


Изменения в термохалинной структуре вод Черного моря ниже основного пикноклина по данным судовых наблюдений

Е. В. Маньковская , А. Н. Морозов

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
 emankovskaya@mhi-ras.ru

Поступила в редакцию 19.06.2025; одобрена после рецензирования 09.07.2025;
принята к публикации 28.01.2026.

Аннотация

Цель. Исследование изменений в распределении термохалинных характеристик вод северного и северо-восточного районов Черного моря в слое основного пикноклина и ниже (100–400 м) – цель настоящей работы.

Методы и результаты. Использованы данные гидрологических измерений (проводимость, температура, глубина) в 20 экспедициях Морского гидрофизического института РАН, выполненных в северном и северо-восточном районах Черного моря в 2016–2021 гг. на НИС «Профессор Водяницкий». Выявлен постепенный рост температуры и солёности вод ниже основного пикноклина, распространяющийся вплоть до изопикны 16,9 кг/м³ (~ 370 м). Потепление за указанный период составило: 0,14 °С для изопикны 16,3 кг/м³ (~ 150 м); 0,09 °С для изопикны 16,5 кг/м³ (~ 180 м); 0,02 °С для изопикны 16,9 кг/м³ (~ 370 м). Повышение солёности в диапазоне изопикн 15,9–16,1 кг/м³ составило 0,03 ЕПС за тот же период. Изменения температуры и солёности привели к подъёму изопикнических поверхностей. Изопикна 15,8 кг/м³ поднялась в среднем от 106 м в 2016 г. до 96 м в 2021 г., изопикна 16,1 кг/м³ – от 126 до 115 м. Скорости подъёма изопикн в диапазоне 15,8–16,3 кг/м³ максимальны и составляют 3–3,5 м/год.

Выводы. Тенденции увеличения температуры и солёности в верхнем 200–300-метровом слое в последнее десятилетие характерны для всей акватории моря. Кроме того, они распространяются гораздо глубже, вплоть до глубин ~ 400 м. Интенсивность потепления уменьшается с глубиной. Сравнение с данными более ранних измерений показывает, что именно в рассматриваемый период произошли значительные изменения, особенно проявившиеся с 2018 г. Наблюдаемые изменения в термохалинной структуре вод Черного моря ниже основного пикноклина могут быть вызваны в целом климатическими изменениями, а также увеличением притока средиземноморских вод через пролив Босфор, которые также трансформировались из-за общего потепления климата.

Ключевые слова: температура, солёность, Черное море, пикноклин, термохалинная структура, климатические изменения


Благодарности: работа выполнена в рамках тем государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0012 и FNNN-2024-0016, данные получены в 87, 89, 91, 94, 95, 98, 101–103, 105, 106, 108, 110, 111, 113–117, 119-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий» (Центр коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»).

Для цитирования: Маньковская Е. В., Морозов А. Н. Изменения в термохалинной структуре вод Черного моря ниже основного пикноклина по данным судовых наблюдений // Морской гидрофизический журнал. 2026. Т. 42, № 2. С. 185–197. EDN VQCUON.

Changes in the Black Sea Thermohaline Structure below the Main Pycnocline Based on Ship Observations

E. V. Mankovskaya , A. N. Morozov

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

 emankovskaya@mhi-ras.ru

Abstract

Purpose. The work is purposed at studying the changes in distribution of water thermohaline characteristics in the main pycnocline and below (100–400 m) in the northern and northeastern parts of the Black Sea.

Methods and Results. The data of hydrological measurements (conductivity, temperature and depth) obtained by the scientists of Marine Hydrophysical Institute, RAS in the 20 cruises of R/V “Professor Vodyanitsky” in the northern and northeastern parts of the Black Sea in 2016–2021 were used. A gradual increase in water temperature and salinity below the main pycnocline was revealed; it extended up to the 16.9 kg/m³ (~370 m) isopycne. For the indicated period, the warming constituted 0.14 °C for isopycne 16.3 kg/m³ (~150 m), 0.09 °C for isopycne 16.5 kg/m³ (~180 m), and 0.02 °C for isopycne 16.9 kg/m³ (~370 m). During the same period, the salinity increase within the range of isopycnets 15.9–16.1 kg/m³ amounted to 0.03 PSU. The changes in temperature and salinity have resulted in the rise of isopycnic surfaces. The 15.8 kg/m³ isopycne rose from the 106 m horizon in 2016 to the 96 m one in 2021, and the 16.1 kg/m³ isopycne – from the 126 m horizon to the 115 m one. The rates of isopycne rises within the range 15.8–16.3 kg/m³ were maximum and amounted to 3–3.5 m/year.

Conclusions. In the last decade, the trends in increasing temperature and salinity in the upper 200–300-m layer are typical of the whole Black Sea area. Besides, this phenomenon is observed much deeper, up to the ~400 m depth. The intensity of warming decreases with depth. A comparison with the data from earlier measurements has shown that just during the indicated period, significant changes, particularly evident since 2018, took place. In general, the changes observed in the Black Sea thermohaline structure below the main pycnocline can be induced by the climatic changes, as well as by the increased inflow of the Mediterranean Sea waters (also transformed due to general climate warming) through the Bosphorus Strait.

Keywords: temperature, salinity, Black Sea, pycnocline, thermohaline structure, climatic changes

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of themes of state assignments of FSBSI FRC MHI FNNN-2024-0016 and FNNN-2024-0012; the data were obtained in the cruises No. 87, 89, 91, 94, 95, 98, 101, 102, 103, 105, 106, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117 and 119 of R/V “Professor Vodyanitsky” (Center for Collective Use “R/V Professor Vodyanitsky” of FSBSI FRC A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas).

For citation: Mankovskaya, E.V. and Morozov, A.N., 2026. Changes in the Black Sea Thermohaline Structure below the Main Pycnocline Based on Ship Observations. *Physical Oceanography*, 33(2), pp. 234-245.

Введение

Потепление климата и изменение атмосферной циркуляции в последние годы все больше сказываются на процессах формирования термохалинной структуры вод Черного моря. Во многих работах отмечается потепление и осолонение воды на поверхности и в деятельном слое моря как минимум на 10-летних интервалах. Показано, что за период 1980–2020 гг. рост поверхностной температуры в Черном море значительно усилился и составил 0,5 °C/10 лет [1, 2]. Тренд роста солёности в поверхностном слое за период 2000–2020 гг. составил

0,18/10 лет, что говорит о высокой скорости осолонения вод моря за последние 20 лет [2].

Значительные изменения наблюдаются в холодном промежуточном слое (ХПС) моря (50–100 м). Температура ХПС растет, сам слой постепенно «истончается» и «размывается» [3–8]. Последний раз значительное обновление ХПС в его классических границах (изотерма 8 °С) по данным судовых измерений зафиксировано в 2017 г. [9–11].

В нижележащих слоях (150–300 м) также отмечается выраженная тенденция к потеплению, полученная по результатам численного моделирования [12] и данным судового мониторинга в одной из частей Черного моря (район г. Гелленджик) [13]. В работе [13] обнаружены тенденции увеличения температуры и солености в верхнем 200–300-метровом слое в 2010–2020 гг. и высказано предположение, что причиной этого может являться увеличение притока воды небосфорского течения в слой воды с условной плотностью 14,6–16,2 кг/м³.

Согласно работе [14], в которой проанализированы данные буев *Argo* за период 2005–2021 гг., выявлено, что после 2010 г. температура вод Черного моря заметно повысилась. При этом повышение температуры наблюдается до глубин 700 м, что значительно отличается от предыдущих наблюдений потепления до 300 м. В работе также показано, что такое потепление вод на глубинах 150–700 м связано с поступлением теплых и соленых вод средиземноморского происхождения через пролив Босфор [15, 13, 16], а также с повышением температуры этих так называемых «босфорских интрузий», распространяющихся по всему морю.

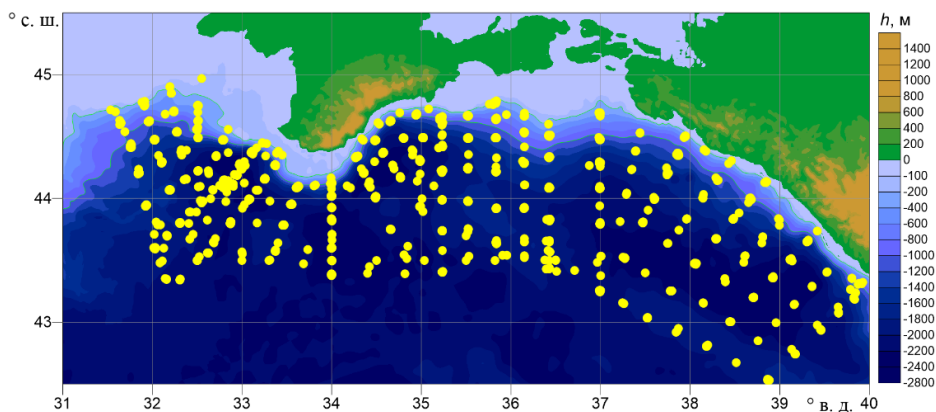
Недостатком данных, получаемых с помощью буев *Argo* или на океанографических разрезах, является их неравномерность распределения по пространству и времени, а также, при использовании буев, отсутствие калибровки датчиков на длительных интервалах времени. Более предпочтительными являются данные контактных измерений, выполненных на регулярной сетке в течение непродолжительного времени. Точность таких измерений выше, поскольку приборы проходят ежегодную метрологическую поверку.

Начиная с 2016 г. Морской гидрофизический институт (МГИ) ежегодно выполняет экспедиционные исследования в северном и северо-восточном районах Черного моря. В ходе рейсов на гидрологических станциях традиционно проводятся *CTD*-зондирования (проводимость, температура, глубина).

Цель настоящей работы – на основе анализа данных *CTD*-измерений, выполненных в 20 рейсах НИС «Профессор Водяницкий» с 2016 г. по 2021 г., исследовать изменения в распределении термохалинных характеристик вод Черного моря в слое основного пикноклина и ниже (100–400 м).

Материалы и методы

В работе использованы данные гидрологических измерений в 20 экспедициях Морского гидрофизического института РАН, выполненных в северном и северо-восточном районах Черного моря в 2016–2021 гг. Положение станций в глубоководной части моря (> 200 м) без разделения по рейсам (многие станции повторяются) показано на рис. 1.



Р и с. 1. Гидрологические станции в период экспедиций 2016–2021 гг.
Fig. 1. Hydrological stations during the expeditions in 2016–2021

Количество данных и даты выполнения измерений приведены в таблице. В первых 12 экспедициях (рейсы 87–108) *CTD*-измерения выполнялись с использованием зонда *SBE911+*, начиная с рейса 110 – с использованием зондирующего комплекса *IDRONAUT OCEAN SEVEN 320PlusM*. Результаты измерений интерполировались на сетку с шагом 1 м. В соответствии с описанием приборов измерения температуры и солёности имеют начальную точность 10^{-3} °C и 10^{-3} ЕПС соответственно.

**Данные о рейсах и гидрологических измерениях
на глубоководных станциях (> 200 м)**

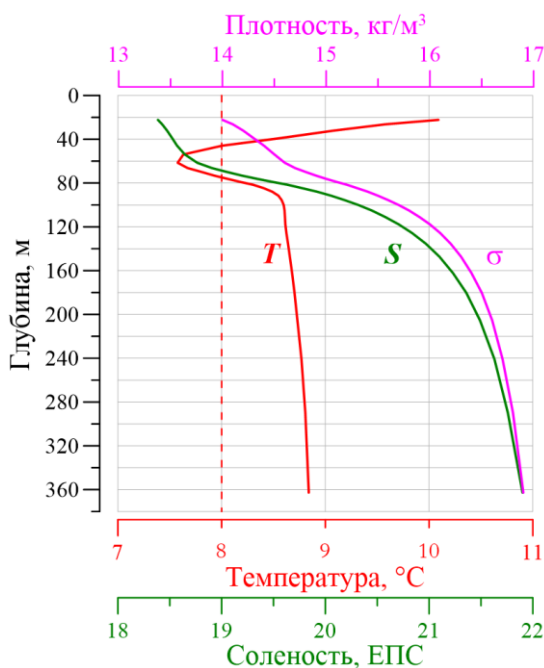
Data on cruises and hydrological measurements at deep-sea stations (> 200 m)

Номер рейса / Cruise number	Даты измерений / Dates of measurements	Количество измерений / Number of measurements	Год / Year
87	1–18 июля / July 1–18	70	2016
89	30 сент. – 19 окт. / Sept. 30 – Oct. 19	60	
91	16 нояб. – 2 дек. / Nov. 16 – Dec. 2	46	
94	22 апр. – 6 мая / Apr. 22 – May 6	72	2017
95	14 июня – 3 июля / June 14 – July 3	89	
98	15–27 нояб. / Nov. 15–27	47	
101	14–26 дек. / Dec. 14–26	49	
102	9–30 июня / June 9–30	97	2018
103	24 авг. – 18 сент. / Aug. 24 – Sept. 18	97	
105	18 нояб. – 9 дек. / Nov. 18 – Dec. 9	65	
106	20 апр. – 10 мая / Apr. 20 – May 10	84	2019
108	12 июля – 3 авг. / July 12 – Aug. 3	99	
110	4–21 окт. / Oct. 4–21	78	
111	6–27 дек. / Dec. 6–27	81	
113	4–27 июня / June 4–27	93	2020
114	15 сент. – 8 окт. / Sept. 15 – Oct. 8	63	
115	27 нояб. – 16 дек. / Nov. 27 – Dec. 16	38	
116	22 апр. – 15 мая / Apr. 22 – May 15	94	2021
117	29 июня – 9 авг. / June 29 – Aug. 9	100	
119	3–26 сент. / Sept. 3–26	82	

Для каждой экспедиции рассчитывались средние по набору станций профили гидрофизических параметров (температуры, солености и плотности) с использованием изопикнического осреднения. То есть осреднение проводилось не по одинаковым значениям глубины (горизонтам), а по одинаковым значениям плотности воды (изопикнам). Такой метод более информативен, чем осреднение по горизонтам, в связи с куполообразной формой изопикнических поверхностей в Черном море, вызванной циклоническим характером крупномасштабной циркуляции [17]. В центре моря глубина залегания изопикнических поверхностей меньше, а в районе свала глубин больше, диапазон изменчивости может составлять ~ 100 м.

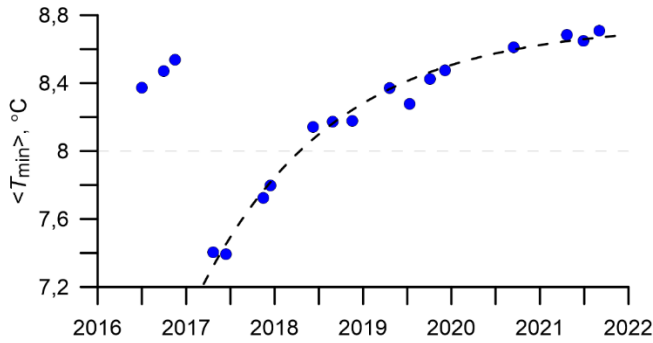
Результаты и обсуждение

Вертикальное распределение температуры воды Черного моря ниже основного пикноклина характеризуется медленным повышением ее значений с глубиной. На рис. 2 показана осредненная вертикальная термохалинная структура, полученная в 95-м рейсе. Экспедиция выполнена в 2017 г., когда наблюдалось единственное за последние 10 лет значительное обновление вод ХПС в его «классических» границах (изотерма 8 °С). После этого события потепление вод в ядре ХПС определяется следующей зависимостью: $\langle T_{\min} \rangle(t) = 7 + 1,75 (1 - \exp(-(t - 2017)/1,5))$, t – время в годах (рис. 3).



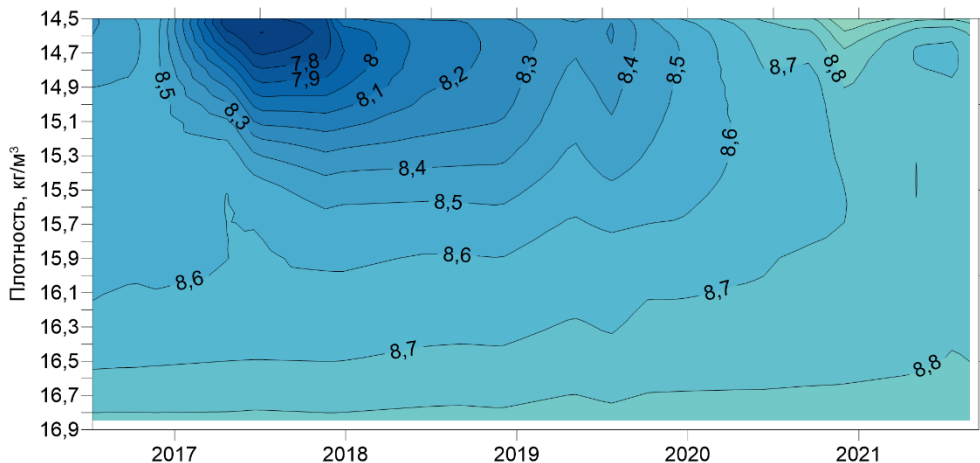
Р и с. 2. Осредненные изопикнически вертикальные профили температуры (T), солености (S) и плотности (σ) воды в 95-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Красной штриховой линией отмечено положение температуры 8 °С

F i g. 2. Averaged isopycnic vertical profiles of water temperature (T), salinity (S), and density (σ) during the 95th cruise of R/V “Professor Vodyanitsky”. Red dashed line indicates the location of 8 °С isotherm



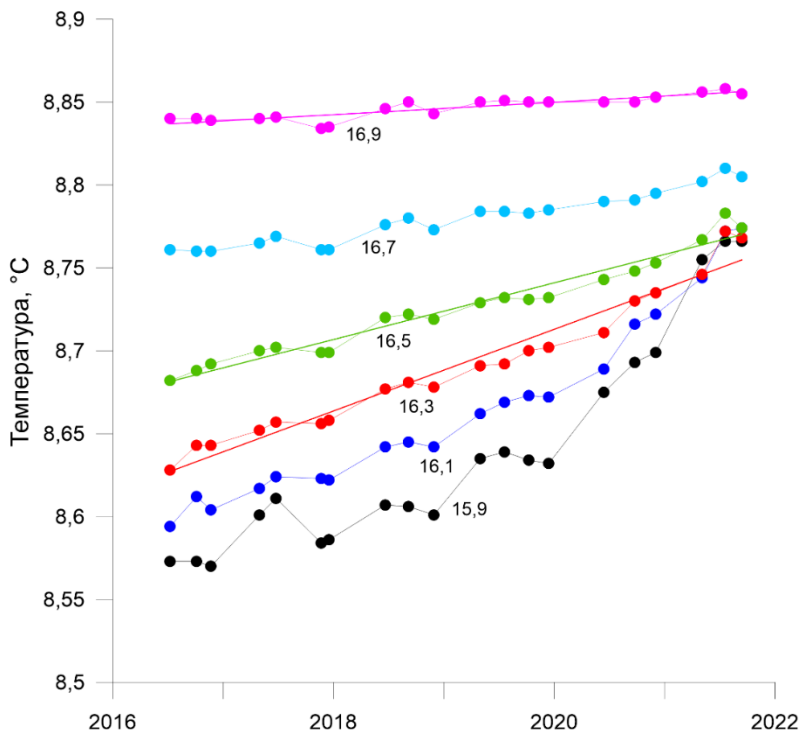
Р и с. 3. Средние значения минимальной температуры воды в профилях на станциях за период 2016–2021 гг. Черная штриховая линия – аппроксимирующая функция
F i g. 3. Average values of minimum water temperature in the profiles at the stations in 2016–2021. Black dashed line is the approximating function

Согласно нашим данным, за период 2017–2021 гг. температура воды в ядре ХПС повысилась на $\sim 1,2$ °C. Для сравнения скорости потепления можно привести данные из работы [6], где показано, что температура в ядре ХПС повысилась более чем на 1 °C за последние 20–30 лет в 1992–2019 гг. По данным настоящей работы, такое повышение температуры произошло всего за 4 года. При этом отмечается подъем изотерм, скорость которого постепенно увеличивается начиная с 2018 г. (рис. 4). Так, изотерма 8,7 °C поднялась от средней глубины 194 м в 2016 г. до 64 м в 2021 г., разница составила 130 м. Резкий скачок со 128 до 64 м произошел за последние два рассматриваемых года (2020–2021). Аналогичные результаты получены по данным судового мониторинга в районе г. Геленджик в 2010–2020 гг.: подъем изотермы 8,7 °C произошел от средней глубины 242 м в 2010 г. до 121 м в 2020 г. с резким скачком в последний год [13].



Р и с. 4. Динамика изотерм в координатах потенциальной плотности за период 2016–2021 гг.
F i g. 4. Dynamics of isotherms in potential density coordinates for 2016–2021

Далее рассмотрим данные о температуре воды под основным пикно-холоклином. Средние значения температуры показывают существенное потепление вод Черного моря в диапазоне плотностей 15,9–16,9 кг/м³ (рис. 5), что соответствует глубинам от ~ 100 до ~ 400 м (рис. 2). Интенсивность такого потепления уменьшается с глубиной.

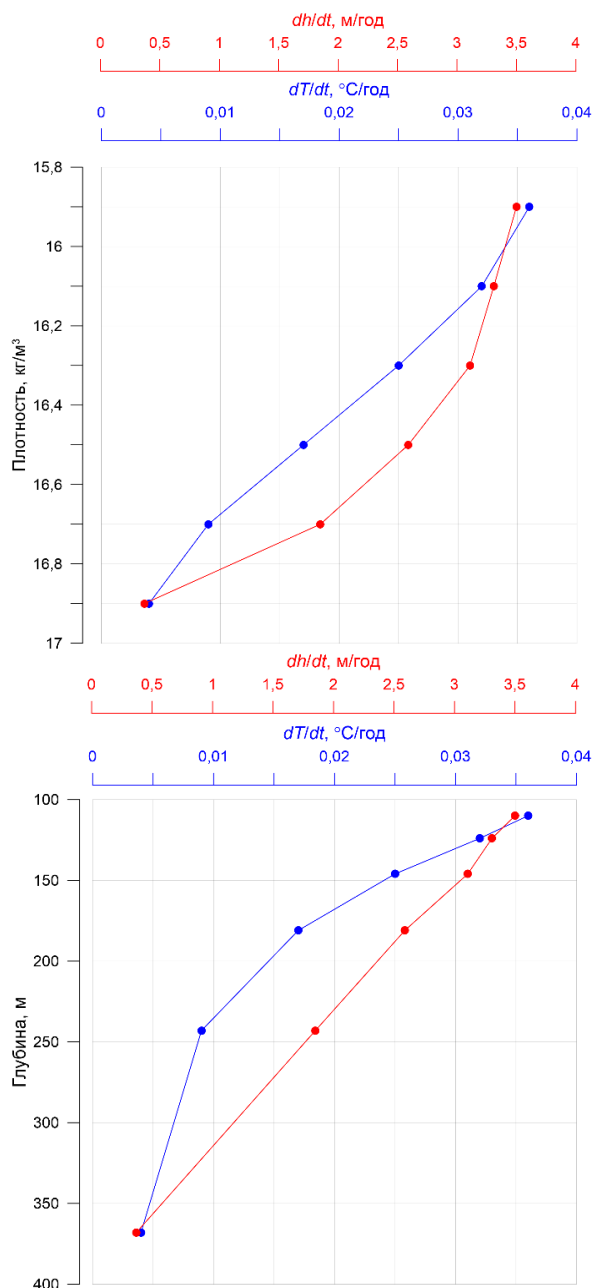


Р и с. 5. Изменение средней температуры воды за период 2016–2021 гг. на изопикнических поверхностях 15,9–16,9 кг/м³. Прямые линии – тренды
Fig. 5. Change in average water temperature for 2016–2021 at the isopycnic surfaces 15.9–16.9 kg/m³. Straight lines are trends

В работе [14] по данным буев *Argo* получены оценки потепления за 2005–2021 гг. для северо-восточной части моря: ~ 0,2 °C на глубине 150 м; ~ 0,11 °C – на 200 м; ~ 0,05 °C – на 300 м; ~ 0,025 °C – на 500 м.

Согласно нашим данным, потепление за период 2016–2021 гг. составило (рис. 5, 6):

- 0,14 °C для изопикны 16,3 кг/м³ (средняя глубина ~ 150 м); скорость повышения температуры 0,025 °C/год;
- 0,09 °C для изопикны 16,5 кг/м³ (средняя глубина ~ 180 м); скорость повышения температуры 0,017 °C/год;
- 0,02 °C для изопикны 16,9 кг/м³ (средняя глубина ~ 370 м); скорость повышения температуры 0,004 °C/год.



Р и с. 6. Временной градиент температуры воды и глубины залегания изопикнических поверхностей в зависимости от плотности (*слева*) и глубины (*справа*) за период 2016–2021 гг.

F i g. 6. Temporal gradient of water temperature and isopycnic surface depths depending on density (*left*) and depth (*right*) for 2016–2021

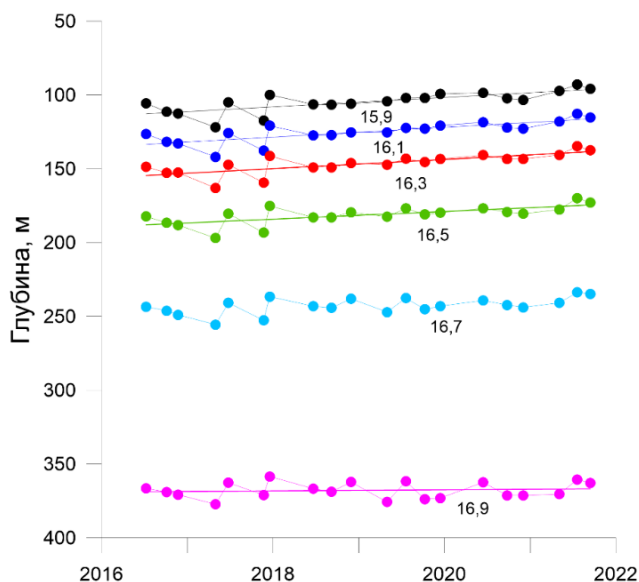
Сравнение оценок повышения температуры воды показывает, что основные изменения в процессе потепления на глубинах $\sim 100\text{--}400$ м произошли в период 2016–2021 гг. То же отмечается в работе [14], где показано, что потепление на глубинах $\sim 100\text{--}700$ м стало непрерывным и прогрессирующим с 2014 г.

Для оценки роста температуры воды в Черном море ниже основного пикноклина приведем также результаты судовых измерений за 2004 г. Средняя температура воды в этот год составляла $8,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ на изопикне $16,3\text{ кг/м}^3$, $8,61\text{ }^{\circ}\text{C}$ на изопикне $16,5\text{ кг/м}^3$ и $8,84\text{ }^{\circ}\text{C}$ на изопикне $16,9\text{ кг/м}^3$. То есть общее повышение температуры воды на соответствующих изопикнических поверхностях за период 2004–2021 гг. составило:

- $0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ для изопикны $16,3\text{ кг/м}^3$;
- $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ для изопикны $16,5\text{ кг/м}^3$;
- $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ для изопикны $16,9\text{ кг/м}^3$.

Последняя величина говорит о том, что потепление вод ниже основного пикноклина в рассматриваемый период 2016–2021 гг. шло поступательно и достигло глубин залегания изопикны $16,9\text{ кг/м}^3$ (в среднем $\sim 370\text{ м}$). Это обусловлено проникновением теплых вод средиземноморского происхождения, как показано в работах [14, 18]. Так, например, в июне 2002 г. было обнаружено максимальное заглубление таких вод на глубине $\sim 450\text{ м}$ с толщиной слоя $\sim 100\text{ м}$ и отклонением температуры от ее средней зависимости от солёности $\sim 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ [19]. По данным наших судовых наблюдений, в июне 2017 г. повышенные значения температуры наблюдались в диапазоне глубин 100–400 м, отклонение температуры достигало $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ [18].

При этом следует отметить, что значения солёности под основным пикноклином имеют менее выраженную тенденцию к изменениям, солёность растет медленнее, чем температура. Повышение солёности в диапазоне изопикн $15,9\text{--}16,1\text{ кг/м}^3$ составило $0,03\text{ ЕПС}$ за период 2016–2021 гг. Такие же результаты получены по данным измерений в северо-восточной части Черного моря в районе г. Геленджик [13].



Р и с. 7. Изменение средней глубины залегания изопикнических поверхностей $15,8\text{--}16,9\text{ кг/м}^3$ за период 2016–2021 гг. Прямые линии – тренды

F i g. 7. Change in the average depth of the $15,8\text{--}16,9\text{ кг/м}^3$ isopycnic surfaces for 2016–2021. Straight lines are trends

В указанной работе, а также в работе [20] отмечены тенденции подъема изопикн: так, изопикна $15,8 \text{ кг/м}^3$ поднялась в среднем с горизонта 143 м в 2010 г. до 134 м в 2019 г. В 2020 г. наблюдался еще более заметный скачок – до 124 м. Данные наших судовых полигонных измерений подтверждают эту тенденцию (рис. 7).

Изопикна $15,8 \text{ кг/м}^3$ поднялась от средней глубины 106 м в 2016 г. до 96 м в 2021 г. (106 м). Данная изопикна (в среднем) соответствует положению верхней границы субкислородной зоны, т. е. слоя с практически отсутствующим кислородом. Это может означать, что толщина верхнего продуктивного слоя Черного моря сократилась за рассматриваемый период наблюдений. Однако, согласно [20, 21], подъем изопикн не означает подъема границ субкислородной и сероводородной зон, их положение не является строго изопикническим. Например, согласно экспедиционным данным 2017–2019 гг., верхняя граница субкислородной зоны находилась в интервале изопикн $15,7\text{--}15,85 \text{ кг/м}^3$ [22].

Изопикна $16,1 \text{ кг/м}^3$ поднялась в среднем от горизонта 126 м в 2016 г. до 115 м в 2021 г. В окрестности данной изопикны наблюдается верхняя граница сероводородной зоны. По экспедиционным данным 2017–2019 гг., эта граница находилась в интервале изопикн $16,10\text{--}16,15 \text{ кг/м}^3$ [22]. Скорости подъема изопикн в диапазоне $15,8\text{--}16,3 \text{ кг/м}^3$ максимальны и составляют $3\text{--}3,5 \text{ м/год}$ (рис. 6). Положением этих изопикнических поверхностей (в среднем) определяется расположение субкислородной зоны вод (редокс-слоя) [21–23].

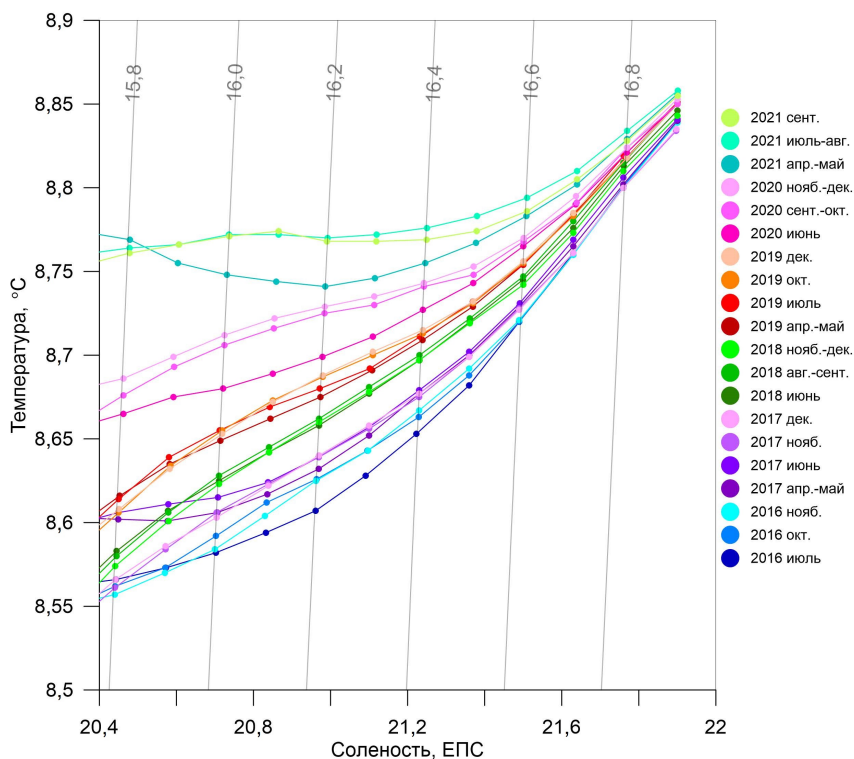


Рис. 8. *T, S*-диаграммы вод Черного моря в диапазоне изопикн $15,8\text{--}16,9 \text{ кг/м}^3$ за период 2016–2021 гг.
Fig. 8. *T, S*-diagrams of the Black Sea waters in the isopycnal range $15,8\text{--}16,9 \text{ kg/m}^3$ for 2016–2021

Характер изменений в термохалинной структуре вод моря также отражают T, S -диаграммы в слое от ~ 100 до ~ 400 м за 2016–2021 гг. (рис. 8). Рисунок хорошо иллюстрирует постепенный рост температуры и солёности, распространяющийся вплоть до изопикны $16,9 \text{ кг/м}^3$.

Наблюдаемые изменения в термохалинной структуре вод Черного моря ниже основного пикноклина могут быть вызваны в целом климатическими изменениями, а также увеличением притока средиземноморских вод через пролив Босфор, которые также трансформировались из-за общего потепления климата.

Так, в работе [24] по данным CTD -измерений и измерений течений в проливе Босфор на выходе в Черное море за период 1996–2010 гг. получены положительные тренды на глубине 67 м во временных рядах температуры и солёности воды, а также во временных рядах объемных потоков. Рост составляет $\sim 0,06 \text{ }^\circ\text{C/год}$ и $0,04 \text{ ЕПС/год}$ соответственно, тенденция изменения объемного потока составила $170 \text{ (м}^3\text{/с)/год}$ ($\sim 5 \text{ (км}^3\text{/год)/год}$). Такие изменения приводят к тому, что плотность воды растет, вода опускается на нижние горизонты до соответствующих изопикн, вызывая, в свою очередь, подъем изопикнических поверхностей с меньшими значениями плотности.

Заключение

Общие и региональные климатические изменения оказывают влияние на термохалинную структуру вод Черного моря. В работе представлены оценки изменчивости температуры и солёности воды в области основного пикноклина и ниже его на основе данных натуральных CTD -измерений, выполненных в 20 рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в 2016–2021 гг. Средние величины для каждой из экспедиций получены с помощью осреднения по изопикническим поверхностям, что позволяет более точно выявить структурные изменения в стратифицированных водоемах.

Представленный материал показывает значительное потепление вод Черного моря в диапазоне плотностей $15,9$ – $16,9 \text{ кг/м}^3$, что соответствует глубинам 100 – 400 м. Интенсивность такого потепления уменьшается с глубиной.

Наблюдаемое потепление вод ниже основного пикноклина в рассматриваемый период шло поступательно и достигло глубин залегания изопикны $16,9 \text{ кг/м}^3$ (в среднем ~ 370 м). Сравнение с данными более ранних измерений показывает, что именно в рассматриваемый период произошли значительные изменения, особенно проявившиеся с 2018 г.

Повышение солёности воды под основным пикноклином имеет менее выраженную тенденцию, она растет медленнее, чем температура. Тем не менее ниже основного пикноклина солёность вносит основной вклад в плотность воды, что приводит к подъему изопикнических поверхностей. Максимальное поднятие наблюдается на изопикнах $15,8$ – $16,3 \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, как и предполагалось ранее, тенденции увеличения температуры и солёности в верхнем 200 – 300 -метровом слое в последнее десятилетие характерны для всей акватории моря. Кроме того, они распространяются гораздо глубже, вплоть до глубин ~ 400 м. Анализ данных буев *Argo* также подтверждает происходящие изменения в термохалинной структуре вод Черного моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Черного и Азовского морей (1980–2020 гг.) / А. И. Гинзбург [и др.] // *Океанология*. 2021. Т. 61, № 6. С. 900–912. EDN XNMVYL. <https://doi.org/10.31857/S003015742106006X>
2. *Белокопытов В. Н., Жук Е. В.* Климатическая изменчивость термохалинных характеристик Черного моря (1950–2023 годы) // *Морской гидрофизический журнал*. 2024. Т. 40, № 6. С. 838–852. EDN VQXRRU.
3. Untangling spatial and temporal trends in the variability of the Black Sea Cold Intermediate Layer and mixed Layer Depth using the DIVA detrending procedure / A. Capet [et al.] // *Ocean Dynamics*. 2014. Vol. 64, iss. 3. P. 315–324. EDN SPOQVF. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0683-4>
4. *Новикова А. М., Полонский А. Б.* Междесятилетняя изменчивость температуры поверхности и холодного промежуточного слоя в Черном море // *Системы контроля окружающей среды*. 2018. № 4. С. 110–115. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-110-115>
5. Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variations / S. Miladinova [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2017. Vol. 122, iss. 7. P. 5624–5644. EDN YGEGUR. <https://doi.org/10.1002/2016JC012644>
6. *Stanev E. V., Peneva E., Chtirkova B.* Climate Change and Regional Ocean Water Mass Disappearance: Case of the Black Sea // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2019. Vol. 124, iss. 7. P. 4803–4819. EDN VLXBEL. <https://doi.org/10.1029/2019JC015076>
7. *Куклев С. Б., Зацепин А. Г., Подымов О. И.* Формирование холодного промежуточного слоя в шельфово-склоновой зоне северо-восточной части Черного моря // *Океанологические исследования*. 2019. Том 47, № 3. С. 58–71. EDN YTCWVR. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47\(3\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(3).5)
8. *Akpinar A., Fach B.A., Oguz T.* Observing the subsurface thermal signature of the Black Sea cold intermediate layer with Argo profiling floats // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2017. Vol. 124. P. 140–152. EDN YFLWFD. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.04.002>
9. *Морозов А. Н., Маньковская Е. В.* Холодный промежуточный слой Черного моря по данным экспедиционных исследований 2016–2019 годов // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2020. № 2. С. 5–16. EDN RALEUS. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-2-5-16>
10. *Морозов А. Н., Маньковская Е. В.* Пространственные характеристики холодного промежуточного слоя Черного моря летом 2017 года // *Морской гидрофизический журнал*. 2021. Т. 37, № 4. С. 436–446. EDN BCSYUB. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-4-436-446>
11. *Морозов А. Н., Маньковская Е. В.* Пространственно-временная изменчивость гидрофизических параметров вод северной части Черного моря по данным измерений 2021 года // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2023. № 4. С. 6–18. EDN QEZCBF.
12. Climate Signals in the Black Sea From a Multidecadal Eddy-Resolving Reanalysis / L. Lima [et al.] // *Frontiers in Marine Science*. 2021. Vol. 8. 710973. EDN NSIDIK. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.710973>
13. *Подымов О. И., Зацепин А. Г., Очередник В. В.* Рост солености и температуры в деятельном слое северо-восточной части Черного моря с 2010 по 2020 год // *Морской гидрофизический журнал*. 2021. Т. 37, № 3. С. 279–287. EDN GVAYYQ. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-3-279-287>
14. *Falina A. S., Nedospasov A. A., Kremenetskiy V. V.* Impact of Bosphorus Intrusions on Long-Term Warming of Intermediate Waters in the Northeastern Black Sea // *Oceanology*. 2024. Vol. 64, Suppl. 1. P. S1–S10. EDN LCETNF. <https://doi.org/10.1134/S0001437024700814>
15. Lateral injection of oxygen with the Bosphorus plume–fingers of oxidizing potential in the Black Sea / S. K. Konovalov [et al.] // *Limnology and Oceanography*. 2003. Vol. 48, iss. 6. P. 2369–2376. EDN MCOVTL. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.6.2369>

16. Observed basin-wide propagation of Mediterranean water in the Black Sea / A. S. Falina [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2017. Vol. 122, iss. 4. P. 3141–3151. EDN XNCUHH. <https://doi.org/10.1002/2017JC012729>
17. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* Океанография Черного моря. Севастополь, 2011. 212 с.
18. *Морозов А. Н., Маньковская Е. В.* Распространение средиземноморских вод и изотермический слой в Черном море по данным судовых наблюдений // *Океанология*. 2025. Т. 65, № 6. С. 942–950. EDN GLWGNA.
19. *Фалина А. С., Волков И. И.* Влияние процесса двойной диффузии на общую гидрологическую структуру глубинных вод Черного моря // *Океанология*. 2005. Т. 45, № 1. С. 21–31.
20. On Changes in the Hydrophysical and Hydrochemical Structure of the Upper 200-Meter Layer of the Black Sea in the Last Decade and a Half / A. V. Dubinin [et al.] // *Doklady Earth Sciences*. 2025. Vol. 522, iss. 1. 11. EDN UKFIYG. <https://doi.org/10.1134/S1028334X2560584X>
21. *Коновалов С. К., Еремеев В. Н.* Региональные особенности, устойчивость и эволюция биогеохимической структуры вод Черного моря // Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря / Под ред. В. Н. Еремеева, С. К. Коновалова. Севастополь, 2012. С. 273–299. EDN ISCAYS.
22. *Кондратьев С. И., Масевич А. В.* Вертикальное распределение кислорода и сероводорода в глубоководной части Черного моря по экспедиционным данным 2017–2019 годов // *Морской гидрофизический журнал*. 2024. Т. 40, № 2. С. 284–297. EDN PDLSUN.
23. *Стунжас П. А.* О строении зоны взаимодействия аэробных и анаэробных вод Черного моря по измерениям безмембранным датчиком кислорода // *Океанология*. 2000. Т. 40, № 4. С. 539–545.
24. *Altioğ H., Kayaşoğlu M.* Seasonal and Interannual Variability of Water Exchange in the Strait of Istanbul // *Mediterranean Marine Science*. 2015. Vol. 16, iss. 3. P. 644–655. EDN WSHBWJ. <https://doi.org/10.12681/mms.1225>

Об авторах:

Маньковская Екатерина Викторовна, старший научный сотрудник, отдел гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4086-1687**, **Scopus Author ID: 57192647961**, **ResearcherID: AAB-5303-2019**, **SPIN-код: 2453-9943**, emankovskaya@mhi-ras.ru

Морозов Алексей Николаевич, ведущий научный сотрудник, отдел дистанционных методов исследований, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0001-9022-3379**, **Scopus Author ID: 7202104940**, **ResearcherID: ABB-4365-2020**, **SPIN-код: 6359-0395**, anmorozov@mhi-ras.ru