

Пространственно-временная изменчивость гидрофизических параметров вод северной части Черного моря по данным измерений 2021 года

А. Н. Морозов *, Е. В. Маньковская

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

** e-mail: anmorozov@mhi-ras.ru*

Аннотация

На основе результатов измерения профилей солености, температуры и скорости течения в трех экспедициях НИС «Профессор Водяницкий» (22 апреля – 08 мая, 29 июня – 10 июля, 03–19 сентября 2021 г.) в центральном секторе северной части Черного моря (31° – 37° в. д., 43° – 45° с. ш.) исследованы особенности пространственного распределения гидрофизических параметров в различные сезоны 2021 г. и проведено сопоставление с данными предыдущих экспедиционных исследований 2016–2019 гг. Проанализированы горизонтальные распределения течений в весенней, летней и осенней экспедициях 2021 г. Рассмотрены осредненные профили скорости течений, плотности, температуры, частоты плавучести, кинетической энергии. Вертикальная структура температуры воды отражает сохраняющуюся тенденцию к потеплению ядра холодного промежуточного слоя, выявленную ранее по данным 2016–2019 гг. По данным всех измерений 2016–2021 гг., вертикальные профили кинетической энергии показывают уменьшение значений в верхнем слое моря в летний период и возрастание в весенний, осенний и зимний сезоны года. Профили могут быть аппроксимированы линейными зависимостями, которые пересекают нулевое значение при плотности 16.75 кг/м^3 . Сезонная изменчивость средней кинетической энергии прослеживается до глубины залегания именно этой изопикны.

Ключевые слова: Черное море, скорость течения, плотность, температура, частота плавучести, кинетическая энергия, холодный промежуточный слой

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по темам № FNNN-2021-0003 «Оперативная океанология», № FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования»; данные получены в 116, 117 и 119-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий» (Центр коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»).

Для цитирования: 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.

© Морозов А. Н., Маньковская Е. В., 2023



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

Spatial and Temporal Variability of Hydrophysical Parameters of the Northern Black Sea Waters from 2021 Measurements

A. N. Morozov *, E. V. Mankovskaya

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

* e-mail: anmorozov@mhi-ras.ru

Abstract

The paper uses the results of measurements of salinity, temperature and current velocity profiles in three expeditions of the R/V *Professor Vodyanitsky* (22 April – 08 May, 29 June – 10 July, 03–19 September 2021) in the central sector of the northern Black Sea (31°–37° E, 43°–45° N) to study features of the spatial distribution of hydrophysical parameters in various seasons of 2021 and to compare them with the data of previous expedition studies in 2016–2019. The horizontal distributions of currents in the spring, summer and autumn expeditions of 2021 were analysed. The averaged profiles of current velocity, density, temperature, buoyancy frequency, and kinetic energy were considered. The vertical structure of water temperature reflects the persistent warming trend of the cold intermediate layer core derived earlier from the 2016–2019 data. Based on all 2016–2021 measurements, the vertical profiles of kinetic energy show decreasing values in the upper sea layer in summer and increasing values in spring, autumn and winter seasons of the year. The profiles can be approximated by linear relationships that cross zero at a density of 16.75 kg/m³. The seasonal variability of the average kinetic energy is traceable to the depth of occurrence of this particular isopycnic.

Keywords: Black Sea, current velocity, density, temperature, buoyancy frequency, kinetic energy, cold intermediate layer

Acknowledgements: The work was performed under state assignment of MHI RAS on topics no. FNNN-2021-0003 “Operational oceanology”, no. FNNN-2021-0005 “Coastal research”; the data were obtained during the 116th, 117th and 119th cruises of the R/V *Professor Vodyanitskiy* (the core facility R/V *Professor Vodyanitskiy* of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS).

For citation: Morozov, A.N. and Mankovskaya, E.V., 2023. Spatial and Temporal Variability of Hydrophysical Parameters of the Northern Black Sea Waters from 2021 Measurements. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 6–18.

Введение

Морской гидрофизический институт начиная с 2016 г. ежегодно выполняет экспедиционные исследования в центральном секторе северной части Черного моря на НИС «Профессор Водяницкий». В ходе рейсов на гидрологических станциях традиционно проводятся CTD-зондирования (проводимость, температура, глубина) и измерения профилей скорости течения с использованием погружаемого акустического доплеровского профилометра течений (LADCP) [1, 2]. Совместный анализ CTD- и LADCP-данных позволяет получить осредненные характеристики термохалинной структуры и динамики вод, а также оценить их пространственно-временную изменчивость [3–7].

Исследование особенностей динамики вод Черного моря остается в настоящее время актуальной задачей. *LADCP*-измерения позволяют более детально и подробно изучать закономерности изменчивости течений в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Получаемые при этом эмпирические параметры горизонтальной и вертикальной структуры поля скорости течений могут быть использованы для тестирования результатов численного моделирования динамики вод, интерпретации данных дистанционного зондирования, оценки различных обменных процессов.

Вертикальная термохалинная структура вод Черного моря также является предметом постоянного мониторинга и изучения. В последние десятилетия наблюдаются значительные изменения, например в виде тренда снижения солености в поверхностном слое и повышения ее в пикноклине [8] или тенденции к потеплению ядра холодного промежуточного слоя (ХПС) [9–13]. На современном этапе, по натурным данным, в Черном море воды с температурами ниже 8 °С (классическая граница ХПС) встречаются все реже. Данные буев *Argo* также показывают, что объем холодных вод в ХПС уменьшился, нижняя граница слоя поднялась выше, а сам слой может вообще исчезнуть [14]. Одной из причин этого являются климатические изменения температуры воздуха (ее повышение) в зимний сезон, с чем непосредственно связано зимнее конвективно-турбулентное выхолаживание вод верхнего слоя моря и обновление вод ХПС.

В настоящей статье представлены и обсуждаются результаты *CTD*-и *LADCP*-измерений, полученные в трех экспедициях 2021 г. по Черному морю. Рассмотрены осредненные профили скорости течения, плотности, температуры, частоты плавучести, кинетической энергии. Цель работы – исследовать особенности пространственного распределения гидрофизических параметров в различные сезоны 2021 г. и сопоставить их с данными предыдущих экспедиционных исследований 2016–2019 гг.

Данные, приборы и методы

Использованы данные экспедиций 2021 г. на НИС «Профессор Водяницкий» в центральном секторе северной части Черного моря (31°–37° в. д., 43°–45° с. ш.):

- 1) 22 апреля – 08 мая (116-й рейс);
- 2) 29 июня – 10 июля (117-й рейс);
- 3) 03–19 сентября (119-й рейс).

CTD-измерения выполнялись с использованием зондирующего комплекса *IDRONAUT OCEAN SEVEN 320PlusM*, результаты интерполировались на сетку с шагом 1 м. В соответствии с описанием приборов измерения температуры и солености имеют начальную точность 10^{-3} °С и 10^{-3} ЕПС.

Измерения профиля скорости течения производились с использованием *LADCP* на основе *Workhorse Monitor WHM300* производства *RDI* (рабочая частота 300 кГц, номинальный диапазон 120 м, разрешающая способность 4 м). Параметры работы прибора устанавливались следующие: опция *LADCP* включена в режиме *broad-band* – высокое разрешение/короткая дистанция (*high resolution/low range*); дискретность по времени 1 с, по глубине 4 м. Во время выполнения станций судно находилось в дрейфе, скорость которого

определялась с использованием судового навигационного комплекса (*GPS*) и учитывалась при обработке первичных данных.

На глубокой воде (более 200 м) измерения выполнялись до горизонтов 160–180 м. Последовательность выполнения измерений включала выдержку прибора у поверхности моря на глубине ~ 3 м в течение 5 мин, дальнейшее его погружение со скоростью 0.5 м/с до глубины зондирования, выдержку на этом горизонте в течение 5 мин и последующий подъем на поверхность со скоростью 0.5 м/с. Измеренные профили скорости течения начинались с 10-метровой глубины. Погрешность измерения скорости течения составляет ~ 3 см/с для единичного импульса.

В прибрежных районах (глубина моря до 100 м) измерения выполнялись в режиме выдержки прибора у борта судна в течение 5 мин, влияние корпуса судна на магнитный компас компенсировалось на основе сопоставления *Bottom Track* и *GPS*-данных.

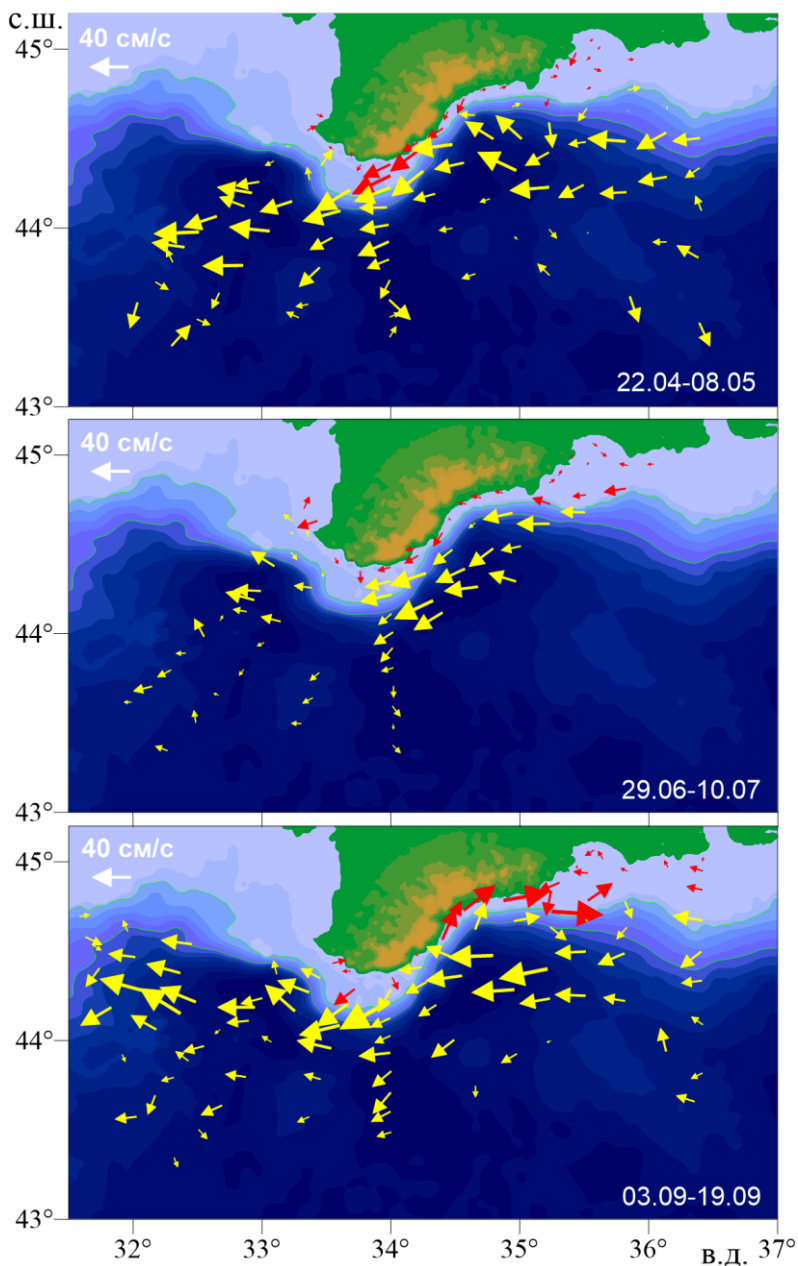
Обработка *LADCP*-данных выполнялась с помощью программы *LDEO Software* версии *IX.12*. Программа адаптирована для условий проведения измерений в Черном море, она позволяет рассчитать вертикальные профили скорости течения на глубоководных станциях в слое от ~ 30 м до глубины выполнения зондирования. На мелководных станциях (глубины до ~ 90 м) профиль скорости течения рассчитывается по данным выдержки *ADCP* у борта судна с помощью специализированного программного обеспечения, учитывающего влияние корпуса судна на показания компаса прибора [15].

При дальнейшей обработке данных для получения средних профилей гидрофизических параметров применялось изопикническое осреднение по ансамблю станций каждой из экспедиций. Это обусловлено необходимостью компенсации куполообразной формы изопикнических поверхностей, вызванной циклоническим характером крупномасштабной циркуляции вод Черного моря [16].

Результаты измерений и их обсуждение

Натурные данные получены в разные сезоны: весной, летом и осенью 2021 г. На рис. 1 приведены векторы скорости течения, осредненные в слое 10–30 м. Гидрологические станции довольно равномерно (за исключением летней съемки) располагаются в области Основного Черноморского течения (ОЧТ) и вне его ближе к центру моря. Во всех распределениях хорошо выражен циклонический характер крупномасштабной циркуляции вод моря, преобладает западное направление течений. Скорость и интенсивность потока ОЧТ велика весной, затем уменьшается в летний период и снова возрастает осенью. Во всех экспедициях отмечается увеличение скорости течений в районе свала глубин у южной оконечности Крымского полуострова (мыс Кикенеиз): здесь ОЧТ интенсифицируется. Следует отметить, что основная струя ОЧТ во всех распределениях не прижата к континентальному склону Крымского полуострова, а отклонена на юго-запад.

В весенней экспедиции в восточной части полигона горизонтальное распределение течений выявляет антициклонический мезомасштабный вихрь (Крымский антициклон) с характерным масштабом ~ 40 км. Измерения на гидрологических станциях, попадающих в зону вихря, выполнены 05.05.2021.

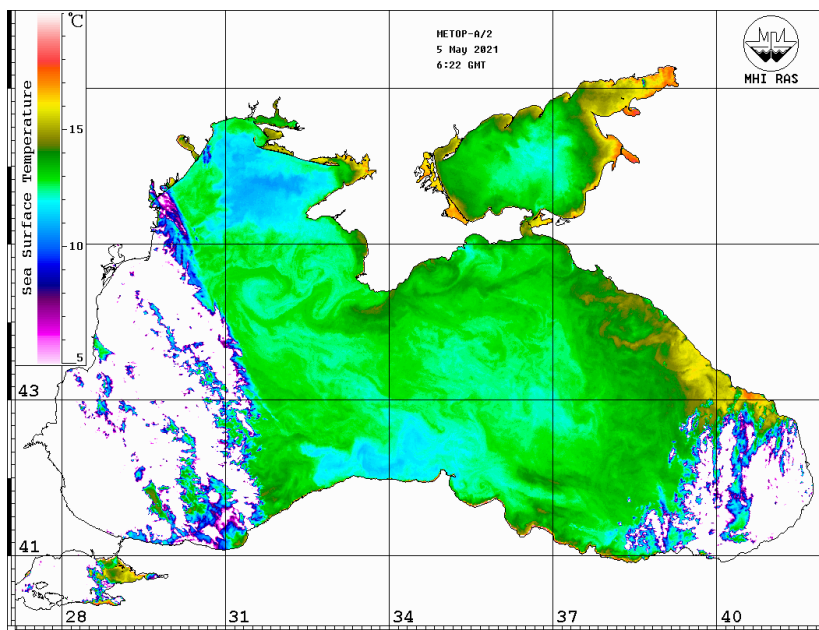


Р и с. 1. Векторы скорости течения, осредненные в слое 10–30 м (красные стрелки – мелководные станции (< 100 м), желтые стрелки – глубоководные станции (> 100 м); начало стрелки – местоположение станции)

Fig. 1. Current velocity vectors averaged in the 10–30 m layer (red arrows are shallow-water stations (< 100 m), yellow arrows are deep-water stations (> 100 m); the arrow point denotes the station location)

Его наличие также подтверждают данные дистанционного зондирования температуры поверхности моря за 05.05.2021 (рис. 2), в которых наблюдается вихревое антициклоническое образование.

В осенней экспедиции на фоне интенсивного потока ОЧТ (30–40 см/с) в прибрежно-шельфовой зоне наблюдается направленное в противоположную сторону мощное вдольбереговое течение у Южного берега Крыма со значениями скорости до 40 см/с. При этом направление течения, противоположное ОЧТ, сохраняется во всей толще вод на станциях с максимальными значениями скорости течения. По оценкам авторов работ [17–20], у Южного берега Крыма вдольбереговой поток, направленный на восток – северо-восток (против ОЧТ), составляет 10–12 % в бимодальном распределении повторяемости направления прибрежных течений. Основной причиной появления таких «противотечений» считается образование прибрежных антициклонических вихрей при взаимодействии потока ОЧТ с берегом [20–24], а также воздействие локальных ветровых условий [25]. В недавней работе [26] систематизированы результаты натурных исследований региональных особенностей циркуляции прибрежных вод, полученные ранее в различных районах Черного моря. Рассмотрены также характеристики, условия и продолжительность существования бимодальной структуры направлений прибрежного течения у Южного побережья Крыма.

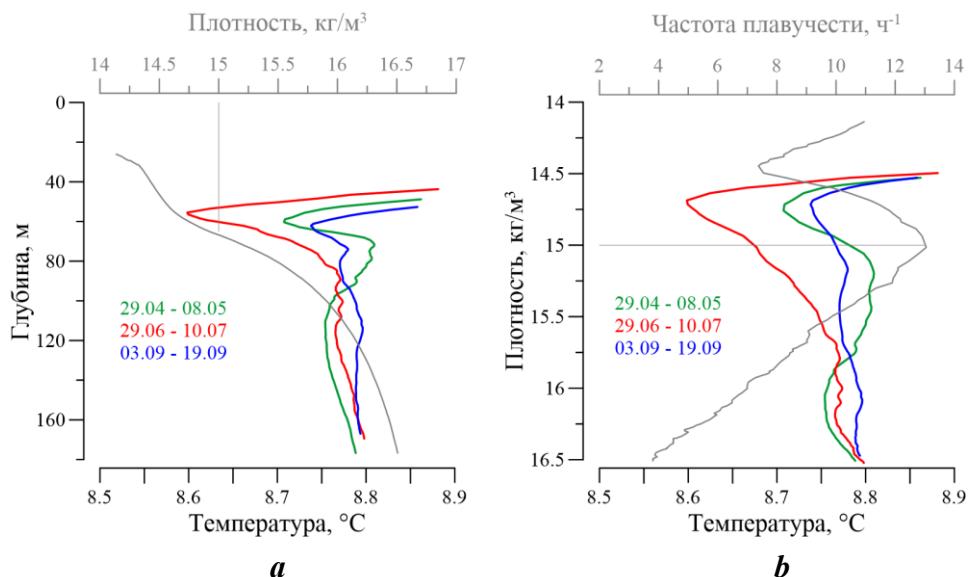


Р и с. 2. Температура поверхности моря 05.05.2021 по данным *METOP-A/2*

F i g. 2. Sea surface temperature on 5 May 2021 from *METOP-A/2* data

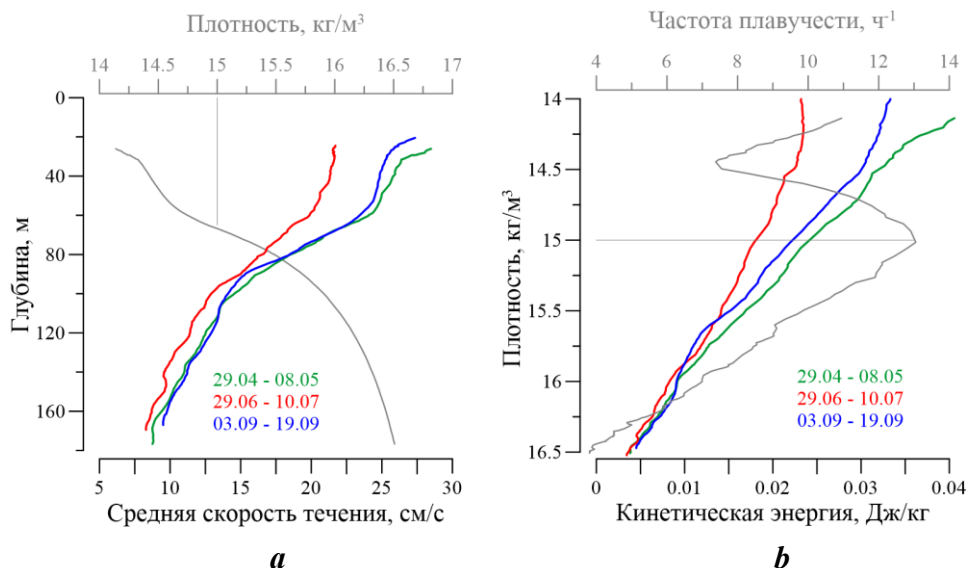
На рис. 3 для трех экспедиций показана осредненная по изопикнам вертикальная структура температуры воды на фоне среднего профиля плотности и частоты плавучести. Ниже верхнего однородного поверхностного слоя наблюдается локальный минимум частоты плавучести при значении потенциальной плотности $\sim 14.5 \text{ кг/м}^3$, максимум – в окрестности 15.0 кг/м^3 . Минимальные значения температуры наблюдаются при потенциальной плотности $14.7\text{--}14.8 \text{ кг/м}^3$: $8.68 \text{ }^\circ\text{C}$ – в мае, $8.65 \text{ }^\circ\text{C}$ – в июле, $8.71 \text{ }^\circ\text{C}$ – в сентябре. Ранее нами было показано, что ХПС по данным контактных измерений в этом же районе моря имеет тенденцию к потеплению [5], и был предложен критерий границы ХПС в виде температуры $8.6 \text{ }^\circ\text{C}$. Однако, по обсуждаемым данным экспедиций 2021 г., он не подходит. Можно рассматривать только границу $8.8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Среднеквадратический профиль модуля скорости течения во все сезоны показывает ее убывание с глубиной (рис. 4, а). При этом в диапазоне глубин $30\text{--}100 \text{ м}$ значения модуля скорости течения весной и осенью выше, чем летом, когда крупномасштабная циркуляция моря ослабевает и сформирован сезонный термоклин. До значения плотности 14.5 кг/м^3 , соответствующего минимуму частоты плавучести, скорости течения изменяются слабо. В слое глубин $40\text{--}100 \text{ м}$ (диапазон значений плотности $14.5 \dots 16.0 \text{ кг/м}^3$) наблюдается резкое (почти двукратное) уменьшение модуля скорости течения, которое вызвано переходом части кинетической энергии в потенциальную энергию, определяемую отклонением изопикнических поверхностей от горизонтального положения.



Р и с. 3. Вертикальные профили температуры, изопикнически осредненные по набору станций экспедиций 2021 г., совместно с распределением плотности (а) и частоты плавучести (b). Шкала температуры ограничена сверху значением $8.9 \text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 3. Temperature vertical profiles isopically averaged over the set of 2021 expedition stations, together with the density distribution (a) and buoyancy frequency (b). The temperature scale is limited above by the value of $8.9 \text{ }^\circ\text{C}$

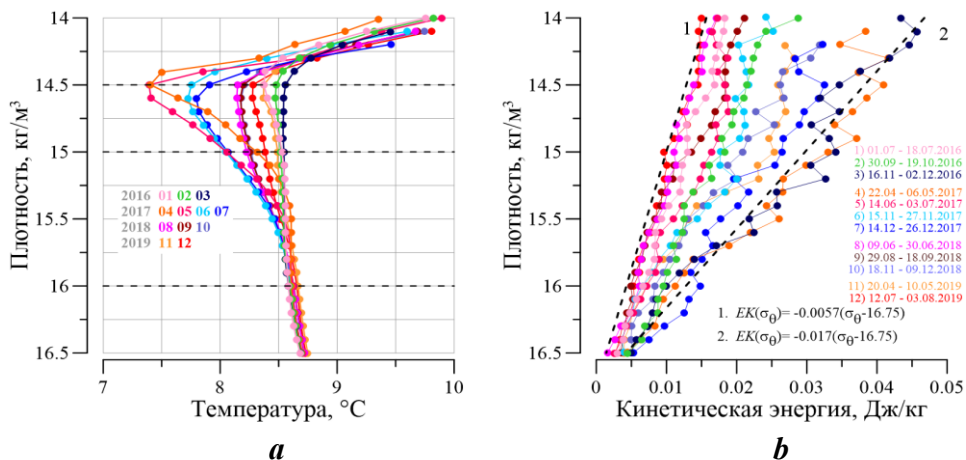


Р и с. 4. Вертикальные профили скорости течения и плотности (а), кинетической энергии и частоты плавучести (b), изопикнически осредненные по набору станций экспедиций 2021 г.

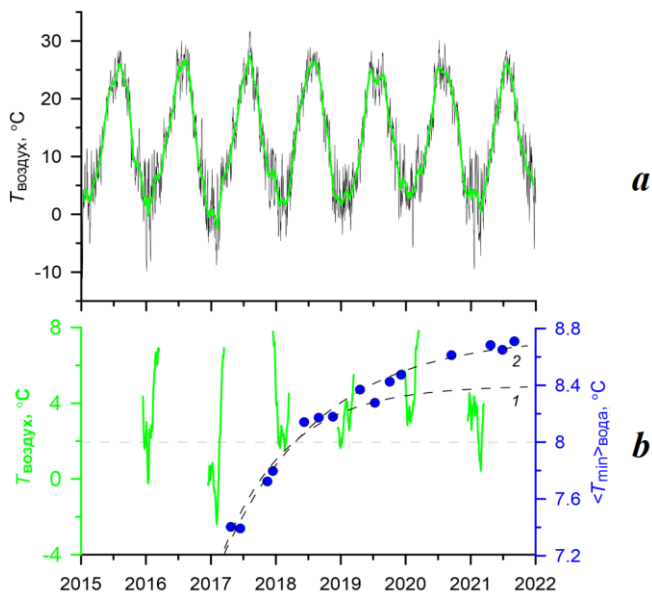
F i g. 4. Vertical profiles of current velocity and density (a), kinetic energy and buoyancy frequency (b), isopycnically averaged over the set of 2021 expedition stations

Для задач сопоставления результатов работы численных моделей динамики вод с данными натурных измерений профилей скорости течения больше подходит вертикальное распределение кинетической энергии, осредненное по некоторому набору станций. На рис. 4, b приведены изопикнически осредненные по набору станций (см. рис. 1) профили кинетической энергии для всех трех рассматриваемых в работе экспедиций. Хорошо прослеживается уменьшение кинетической энергии в верхнем слое в летний период и ее возрастание в весенний и особенно в осенний периоды. Профили могут быть аппроксимированы линейными зависимостями, которые пересекают нулевое значение при плотности 16.75 кг/м^3 . Аналогичные результаты получены нами по данным экспедиционных исследований 2016–2019 гг. (рис. 5, b). По данным рис. 5, значения кинетической энергии в верхнем слое моря (при плотности 14 кг/м^3) в летние периоды не превышают 0.02 Дж/кг . То же наблюдается по данным летней экспедиции 2021 г.

На рис. 5, a приведены осредненные по изопикнам температурные профили, полученные по данным экспедиционных измерений в 2016–2019 гг. [6]. Обновление вод ХПС в его классическом виде ($< 8 \text{ }^\circ\text{C}$) произошло только в 2017 г. Это было обусловлено относительно холодной зимой 2016–2017 гг. После этого наблюдается тенденция к потеплению ядра ХПС, которая сохраняется и по данным измерений 2020–2021 гг. (рис. 6). Графики рис. 6 показывают данные о температуре воздуха в г. Керчи совместно со средней температурой в ядре ХПС с начала 2016 г. по конец 2021 г. Видно, что зимние температуры воздуха не соответствовали значениям 2017 г. и не опускались ниже этих значений.



Р и с. 5. Изопикнически осредненные по набору станций вертикальные профили температуры (а) и кинетической энергии (b) для 12 экспедиций 2016–2019 гг.
 F i g. 5. Vertical profiles of temperature (a) and kinetic energy (b), isopycnally averaged over the set of stations, for 12 expeditions of 2016–2019



Р и с. 6. Среднесуточная (серая линия) и среднемесячная (зеленая линия) температура воздуха в г. Керчи (а), средние значения минимальной температуры воды в профилях на станциях для экспедиций 2017–2021 гг. и среднемесячная температура воздуха в зимний период в Керчи (b). Линии 1 и 2 – аппроксимирующие функции
 F i g. 6. Mean daily (grey line) and mean monthly (green line) air temperature in Kerch (a), mean values of the minimum water temperature in the profiles at the stations for the 2017–2021 expeditions and mean monthly winter air temperature in Kerch (b). Lines 1 and 2 are approximating functions

Соответственно снижения температуры вод ХПС и его обновления не наблюдалось. Штриховая линия 1 показывает зависимость, предложенную нами ранее [5], в соответствии с которой происходит повышение температуры ХПС после его обновления в 2017 г. Аппроксимирующая функция имеет вид $\langle T_{\min} \rangle(t) = 7 + 1.4 (1 - \exp(-(t - 2017)))$, где t – время, год. Уточненная зависимость с учетом новых данных экспедиционных контактных измерений имеет вид (штриховая линия 2) $\langle T_{\min} \rangle(t) = 7 + 1.75 (1 - \exp(-(t - 2017)/1.5))$.

Заключение

По данным *CTD*- и *LADCP*-измерений в трех экспедициях 2021 г. по северной части Черного моря получены пространственные распределения гидрофизических параметров. В горизонтальном распределении скорости течения во все сезоны преобладают западные направления с выраженной струей ОЧТ, которая не прижата к континентальному склону Крымского полуострова, а смещена в сторону глубокого моря. Скорость потока ОЧТ достигает 50 см/с весной, затем уменьшается в летний период и снова возрастает осенью. Средние значения скорости течения на глубине 40 м составили: 26 см/с весной, 21 см/с летом и 27 см/с осенью. Максимальные скорости течения наблюдаются во всех экспедициях в районе свала глубин у южной оконечности Крымского полуострова (мыс Кикенеиз).

В весенней экспедиции в восточной части полигона горизонтальное распределение скорости течения выявляет антициклонический мезомасштабный вихрь (Крымский антициклон) с характерным масштабом ~ 40 км. В осенней экспедиции на фоне интенсивного потока ОЧТ (30–40 см/с) в прибрежно-шельфовой зоне Южного берега Крыма наблюдается направленное в противоположную сторону мощное вдольбереговое течение (до 40 см/с), сохраняющее свое направление во всей толще вод.

В результате совместного анализа *CTD*- и *LADCP*-данных получены осредненные вертикальные профили скорости течения, плотности, температуры, частоты плавучести, кинетической энергии. Вертикальная структура температуры воды отражает сохраняющуюся тенденцию к потеплению ядра ХПС. Значения минимумов составляют: 8.68 °С – в мае, 8.65 °С – в июле, 8.71 °С – в сентябре, т. е. воды с температурами ниже 8 °С (классическая граница ХПС) не наблюдаются. Повышение температуры ХПС после его обновления в 2017 г. происходит в соответствии с временной зависимостью: $\langle T_{\min} \rangle(t) = 7 + 1.75 (1 - \exp(-(t - 2017)/1.5))$.

Среднеквадратический профиль модуля скорости течения во все сезоны показывает ее убывание с глубиной. При этом до значения плотности 14.5 кг/м³ скорости течения изменяются слабо, а в диапазоне 14.5 ... 16.0 кг/м³ (глубины 40–100 м) наблюдается почти двукратное уменьшение модуля скорости течения, которое вызвано переходом части кинетической энергии в потенциальную.

В вертикальных профилях кинетической энергии хорошо прослеживается ее уменьшение в верхнем слое в летний период и ее возрастание в весенний и особенно в зимний периоды. Профили могут быть аппроксимированы линейными зависимостями, которые пересекают нулевое значение при плотности 16.75 кг/м³. Аналогичные результаты получены по данным экспедиционных

исследований 2016–2019 гг. Значения кинетической энергии в верхнем слое моря (при плотности 14 кг/м^3) в летние периоды не превышают 0.02 Дж/кг по данным всех измерений 2016–2021 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Firing E., Gordon R.* Deep ocean acoustic Doppler current profiling // Proceedings of the IEEE fourth working conference on current measurement. Clinton, MD, USA : IEEE, 1990. P. 192–201. doi:10.1109/CURM.1990.110905
2. *Visbeck M.* Deep velocity profiling using lowered acoustic Doppler current profilers: bottom track and inverse solutions // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2002. Vol. 19, iss. 5. P. 794–807. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0794:DVPULA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0794:DVPULA>2.0.CO;2)
3. Численное исследование сгонно-нагонных процессов и течений Азовского моря в период экстремальных ветров / А. Н. Морозов [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 1. С. 27–42. doi:10.22449/0233-7584-2017-1-27-42
4. *Морозов А. Н., Маньковская Е. В.* Сезонная изменчивость структуры течений в северной части Черного моря по данным натурных наблюдений 2016 г. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, № 1. С. 15–20. doi:10.7868/S2073667319010027
5. *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. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-5-16
6. *Морозов А. Н., Маньковская Е. В.* Современные исследования динамики вод в северо-западной части Черного моря по данным LADCP // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : Материалы Международной конференции. Москва : Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27, ч. 3. С. 5–15. doi:10.35595/2414-9179-2021-3-27-5-15
7. *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. doi:10.22449/0233-7584-2021-4-436-446
8. *Полонский А. Б., Шокурова И. Г., Белокопытов В. Н.* Десятилетняя изменчивость температуры и солёности в Черном море // Морской гидрофизический журнал. 2013. № 6. С. 27–41.
9. *Белокопытов В. Н.* Межгодовая изменчивость обновления вод холодного промежуточного слоя Черного моря в последние десятилетия // Морской гидрофизический журнал. 2010. № 5. С. 33–41.
10. Реакция термохалинных характеристик деятельного слоя Черного моря на зимнее выхолаживание / В. Б. Пиотух [и др.] // Океанология. 2011. Т. 51, № 2. С. 232–241.
11. 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. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0683-4>
12. *Новикова А. М., Полонский А. Б.* Междесятилетняя изменчивость температуры поверхности и холодного промежуточного слоя в Черном море // Системы контроля окружающей среды. Севастополь, 2018. Вып. 34. С. 110–115. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-110-115>

13. 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. <https://doi.org/10.1002/2016JC012644>
14. 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. <https://doi.org/10.1029/2019JC015076>
15. Морозов А. Н., Лемешко Е. М. Методические аспекты использования акустического доплеровского измерителя течений (ADCP) в Черном море // Морской гидрофизический журнал. 2006. № 4. С. 31–48. EDN YOFQNN.
16. Суворов А. М., Шокурова И. Г. Годовая и десятилетняя изменчивость доступной потенциальной энергии в Черном море // Морской гидрофизический журнал. 2004. № 2. С. 29–41. EDN VVFRZ.
17. Особенности течений у приглубого берега / С. Г. Богуславский [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 1991. № 5. С. 27–34.
18. Белокопытов В. Н., Саркисов А. А., Щуров С. В. Течения прибрежной зоны на участке Крымского полуострова от мыса Сарыч до поселка Качивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2003. Вып. 8. С. 64–68.
19. Кривошея В. Г., Москаленко Л. В., Титов В. Б. К вопросу о режиме течений на шельфе у северо-кавказского побережья Черного моря // Океанология. 2004. Т. 44, № 3. С. 358–363. EDN OWJTDR.
20. Овчинников И. М., Титов В. Б. Антициклоническая завихренность течений в прибрежной зоне Черного моря // Доклады Академии наук СССР. 1990. Т. 314, № 5. С. 1236–1239.
21. Титов В. Б. О роли вихрей в формировании режима течений на шельфе Черного моря и в экологии прибрежной зоны // Океанология. 1992. Т. 32, вып. 1. С. 39–48.
22. О влиянии изменчивости течения в глубоководной зоне Черного моря на динамику вод узкого северокавказского шельфа / А. Г. Зацепин [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 3. С. 16–25. EDN WNAFSL. [doi:10.22449/0233-7584-2016-3-16-25](https://doi.org/10.22449/0233-7584-2016-3-16-25)
23. Серебряный А. Н., Лаврова О. Ю. Антициклонический вихрь на шельфе северо-восточной части Черного моря: совместный анализ космических снимков и данных акустического зондирования толщи моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5, т. 2. С. 206–215. EDN LVLRAK.
24. Титов В. Б., Кривошея В. Г., Москаленко Л. В. Режим течений в российском секторе Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Отв. ред. А. Г. Зацепин, М. В. Флинт. Москва : Наука, 2002. С. 48–54.
25. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 212 с. EDN XPERZR.
26. Кузнецов А. С., Иващенко И. К. Особенности формирования вдольбереговой циркуляции вод прибрежного экотона у южного побережья Крыма // Морской гидрофизический журнал. 2023. Т. 39, № 2. С. 189–204. EDN GNXBSC. [doi:10.29039/0233-7584-2023-2-189-204](https://doi.org/10.29039/0233-7584-2023-2-189-204)

Поступила 16.06.2023 г.; одобрена после рецензирования 3.07.2023 г.; принята к публикации 11.10.2023 г.; опубликована 20.12.2023 г.

Об авторах:

Морозов Алексей Николаевич, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0001-9022-3379**, **Scopus Author ID: 7202104940**, **ResearcherID: ABB-4365-2020**, *anmorozov@mhi-ras.ru*

Маньковская Екатерина Викторовна, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4086-1687**, **Scopus Author ID: 57192647961**, **ResearcherID: AAB-5303-2019**, *emankovskaya@mhi-ras.ru*

Заявленный вклад авторов:

Морозов Алексей Николаевич – постановка проблемы, обработка, анализ и описание результатов исследования, коррекция текста статьи

Маньковская Екатерина Викторовна – обработка данных измерений, сбор информации для исследования, обсуждение результатов, подготовка текста статьи и графических материалов

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи