. P. 8351–8367. EDN XZSLTX. <https://doi.org/10.1002/2016JC012192>
4. Федоров К. Н., Гинзбург А. И. Приповерхностный слой океана. Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. 303 с. EDN OSMMYO.
5. Price J. F., Weller R. A., Pinkel R. Diurnal cycling: observations and models of the upper ocean response to diurnal heating, cooling, and wind mixing // Journal of Geophysical Research: Oceans. 1986. Vol. 91, iss. C7. P. 8411–8427. <https://doi.org/10.1029/JC091iC07p08411>
6. Shinoda T., Hendon H. H. Mixed layer modeling of intraseasonal variability in the tropical western Pacific and Indian Oceans // Journal of Climate. 1998. Vol. 11, iss. 10. P. 2668–2685. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011%3C2668:MLMOIV%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011%3C2668:MLMOIV%3E2.0.CO;2)
7. Karagali I., Høyer J. L., Donlon C. J. Using a 1-D model to reproduce the diurnal variability of SST // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2017. Vol. 122, iss. 4. P. 2945–2959. <https://doi.org/10.1002/2016JC012542>
8. Колесников А. Г., Пивоваров А. А. Вычисление суточного хода температуры моря по суммарной радиации и температуре воздуха // Доклады Академии наук СССР. 1955. Т. 102, № 2. С. 261–264.
9. Завьялов П. О., Рождественский А. Е., Хан В. М. О суточном ходе температуры воздуха над прибрежными районами океана // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР. 1992. Вып. 317. С. 83–90.
10. Завьялов П. О., Рождественский А. Е. К теории температурного режима пограничных слоев океана и атмосферы в суточном цикле // Известия Академии наук СССР. Физика атмосферы и океана. 1991. Т. 27. № 1. С. 76–84.
11. Мысленков С. А., Кречик В. А., Бондарь А. В. Анализ температуры воды по данным термоксы на платформе Д6 в Балтийском море // Современные методы и средства океанологических исследований : материалы XV Всероссийской научно-технической конференции (МСОИ-2017), Москва, 16–18 мая 2017 года / Федеральное агентство научных организаций, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Российский фонд фундаментальных исследований и др. Том I. Москва : Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2017. С. 119–122. EDN YSGYUR.

12. Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Стонт Ж. И. Эволюции (сезонная и межгодовая изменчивость) суточного хода гидрометеорологических полей Южной Балтики // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2018. № 3. С. 35–54. EDN YAREDZ.
13. Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Мысленков С. А. Внутригодовая изменчивость суточного хода температуры воды на Самбийско-Куршской возвышенности (Юго-Восточная Балтика) в 2016 г. // Процессы в геосредах. 2019. № 1. С. 32–39. EDN ARPYZA.
14. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 210 с. EDN XPERZR.
15. Oguz T., Latun V. S., Latif M. A., Vladimirov V. V. et al. Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea // Deep Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers. 1993. Vol. 40, iss. 8. P. 1597–1612. EDN XJAFVV. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(93\)90018-X](https://doi.org/10.1016/0967-0637(93)90018-X)
16. Совга Е. Е., Хмара Т. В., Мезенцева И. В. Интенсивность прибрежных апвеллингов Южного берега Крыма и их влияние на кислородный режим акватории // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 1. С. 96–111. EDN VKPHBI.
17. Шокурова И. Г., Пластун Т. В., Касьяненко Т. Е., Станичная Р. Р. и др. Ветровые условия возникновения апвеллингов в районе Южного берега Крыма // Морской гидрофизический журнал. 2023. Т. 39, № 4. С. 435–447. EDN HWSWUX.
18. Zhuk E., Khaliulin A., Zodiatis G., Nikolaidis A., Isaeva E. Black Sea GIS developed in MHI // Proceedings of SPIE. SPIE, 2016. Vol. 9688 : Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment. (RSCy2016). 96881C. EDN XFIXMX. <https://doi.org/10.1117/12.2241631>
19. Станичная Р. Р., Станичный С. В. Апвеллинги Черного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 4. С. 195–207. EDN BNEFXX. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-195-207>
20. Толстошеев А. П., Лунев Е. Г., Мотыжев С. В. Анализ результатов натурных экспериментов с термопрофилирующими дрейфующими буями в Черном море и других районах Мирового океана // Морской гидрофизический журнал. 2014. № 5. С. 9–32. EDN TECAWR.
21. Рубакина В. А., Симонова Ю. В. Изменчивость температуры поверхности моря в районе Южного берега Крыма по данным сканера SEVIRI и контактных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22, № 3. С. 244–253. EDN KCWNTN. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-3-244-253>
22. Куклин А. К., Куклина Н. Я., Шабалина О. А. Исследование гидрометеорологических характеристик ЮБК с океанографической платформы в Кацивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. Вып. 7. С. 66–82. EDN XMRDJJ.
23. Куклин А. К., Куклина Н. Я., Шабалина О. А. Температура морской воды в районе океанографической платформы в Кацивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2014. Вып. 28. С. 186–194. EDN VBFSUT.

24. Калинин М. А., Кукушкин В. М., Маслова В. С., Мухаметов С. С. и др. Гидролого-гидрохимическая структура вод в бухтах и реках Севастополя в зимний период // Исследования молодых географов : сборник статей участников зимних студенческих экспедиций / под редакцией М. С. Савоскул, Н. Л. Фроловой. Москва : Издатель Ерхова И.М., 2022. С. 120–128. EDN OKMQEU.
25. Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В. Сезонный и суточный ход температуры вод Черного моря по данным термопрофилирующих дрейфующих буёв // 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>
26. 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. Т. 35, № 2. С. 171–184. EDN BGXSET. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-2-171-184>
27. Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В., Мизюк А. И. Особенности вертикального распределения суточного хода температуры в различные сезоны в Черном море на основе данных модели NEMO // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58, № 1. С. 63–78. EDN JHRQVQ. <https://doi.org/10.31857/S0002351522010114>
28. Гайский В. А., Гайский П. В. Распределенные термопрофилемеры и их возможности в океанографических исследованиях // Морской гидрофизический журнал. 1999. № 6. С. 46–76.
29. Гайский П. В. Стационарная измерительная система на базе термопрофилемеров на океанографической платформе для определения параметров внутренних волн: результаты испытаний // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 1. С. 98–112. EDN TSHDME.
30. Кузнецов А. С., Гармашов А. В. Оценка характеристик сезонной изменчивости поля ветра у Южного берега Крыма по данным измерений с высокой временной дискретностью // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 2. С. 53–66. EDN EYFFWQ.
31. Рубакина В. А., Кубряков А. А., Кубряков А. И. Зависимость амплитуды суточного хода температуры поверхности Азово-Черноморского бассейна от различных гидрометеорологических факторов по данным дистанционного зондирования и результатам моделирования // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2025. Т. 61, № 2. С. 192–206. EDN GKCSXO. <https://doi.org/10.31857/S0002351525020056>

Поступила 05.02.2026 г.; одобрена после рецензирования 04.03.2026 г.;
принята к публикации 30.06.2026 г.; опубликована 30.09.2026 г.

Об авторах:

Рубакина Валентина Александровна, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0001-5028-5911**, **SPIN-код: 2924-8373**, **ResearcherID: U-5746-2019**, **Scopus Author ID: 57209578281**, valenru93@mail.ru

Кубряков Арсений Александрович, заместитель директора по научной работе, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0003-3561-5913**, **ResearcherID: F-8921-2014**, **Scopus Author ID: 37072750100**, **SPIN-код: 4371-8879**, arskubr@yandex.ru

Гайский Павел Витальевич, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0003-3110-848X**, **ResearcherID: HQZ-3112-2023**, **Scopus Author ID: 57222760697**, **SPIN-код: 7789-0658**, gaysky@inbox.ru

Заявленный вклад авторов:

Рубакина Валентина Александровна – обзор литературы по проблеме исследования, анализ используемых данных, описание результатов исследования, написание текста статьи, формулировка выводов

Кубряков Арсений Александрович – постановка задачи, анализ используемых данных, описание результатов исследования, формулировка выводов

Гайский Павел Витальевич – обзор литературы по проблеме исследования, представление данных, анализ используемых данных, подготовка материалов статьи, формулировка выводов

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.