

Термохалинная структура вод шельфа Западного Крыма

О. А. Лукашова, В. Н. Белокопытов *

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

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

Аннотация

На основе рассчитанного по данным наблюдений климатического массива температуры и солёности на сетке $10' \times 15'$ для 1950–2023 гг. рассмотрены пространственное распределение и сезонная изменчивость термохалинной структуры вод шельфа Западного Крыма. Пространственная термическая структура района в холодный период года имеет явно выраженное зональное распределение с холодной северной и тёплой южной частями. В весенне-летний период относительное расположение тёплых/холодных областей изменяется на меридиональное. Для халинной структуры вод района характерно наличие клина солёных вод открытого моря, разделяющего распреснённые воды прибрежной зоны и северо-западного шельфа. Прибрежная зона на протяжении большей части года является более холодной и распреснённой, чем мористая часть шельфа. Обратное распределение, когда прибрежная зона теплее мористой части шельфа, наблюдается в поверхностном слое в апреле – мае, а также в слое глубже сезонного термоклина в летне-осенний период. Частые апвеллинги в летний сезон способствуют тому, что солёность в подповерхностных слоях прибрежной зоны с мая по сентябрь становится выше, чем в мористой части шельфа. В целом по характеристикам термохалинной структуры вод шельф Западного Крыма является промежуточной зоной между северо-западным шельфом и глубоководной частью Чёрного моря, водообмен с которой зависит от интенсивности Основного Чёрноморского течения и Севастопольского антициклона. Региональные водные массы или подтипы основных черноморских водных масс в исследуемом районе не выделены.

Ключевые слова: термохалинная структура, температура воды, солёность, климат, шельф, прибрежная зона, Западный Крым

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».

Для цитирования: Лукашова О. А., Белокопытов В. Н. Термохалинная структура вод шельфа Западного Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 2. С. 36–52. EDN JFOUEO.

© 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

Thermohaline Structure of Western Crimea Shelf Waters

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

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

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

Abstract

The paper uses oceanographic observations and climatic values at the grid $10' \times 15'$ for 1950–2023 to investigate spatial distribution and seasonal course of the thermohaline structure of Western Crimea shelf waters. In the cold season, the regional spatial thermal structure had a pronounced zonal distribution with cold northern and warm southern parts. During the spring–summer period, the relative location of warm/cold zones changed to the meridional one. The regional haline structure was characterized by a saltier tongue spreading from the open sea and separating brackish waters of the north-western shelf and coastal waters. Over the greater part of the year, the coastal zone was colder and less saline than the outer shelf part. The opposite distribution, when the coastal zone was warmer than the outer shelf part, was observed in the surface layer in April–May and below the seasonal thermocline in the summer–autumn period. Due to frequent upwelling events in summer, salinity in the subsurface layers of the coastal zone from May to September becomes higher than in the outer shelf part. In general, in terms of the thermohaline water structure, the Western Crimea shelf is an intermediate zone between the north-western shelf and the deep part of the Black Sea, the water exchange with which depends of the intensity of the Rim Current and the Sevastopol anticyclonic eddy. Regional water masses or sub-types of main Black Sea water masses were not identified in the study area.

Keywords: thermohaline structure, sea temperature, salinity, climate, shelf, coastal zone, Western Crimea

Acknowledgments: The work was performed under state assignment of MHI RAS on topic 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. Thermohaline Structure of Western Crimea Shelf Waters. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 36–52.

Введение

Морская акватория, прилегающая к г. Севастополю и западным районам Республики Крым, является естественной составляющей региона и важна для его экономического развития. Для решения прикладных задач необходимы региональные справочные пособия, освещающие климатические условия и современное состояние окружающей среды, в том числе термохалинной структуры вод.

Общие черты гидрологии района, примыкающего к западному побережью Крыма, в различной степени детализации представлены в обобщающих трудах, описывающих все шельфовые области или Черное море в целом [1–4], а также в работах ^{1), 2)}. В этих исследованиях шельф Западного Крыма не выделяли

¹⁾ Виноградов К. А., Розенгарт М. Ш., Толмазин Д. М. Атлас гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря (в рыбопромысловых целях). Киев : Наукова думка, 1966. 94 с.

в отдельный район, поскольку он, будучи частью обширного северо-западного шельфа, по своим условиям максимально приближен к глубоководной части Черного моря.

Характеристики различных океанографических явлений и процессов непосредственно для данного района рассматривались в работах ^{3), 4)} [6–12]. Много исследований посвящено циркуляции вод северо-западного шельфа в целом и Севастопольского антициклона в частности (например, работы ^{2), 5)}, а также [2–4, 13–21]). Адвекция вод в значительной степени влияет на термохалинную структуру, в особенности на границах районов с различной гидрологической структурой вод.

Региональное описание сезонной изменчивости термохалинной структуры вод, относящееся к данному району, опубликовано более 20 лет назад на основе имеющихся на тот момент архивных данных и ограничено Севастопольским взморьем [12].

Цель работы – на основе данных наблюдений за 1950–2023 гг. описать сезонную изменчивость термохалинной структуры вод шельфа Западного Крыма с оценкой основных различий между открытой и прибрежной частями исследуемого района.

Материалы и методы исследования

Район шельфа, примыкающий к западному побережью Крыма, относится к районам Черного моря с достаточно высокой обеспеченностью данными океанографических наблюдений. Всего в банке данных Морского гидрофизического института РАН имеется 37 046 гидрологических станций (1460 наборов/рейсов), выполненных в районе исследований (44° 20'–45° 30' с. ш., 32°–33° 35' в. д.) в 1910–2023 гг. ⁶⁾ (рис. 1). Для расчета климатических значений был выбран период 1950–2023 гг., охватывающий два климатических периода Всемирной климатической организации (10 673 станции) (рис. 2).

Климатические оценки температуры и солёности рассчитывали по декадным профилям из массива реанализа термохалинных полей, представляющих собой интерполированные значения первичных измерений на регулярной сетке 10' × 15' по методике, описанной в [22]. Относительная степень покрытия исследуемого района интерполированными значениями достигала 90 % в 1960–1980-х гг., 20 % в 1995–2015-х гг. и 40 % – после 2016 г. Для 1950–2023 гг. были рассчитаны среднемесячные значения температуры и солёности в узлах сетки, принятые за климатические нормы.

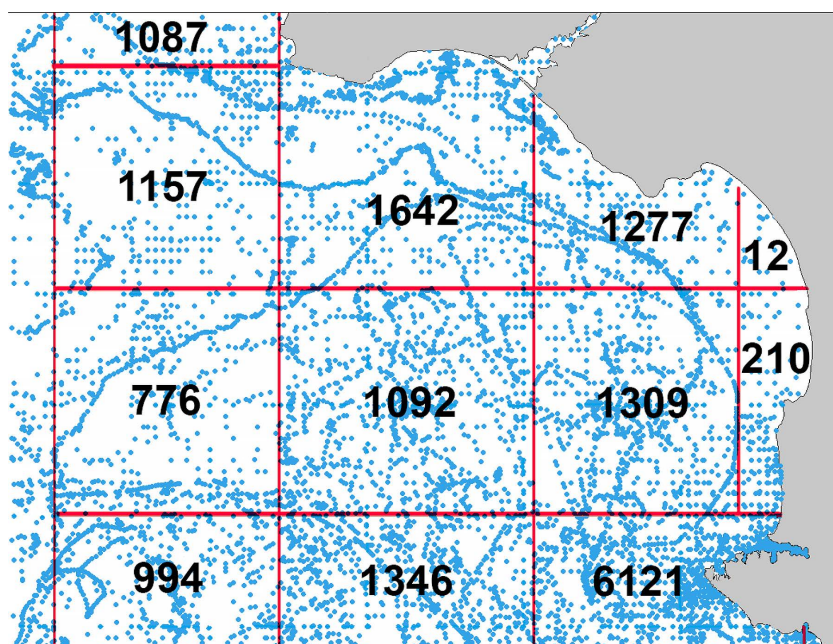
²⁾ Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / А. С. Блатов [и др.] ; под ред. Б. А. Нелепо. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 240 с.

³⁾ Ильин Ю. П., Гришин Г. А. Летнее распределение северо-западной части Черного моря и возможность его контроля спутниковым видеоданным // Географическая интерпретация аэрокосмической информации. Москва : Наука, 1988. С. 119–125.

⁴⁾ Тужилкин В. С. Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей и процессы ее формирования : автореферат дисс. ... д-ра геогр. наук. Москва, 2008. 46 с.

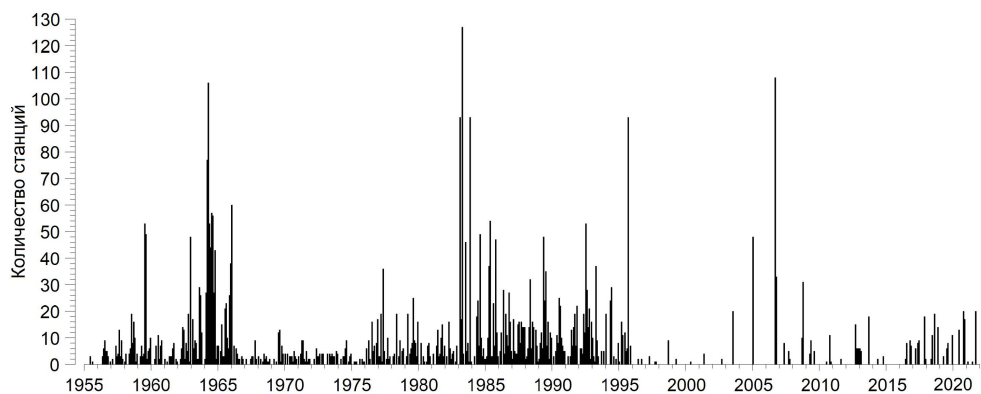
⁵⁾ Большаков В. С. Трансформация речных вод в Черном море. Киев : Наукова думка, 1970. 328 с.

⁶⁾ Черное море: гидрология – 2018 : база данных / Е. А. Годин [и др.] ; ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН». Электрон. дан. Москва, 2019. № гос. регистрации № 2019621008.



Р и с . 1. Расположение гидрологических станций на шельфе Западного Крыма в 1910–2023 гг. и их количество в квадратах $20' \times 30'$

Fig . 1. Location of oceanographic casts in the shelf area near the Western Crimea coast in 1910–2023 and number of stations in $20' \times 30'$ squares



Р и с . 2. Временной ход количества гидрологических станций в месяц в районе исследований

Fig . 2. Time-series of monthly number of oceanographic stations in the study area

Результаты и обсуждение

Температура воды

Сезонный ход вертикальной термической структуры вод в исследуемом районе в целом характерен для Черного моря. С января по март температура воды в значительной степени однородна во всем слое. С мая по август развивается резкий термоклин, повторяемость возникновения верхнего перемешанного слоя в этот период года минимальна. С глубиной наблюдается фазовое запаздывание сезонного цикла (рис. 3, 4).

Для условного разделения открытой и прибрежной частей шельфа была принята изобата 50 м. С января по апрель прибрежная зона во всем слое холоднее остальной части шельфа, разница температур вод прибрежной зоны и мористой части шельфа достигает до 0.8°C и с глубиной не меняет знак (рис. 5).

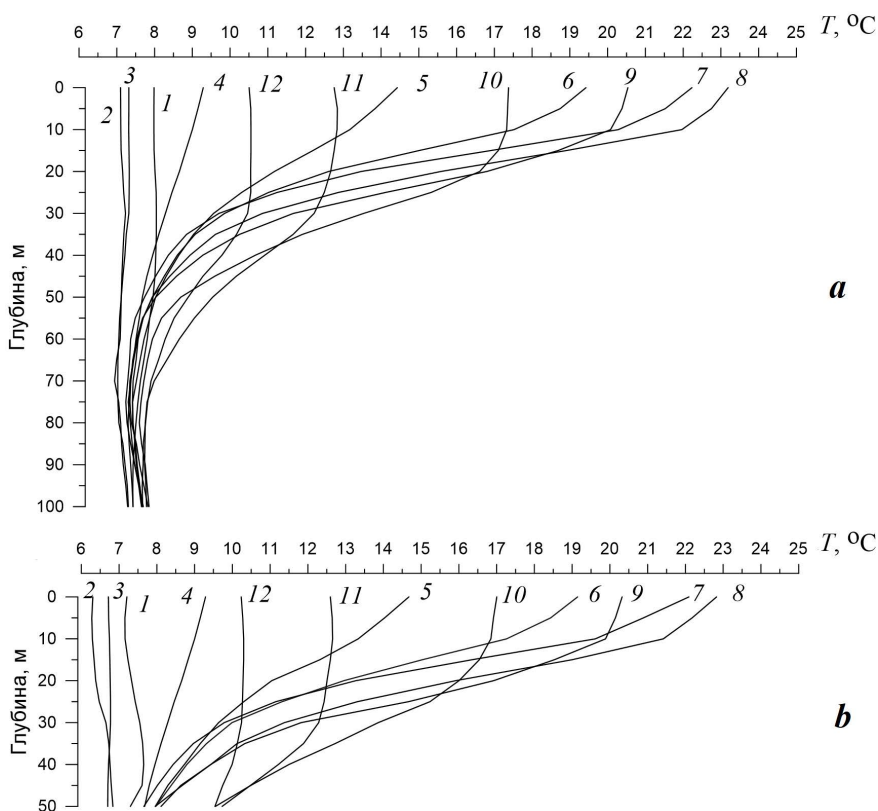


Рис. 3. Среднемесячные климатические вертикальные профили температуры воды на шельфе Юго-Западного Крыма: в мористой части шельфа (а), в прибрежной зоне (б). Цифры соответствуют месяцам года

Fig. 3. Climatic monthly vertical temperature profiles in the South-Western Crimea shelf area: in the outer shelf part (a), in the coastal zone (b). Digits stand for month numbers

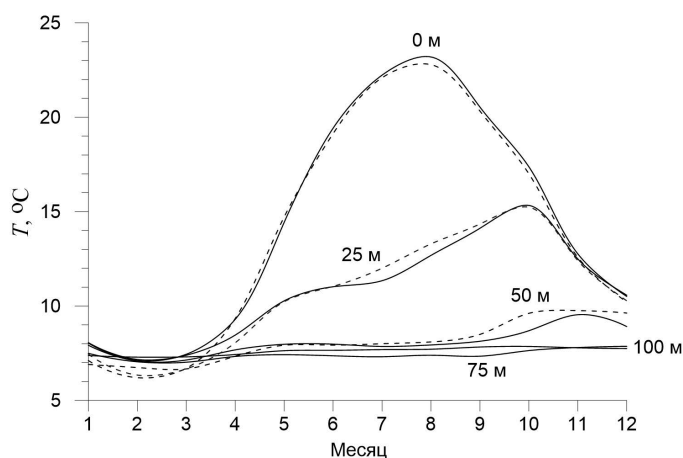


Рис. 4. Климатический сезонный ход температуры воды на шельфе Западного Крыма для различных глубин. Штриховыми линиями изображены графики температуры воды в прибрежной зоне (глубина менее 50 м), сплошными – в мористой части шельфа

Fig. 4. Climatic seasonal course of water temperature in the Western Crimea shelf area at different depths. Dashed lines denote temperature values in the coastal zone (depth < 50 m), solid lines are those in the outer shelf

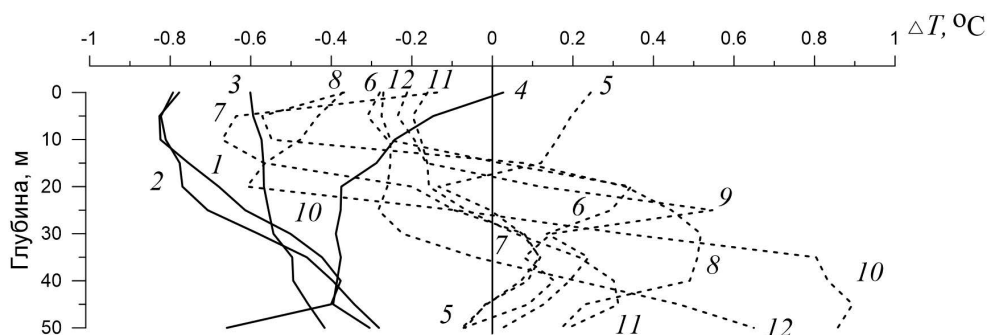


Рис. 5. Разница среднемесячных климатических значений температуры воды между прибрежной зоной и мористой частью шельфа Западного Крыма. Штриховыми линиями изображены графики для тех месяцев, в которых разница значений температуры меняет знак с глубиной, сплошными – в которых не меняет. Цифры соответствуют месяцам года

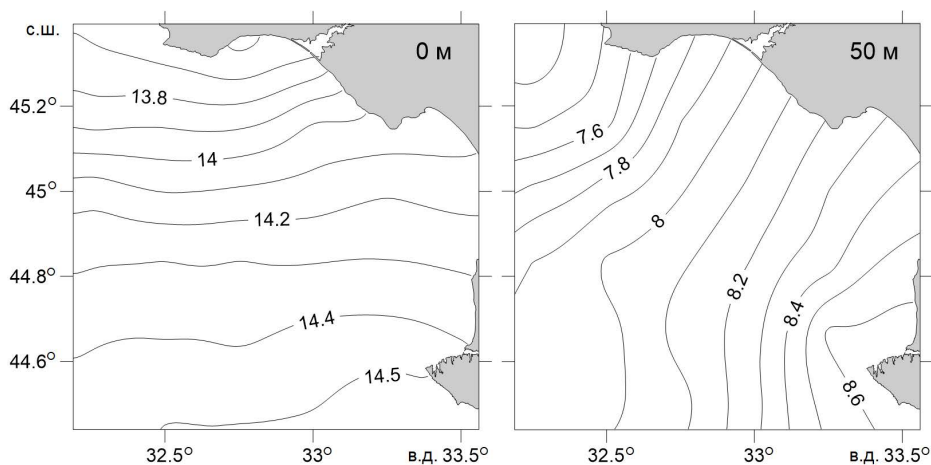
Fig. 5. Differences of climatic monthly temperature between the coastal zone and the Western Crimea outer shelf. Dashed lines denote months when the difference in values changes its sign with depth, solid lines are months without changes. Digits stand for month numbers

В остальную часть года в поверхностном слое температура вод прибрежной зоны в основном ниже, чем в мористой части шельфа ($\Delta T \leq 0.6^\circ\text{C}$), а в слое ниже термоклина – выше ($\Delta T \leq 0.9^\circ\text{C}$) (рис. 5).

Пространственная термическая структура района в целом имеет явно выраженное зональное распределение с холодной северной и теплой южной частями. С глубиной южное направление роста температуры меняется на юго-восточное из-за влияния холодных придонных вод северо-западного шельфа (рис. 6).

На протяжении годового цикла пространственное соотношение теплых и холодных областей в поле температуры изменяется (рис. 7). Наибольшее отклонение от среднегодового распределения в поверхностном слое наблюдается в апреле – мае, когда вся прибрежная зона в среднем на $0.3\text{--}0.4^\circ\text{C}$ теплее открытой части, и летом, когда прибрежные воды, наоборот, на 0.2°C холоднее. Это связано с тем, что в условиях весеннего прогрева и слабого ветра прибрежная зона прогревается быстрее, чем мористая часть шельфа, а летом влияние сгонных явлений и апвеллингов в прибрежной зоне выражено наиболее сильно. С сентября по март термическое поле соответствует среднегодовому распределению, при этом зональный контраст температуры воды минимален в сентябре.

Географическое положение шельфа Западного Крыма между глубоководной частью моря и северо-западным шельфом подразумевает возможность адвекции вод холодного промежуточного слоя (ХПС) из этих районов. По результатам отдельных гидрологических измерений обнаруживаются признаки проникновения вод ХПС в исследуемый район как с северного, так и с южного направления. По климатическому распределению температуры



Р и с . 6 . Среднегодовые климатические значения температуры воды, $^\circ\text{C}$, в районе шельфа Западного Крыма на горизонтах 0 и 50 м

F i g . 6 . Climatic yearly water temperature fields in the Western Crimea shelf, $^\circ\text{C}$, at depths of 0 and 50 m

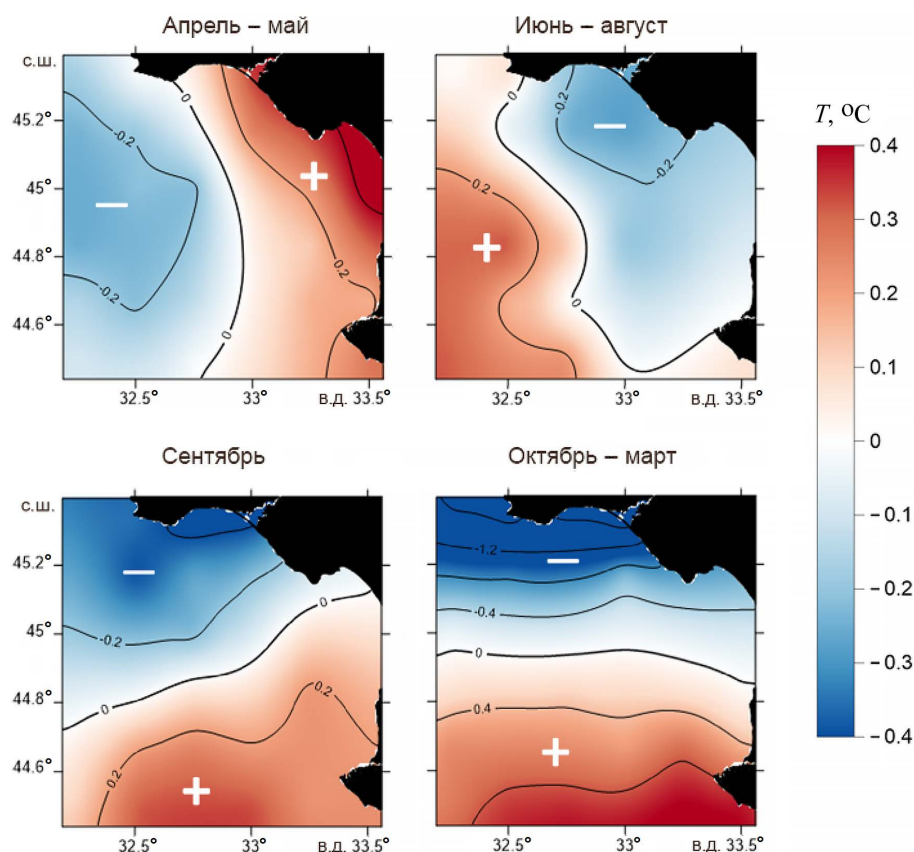
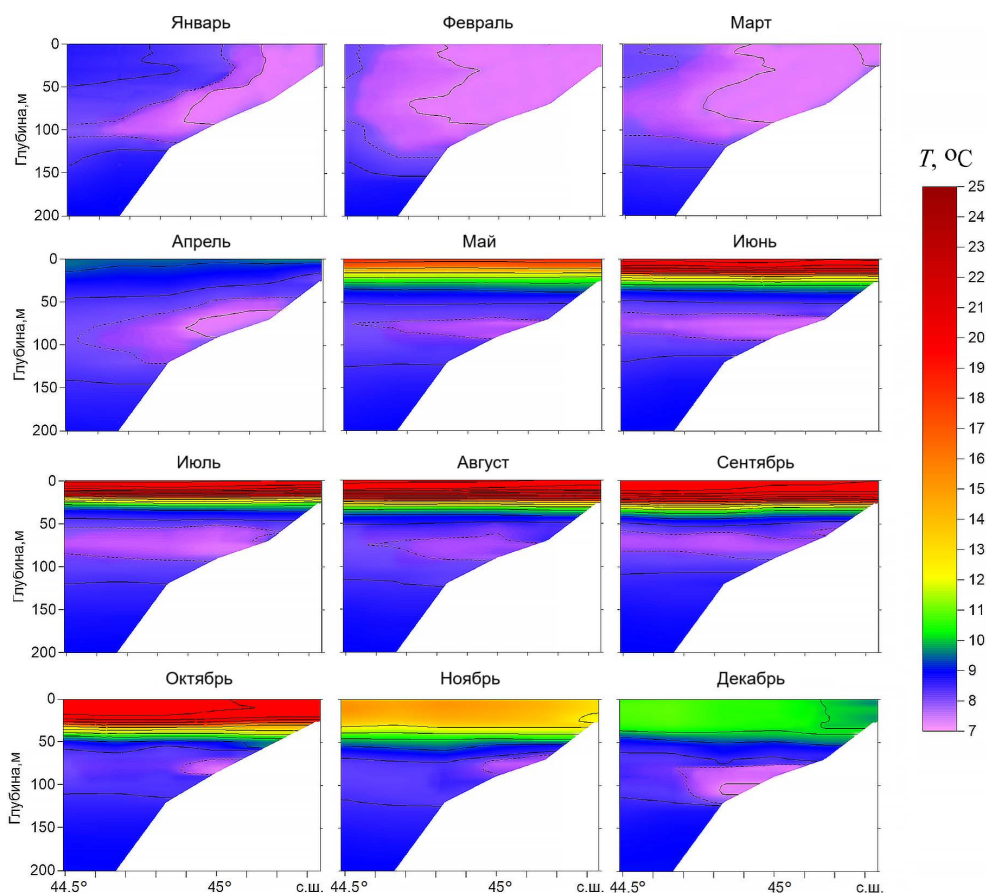


Рис. 7. Обобщенные типы пространственного распределения температуры воды в поверхностном слое в районе шельфа Западного Крыма по отклонениям от среднего по акватории района значения. Символом «+» обозначены положительные аномалии, «-» – отрицательные аномалии

Fig. 7. Generalized types of spatial water temperature distribution in the surface layer of the Western Crimea shelf by deviations from the region area averaged value. Key: “+” – positive anomalies, “-” negative anomalies

и солёности воды можно сделать вывод, что ХПС у берегов Западного Крыма формируется в основном на северо-западном шельфе. Ранее по данным съёмки с высоким разрешением в зимне-весенний период у материкового склона северо-западного шельфа было показано, что адвекция придонных вод в глубоководную часть моря происходит в основном в районе между 30° и 32° в. д. По среднемесячным климатическим значениям температуры воды на центральном меридиональном разрезе исследуемого района по 32° 45' в. д. (рис. 8) хорошо видно, что сползание охлажденных вод в сторону открытого моря происходит также и у Крымского побережья.



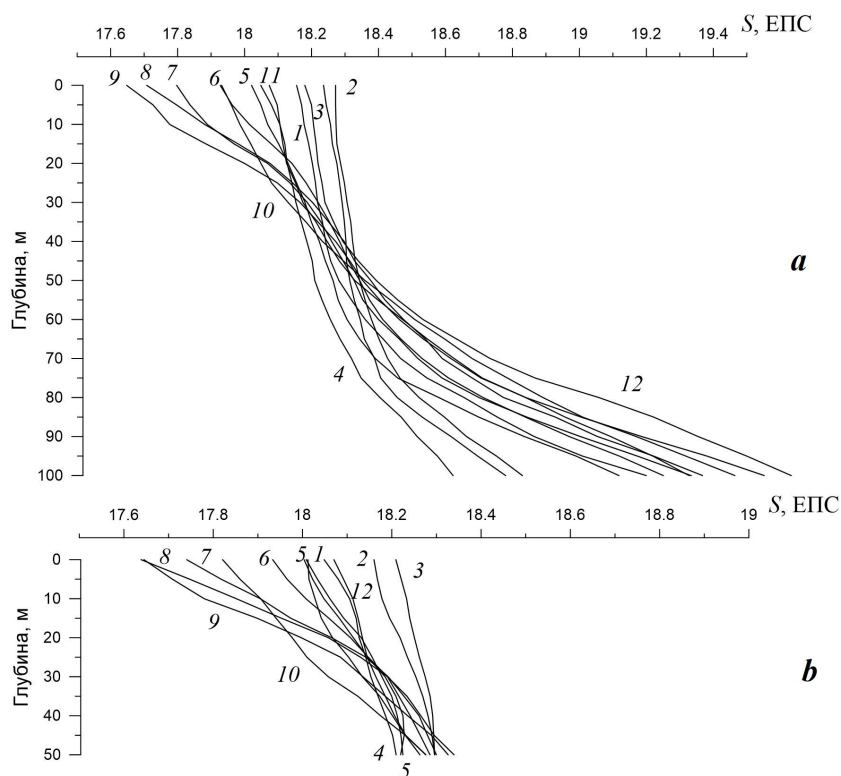
Р и с . 8. Среднемесячные климатические значения температуры воды в районе шельфа Западного Крыма на разрезе по 32° 45' в. д.

Fig. 8. Climatic monthly water temperature in the Western Crimea shelf along the 32° 45' E section

Соленость

Годовой ход вертикальной структуры солености в районе исследований (рис. 9) условно подразделяется на два сезона. С ноября по май слабая халинная стратификация в слое 0–70 м почти не отличается от стратификации в глубоководной части Черного моря. В июне – октябре вертикальные градиенты солености растут, по степени стратификации район занимает промежуточное положение между северо-западным шельфом с сильно расслоенными водами и глубоководной частью моря.

Большую часть года прибрежная зона (глубина до 50 м) во всей толще вод более распреснена, чем остальная часть шельфа (рис. 10). С мая по сентябрь в подповерхностном слое прибрежной части соленость выше, чем в мористой части, что связано с интенсификацией вертикального перемешивания при апвеллингах.

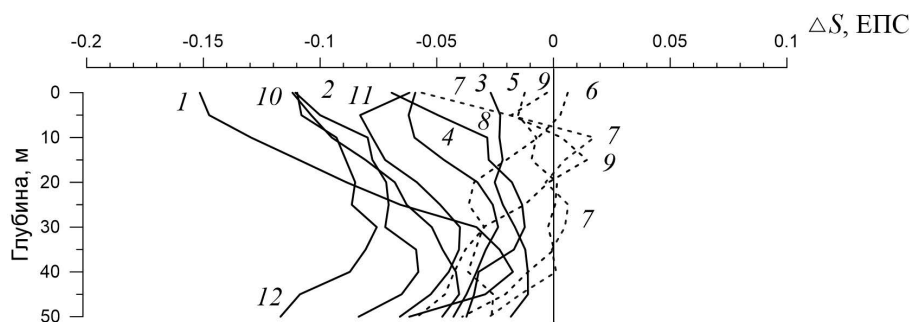


Р и с . 9. Среднемесячные климатические вертикальные профили солености на шельфе Западного Крыма: в морской части шельфа (а), в прибрежной зоне (b). Цифры соответствуют календарным месяцам года

F i g . 9. Climatic monthly vertical salinity profiles in the Western Crimea shelf area: in the outer shelf part (a), in the coastal zone (b). Digits stand for calendar month numbers

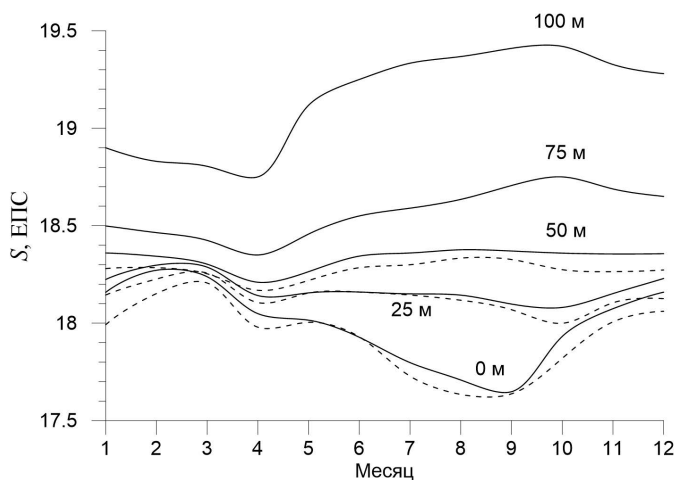
Сезонный ход солености на различных горизонтах в исследуемом районе и во многих других районах Черного моря существенно различается (рис. 11). Достижение минимума солености в поверхностном слое этого района смещено на начало осени, тогда как в остальной части Черного моря минимум наблюдается в весенне-летний период. На шельфе Западного Крыма в слое 50–100 м минимум солености достигается в апреле, максимум – в октябре, что также не характерно для моря в целом. Во многом это связано с сезонной динамикой Севастопольского антициклона, влияющего на водообмен района исследования с Основным Черноморским течением и северо-западным шельфом.

Для пространственной халинной структуры вод района (рис. 12) характерно наличие клина соленых вод, поступающих из открытого моря и разделяющих распресненные воды северо-западного шельфа и прибрежной зоны. С глубиной пространственная ориентация области соленых вод почти не изменяется.



Р и с . 10. Разница между среднемесячными климатическими значениями солености в прибрежной зоне и мористой части шельфа Западного Крыма. Штриховыми линиями изображены графики солености для месяцев, в которых разница ее значений меняет знак с глубиной, сплошными – в которых не меняет

Fig. 10. Differences between climatic monthly salinity values in the coastal zone and the Western Crimea outer shelf. Dashed lines are salinity diagrams for months when the difference in salinity values changes its sign with depth, solid lines are those for months without changes



Р и с . 11. Климатический сезонный ход солености на шельфе Западного Крыма для различных глубин. Штриховыми линиями отображены значения в прибрежной зоне (глубина менее 50 м), сплошными – в мористой части шельфа

Fig. 11. Climatic seasonal course of salinity in the Western Crimea shelf area at different depths. Dashed lines denote values in the coastal zone (depth < 50 m), solid lines are those in the outer shelf

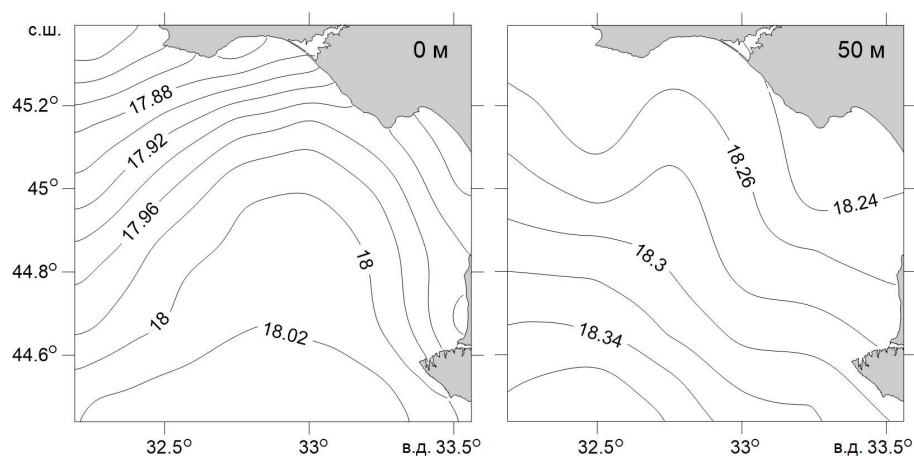


Рис. 12. Среднегодовые климатические значения солености, ЕПС, в районе шельфа Западного Крыма на горизонтах 0 и 50 м

Fig. 12. Climatic yearly salinity fields, psu, in the Western Crimea shelf at depths of 0 and 50 m

Наибольшие отклонения солености от пространственной картины среднегодового распределения (рис. 13) присущи летнему периоду, когда повышается соленость в поверхностном слое прибрежной зоны в условиях межени на малых реках Крыма, сгонов и апвеллингов.

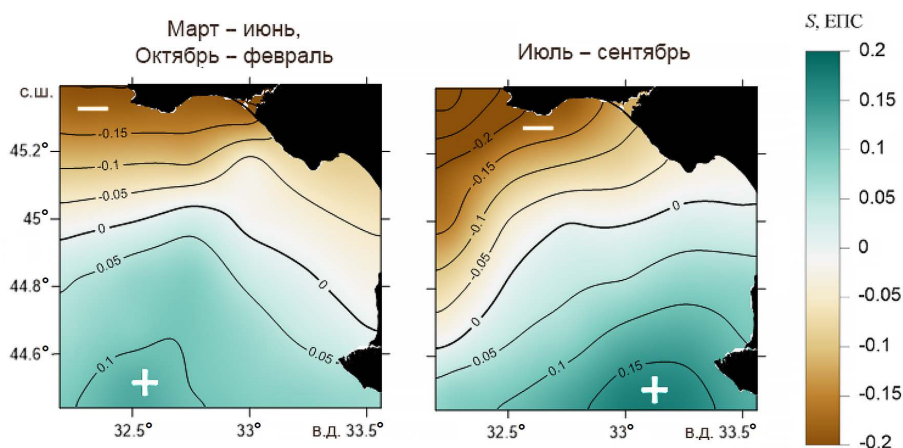


Рис. 13. Обобщенные типы пространственного распределения солености в поверхностном слое в районе шельфа Западного Крыма по отклонениям от среднего по акватории района значения. Символом «+» обозначены положительные аномалии, «-» – отрицательные аномалии

Fig. 13. Generalized types of spatial salinity distribution in the surface layer of the Western Crimea shelf by deviations from the region area averaged value. Key: “+” – positive anomalies, “-” negative anomalies

Термохалинные индексы

Среднемесячные T,S -кривые качественно соответствуют распределению водных масс в большинстве районов Черного моря (рис. 14). Сезонный ход термохалинных индексов (рис. 15) отражает общие для бассейна закономерности. В поверхностном слое при переходе от зимне-весеннего периода к летне-осеннему рост температуры воды сопровождается уменьшением солености. В ХПС сезонные изменения характеризуются совместным увеличением температуры и солености воды от зимы к лету. В основном пикноклине сезонный цикл качественно аналогичен циклу поверхностного слоя, но с большей амплитудой колебаний солености и значительно меньшей амплитудой температуры. Характерные петли на T,S -траекториях, возникающие от относительных фазовых сдвигов между сезонными циклами температуры и солености, связаны с различным соотношением вкладов теплового, водного баланса и интенсивности вертикального перемешивания вод.

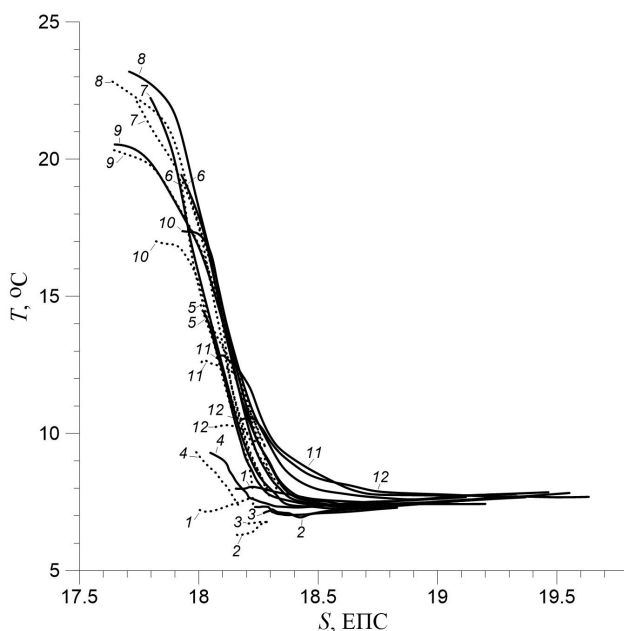


Рис. 14. Среднемесячные климатические T,S -кривые в районе шельфа Западного Крыма. Пунктирными линиями изображены кривые в прибрежной зоне (глубина менее 50 м), сплошными – в мористой части шельфа. Цифры соответствуют календарным месяцам года

Fig. 14. Climatic monthly T,S curves in the Western Crimea shelf. Dotted lines denote values in the coastal zone (depth < 50 m), solid lines are those in the outer shelf. Digits stand for calendar month numbers

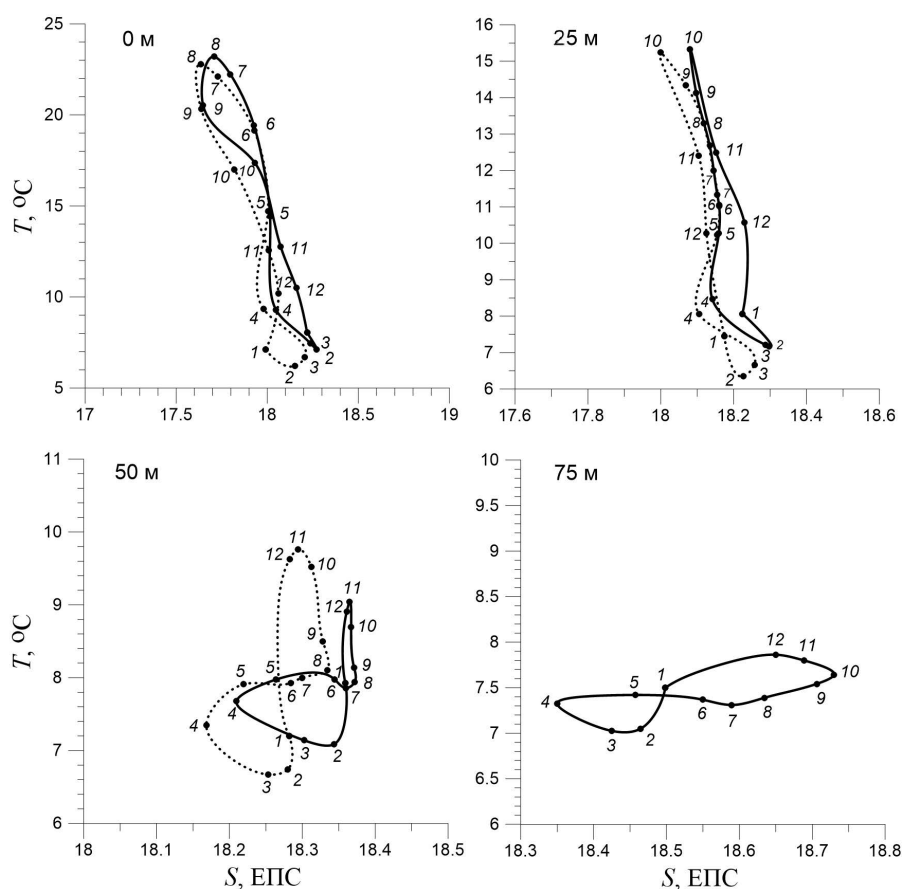


Рис. 15. Климатический сезонный цикл термохалинных индексов на шельфе Западного Крыма для различных глубин. Пунктирными линиями изображены графики для прибрежной зоны (глубина менее 50 м), сплошными – для мористой части шельфа. Цифры соответствуют месяцам года

Fig. 15. Climatic seasonal course of T,S indices in the Western Crimea shelf for various depths. Dotted lines denote values in the coastal zone (depth < 50 m), solid lines are those in the outer shelf. Digits stand for calendar month numbers

Закключение

На основе данных океанографических наблюдений за 1950–2023 гг. были рассчитаны среднесезонные климатические значения температуры и солёности на сетке $10' \times 15'$ и выполнен анализ сезонной изменчивости термохалинной структуры вод шельфа Западного Крыма.

В пространственной термической структуре района в холодный период года явно выражено зональное распределение с холодной северной и тёплой южной частями. В весенне-летний период относительное расположение тёплых/холодных областей изменяется на меридиональное. ХПС у берегов Западного Крыма формируется зимой на северо-западном шельфе. В летний

период при ослаблении общей циркуляции воды ХПС могут также проникать в исследуемый район из глубоководной части моря.

Пространственная халинная структура вод района характеризуется наличием клина соленых вод открытого моря, который разделяет распресненные воды прибрежной зоны и северо-западного шельфа. В сезонном ходе солёности на западном шельфе Крыма, в отличие от ее сезонного хода в других районах Черного моря, минимум солёности в поверхностном слое наблюдается в начале осени, что связано с региональной циркуляцией вод.

Прибрежная зона на протяжении большей части года более холодная и распресненная, чем мористая часть шельфа. Поверхностный слой в прибрежной зоне при интенсивном прогреве и слабых ветрах теплее, чем в мористой части шельфа, в период апреля – мая, а слой глубже сезонного термоклина теплее в летне-осенний период из-за меньшего теплообмена с ХПС. В подповерхностных слоях солёность прибрежной зоны с мая по сентябрь выше, чем в мористой части, что связано с процессами апвеллинга.

В целом по характеристикам термохалинной структуры вод шельф Западного Крыма является промежуточной зоной между северо-западным шельфом и глубоководной частью Черного моря, водообмен с которой зависит от интенсивности Основного Черноморского течения и Севастопольского антициклона. Региональные водные массы или подтипы основных черноморских водных масс в исследуемом районе не выделены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 4. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. А. И. Симонова, Э. Н. Альтмана. Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1991. 429 с.
2. Блатов А. С., Иванов В. А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря. Киев : Наукова думка, 1992. 244 с.
3. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 209 с.
4. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2 : Черное море / Ю. П. Ильин [и др.]. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. 421 с.
5. Ильин Ю. П. Антициклонические вихри у свала глубин северо-западной части Черного моря: формирование поверхностных образований и спутниковые ИК-наблюдения в весенне-летний сезон // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. Севастополь : МГИ НАН Украины, 1995. С. 22–30.
6. Ильин Ю. П., Белокопытов В. Н. Сезонная и межгодовая изменчивость параметров холодного промежуточного слоя в области Севастопольского антициклонического круговорота // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2005. Вып. 12. С. 29–41. EDN YUCFRG.
7. Белокопытов В. Н. Сезонный ход вертикальной термохалинной стратификации вод на Черноморском шельфе Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 3. С. 19–24. EDN ASAMOV. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-3-19-24>
8. Ломакин П. Д., Чепыженко А. И. Структура полей океанологических величин в зоне апвеллинга у Гераклейского полуострова (Крым) в августе 2019 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 31–41. EDN JCOWQH. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2022-1-31-41>

9. Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Чепыженко А. А. Структура полей океанологических величин у северного берега севастопольского взморья (Черное море) в феврале 2020 года // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского-Природного заповедника РАН. 2022. № 1. С. 3–10. EDN IRQYXS. <https://doi.org/10.21072/eco.2022.21.01>
10. Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Черное море) / В. И. Рябушко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 1. С. 103–118. EDN HETKTQ. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-1-103-118>
11. Распределение взвешенного вещества у западного побережья Крыма при воздействии сильных ветров различных направлений / А. А. Алескерова [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2019. № 2. С. 74–88. EDN ZIPMWT. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019274-88>
12. Фоновая характеристика и сезонная изменчивость вертикальной стратификации термохалинного поля у побережья Севастополя / В. Н. Белокопытов [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2002. Вып. 1. С. 22–29. EDN USBQVS.
13. Tolmazin D. Changing coastal oceanography of the Black Sea, I, Northwestern Shelf // Progress in Oceanography. 1985. Vol. 15, iss. 4. P. 217–276. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(85\)90039-4](https://doi.org/10.1016/0079-6611(85)90039-4)
14. Еремеев В. Н., Латун В. С., Совга Е. Е. Влияние антропогенных загрязнителей и путей их переноса на экологическую обстановку в северо-западном районе Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2001. № 5. С. 41–55. EDN YVONBZ.
15. Антициклонический вихрь рингового типа на свале глубин северо-западной части Черного моря / А. В. Григорьев [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2001. Вып. 3. С. 57–61. EDN FVBCZF.
16. Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data / G. Korotaev [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2003. Vol. 108, iss. C4. 3122. <https://doi.org/10.1029/2002JC001508>
17. Морозов А. Н., Лемешко Е. М. Использование Self Contained ADCP для проведения измерений с борта судна: методические вопросы и физические результаты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2005. Вып. 13. С. 425–432. EDN YODZAO.
18. Statistical description of the Black Sea near-surface circulation using drifters in 1999–2003 / P.-M. Poulain [et al.] // Deep-Sea Research I: Oceanographic Research Papers. 2005. Vol. 52, iss. 12. P. 2250–2274. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2005.08.007>
19. Вертикальная структура поля скорости течений в северо-западной части Черного моря по данным LADCP в мае 2004 г. / Е. М. Лемешко [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2008. № 6. С. 25–37. EDN MHISEP.
20. Горячкин Ю. Н. Придонные течения в Каламитском заливе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2008. Вып. 17. С. 258–264. EDN YQYLGX.
21. Белокопытов В. Н., Никольский Н. В. Устойчивые антициклонические вихри у южного и западного побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2015. Вып. 1. С. 47–53. EDN VHGRAN.
22. Белокопытов В. Н. Ретроспективный анализ термохалинных полей Черного моря на основе методов эмпирических ортогональных функций // Морской гидрофизический журнал. 2018. № 5. С. 412–421. EDN YMQLYT. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2018-5-412-421>

Поступила 26.08.2024 г.; одобрена после рецензирования 19.09.2024 г.;
принята к публикации 25.03.2025 г.; опубликована 30.06.2025 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, **ResearcherID: 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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.