

## Пространственные характеристики холодного промежуточного слоя Черного моря летом 2017 года

А. Н. Морозов , Е. В. Маньковская

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

 [anmorozov@mhi-ras.ru](mailto:anmorozov@mhi-ras.ru)

Поступила в редакцию 25.12.2020 г., после доработки – 21.01.2021 г.

**Цель.** Целью работы является изучение пространственных характеристик холодного промежуточного слоя (ХПС) после обновления его вод вследствие холодной зимы на основе анализа натуральных данных, полученных в ходе экспедиции по Черному морю 14.06–03.07.2017 г. (95-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»).

**Методы и результаты.** В работе использованы данные *CTD*-измерений зондом *SBE911+* и измерений профилей скорости течения с помощью погружаемого акустического доплеровского профилометра течений (*LADCP*). Для получения осредненных характеристик вертикальной термохалинной структуры вод при обработке данных применялось изопикническое осреднение по ансамблям профилей. В период проведения измерений минимальная средняя температура ядра ХПС составляла 7,2°C при значении плотности 14,5 кг/м<sup>3</sup>. Верхняя граница слоя (по критерию 8°C) соответствовала плотности ~14,3 кг/м<sup>3</sup>, нижняя ~15,0 кг/м<sup>3</sup>. Обновление вод ХПС наиболее хорошо выражено в окрестности струи Основного Черноморского течения, что отчетливо прослеживается на изопикнических поверхностях 14,6 и 15,0 кг/м<sup>3</sup>. Основная масса ХПС по данным измерений идентифицируется в стрейне Основного Черноморского течения и в его правой части со стороны берега. Максимальная толщина ХПС составляет ~60 м, положение его ядра по вертикали соответствует диапазону глубин 40–100 м.

**Выводы.** Синхронные профили скорости течения, температуры, солености и плотности, полученные в ходе экспедиции по Черному морю летом 2017 г., позволили выполнить анализ термохалинной структуры вод с учетом реальной динамической ситуации. В результате определены параметры ХПС, его пространственные масштабы и положение относительно Основного Черноморского течения с учетом особенностей структуры поля плотности летом 2017 г. Эта информация может быть полезной для верификации моделей и проведения численных экспериментов с целью изучения механизмов и областей формирования ХПС в Черном море.

**Ключевые слова:** холодный промежуточный слой, Черное море, температура, граница ХПС, Основное Черноморское течение

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0555-2021-0003 «Оперативная океанология» и № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования». Выражаем глубокую признательность экипажу НИС «Профессор Водяницкий» и сотрудникам отдела экспедиционных исследований Морского гидрофизического института РАН, выполнившим измерения на высоком профессиональном уровне.

**Для цитирования:** 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

# Spatial Characteristics of the Black Sea Cold Intermediate Layer in Summer, 2017

A. N. Morozov , E. V. Mankovskaya

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

 anmorozov@mhi-ras.ru

**Purpose.** The aim of the paper is to study spatial characteristics of the cold intermediate layer (CIL) after its waters were renewed due to the cold winter, using analysis of the data obtained during the Black Sea expedition in June 14 – July 3, 2017 (the 95<sup>th</sup> cruise of R/V “Professor Vodyanitsky”).

**Methods and Results.** The data both from the CTD-measurements by the SBE911+ probe and the current velocity profile measurements by the Lowered Acoustic Doppler Current Profiler (LADCP) were used. Isopycnic averaging of the profile ensembles was applied to obtain the averaged characteristics of the water vertical thermohaline structure. During the measurement period, the minimum average temperature of the CIL core was 7.2°C at the density value 14.5 kg/m<sup>3</sup>. The layer upper boundary (according to the 8°C criterion) corresponded to the density value ~14.3 kg/m<sup>3</sup>, its lower one – to ~15.0 kg/m<sup>3</sup>. CIL water formation was most pronounced in the vicinity of the Rim Current, which was clearly seen on the isopycnic surfaces 14.6, and 15.0 kg/m<sup>3</sup>. According to the measurements, the main mass of CIL waters was identified in the Rim Current and in its right part (on the coast side). The CIL maximum thickness was ~60 m and the vertical position of its core corresponded to the 40–100 m depth.

**Conclusions.** The synchronous profiles of current velocity, temperature, salinity, and density obtained in the Black Sea expedition in summer, 2017 made it possible to analyze the waters thermohaline structure with the regard for real dynamic situation. As a result, the CIL parameters, its spatial scales and position relative to the Rim Current were determined with due regard for the features of the density field structure in summer, 2017. This information can be useful for model verification and numerical experiments aimed at studying the mechanisms and the areas of CIL formation in the Black Sea.

**Keywords:** cold intermediate layer, Black Sea, temperature, cold intermediate layer boundary, Rim Current

**Acknowledgments:** the work was carried out within the framework of the state task on themes No. 0555-2021-0003 “Operational Oceanology” and No. 0555-2021-0005 “Coastal Research”. We are very grateful to the crew of R/V “Professor Vodyanitsky” and to the staff of the Expeditionary Research department of Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, who were highly professional in performing the measurements.

**For citation:** Morozov, A.N. and Mankovskaya, E.V., 2021. Spatial Characteristics of the Black Sea Cold Intermediate Layer in Summer, 2017. *Physical Oceanography*, [e-journal] 28(4), pp. 404-413. doi:10.22449/1573-160X-2021-4-404-413

## Введение

В вертикальной термохалинной структуре Черного моря выделяется подповерхностная водная масса – холодный промежуточный слой (ХПС). Это слой с минимальной температурой воды, который находится между сезонным и постоянным пикноклином. Общепринятым критерием, определяющим границы ХПС, является изотерма 8°C [1]. Однако, начиная с 1992 г., отмечается значительное потепление ядра ХПС [2–6]. В работе [7] на основе данных профилирующих буев *Argo* показано, что содержание холодной воды в ХПС уменьшилось, его нижняя граница сместилась вверх, а сам слой стремится к исчезновению. Одной из причин этого являются климатические изменения температуры воздуха (ее повышение) в холодный период года, с чем непосредственно связано зимнее конвективно-турбулентное перемешивание и обволакивание вод ХПС.

Многие научные работы о ХПС в Черном море посвящены механизмам и особенностям его образования и эволюции [8–13], а также оценке вкладов различных областей моря в формирование этого слоя [14–17]. Натурные данные, собранные в экспедициях Морского гидрофизического института (МГИ) РАН по Черному морю за последние годы, представляют собой большие наборы гидрофизических параметров, необходимых для проведения таких исследований, в том числе для численного моделирования и реанализа.

В предыдущей работе [18] нами были рассмотрены осредненные характеристики ХПС, полученные в результате анализа материалов 12 экспедиций МГИ, выполненных в северном и северо-восточном районах Черного моря в 2016–2019 гг. Показано, что классическая граница ХПС (изотерма 8°C) наблюдается только в экспедициях 2017 г. По данным метеостанции г. Керчь (URL: <http://www.pogodaiklimat.ru>), зима 2016–2017 гг. была наиболее холодной и среднемесячная температура воздуха опускалась на 3–4°C ниже, чем в другие рассматриваемые годы. Вследствие холодной зимы произошло обновление вод ХПС, которое вызвало понижение температуры в его ядре на ~1°C (до 7,2°C). После 2017 г. наблюдаются умеренные зимы и повышение температуры в ядре ХПС происходит почти по экспоненциальному закону. Ежегодно нижняя граница слоя поднимается на ~10 м, если в качестве границы ХПС рассматривать изотерму 8,6°C.

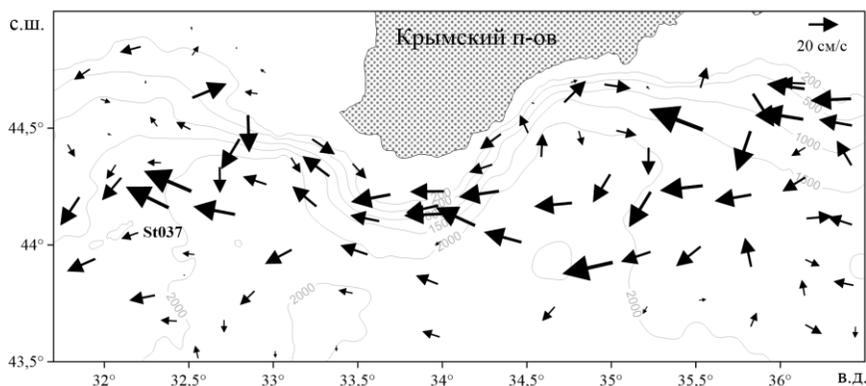
Цель настоящей работы – изучение пространственных характеристик ХПС после обновления его вод вследствие холодной зимы на основе анализа натуральных *LADCP/CTD*-данных, полученных в ходе экспедиции по Черному морю летом 2017 г.

### Материалы и методы

В период исследований сетка станций довольно равномерно охватывала северную часть Черного моря в районе 43,5–45° с. ш., 32–36,5° в. д. Для выполнения *CTD*-измерений использовался зонд *SBE911+*, измерение профилей скорости течения проводилось погружаемым акустическим доплеровским профилометром течений (*LADCP*) на основе *WHM300*. Датчик кислорода зонда *SBE911+* не был откалиброван, поэтому приводимые данные носят качественный характер. Расположение гидрологических станций экспедиции и построенных по данным измерений векторов скорости течения на глубине залегания изопикны со значением плотности 14,5 кг/м<sup>3</sup> приведено на рис. 1.

Синхронные измерения профилей горизонтальных компонент вектора скорости течения и гидрологических параметров позволяют исследовать характерные черты термохалинной структуры во взаимосвязи с динамикой вод.

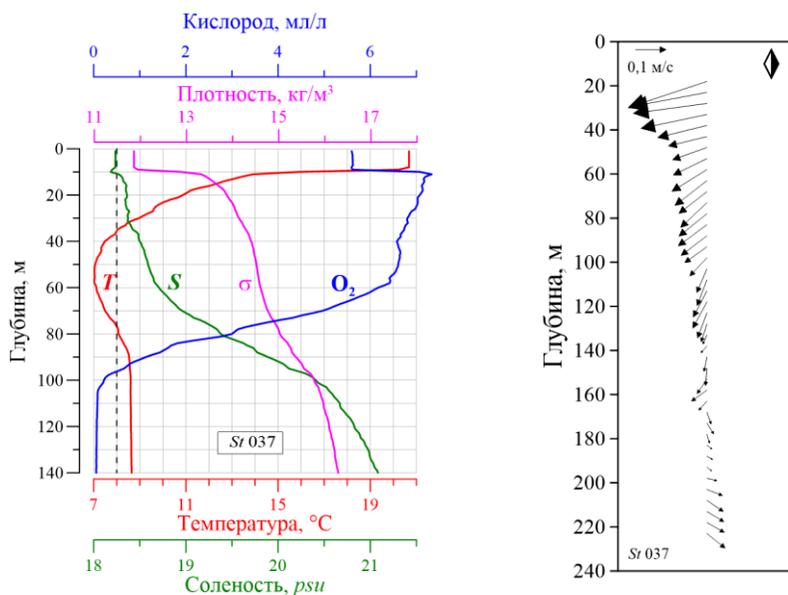
Для получения осредненных характеристик вертикальной термохалинной структуры вод при обработке данных применялось изопикническое осреднение по ансамблям профилей. Оно более информативно, чем осреднение по горизонтам, вследствие куполообразной формы изопикнических поверхностей в Черном море, обусловленной крупномасштабной циклонической циркуляцией [19].



**Р и с. 1.** Векторы скорости течения на глубине залегания изопикны  $\sigma = 14,5 \text{ кг/м}^3$  (95-й рейс НИС «Профессор Водяницкий», 14.06–03.07.2017 г.). Начало стрелки соответствует координатам станции  
**F i g. 1.** Current velocity vectors at the density depth  $\sigma = 14,5 \text{ кг/м}^3$  (the 95<sup>th</sup> cruise of R/V “Professor Vodyanitsky”, June 14 – July 3, 2017). The arrow origin corresponds to the station coordinates

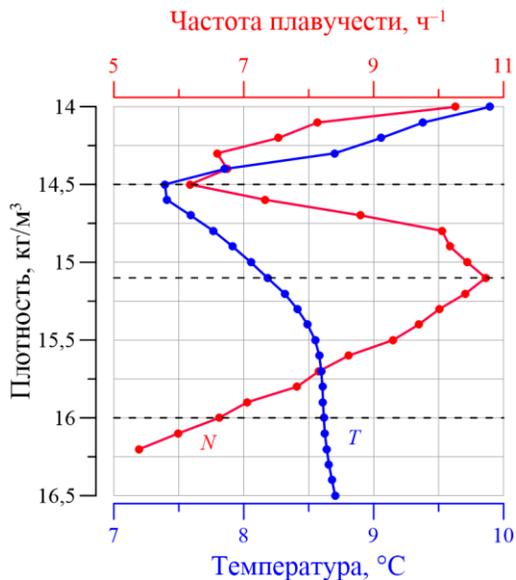
### Результаты измерений и их обсуждение

Пример профилей измеряемых параметров показан на рис. 2, на котором отражены основные черты вертикальной термохалинной структуры в период исследований. Штриховой вертикальной линией отмечена изотерма  $8^\circ\text{C}$ . Согласно данным измерений, сезонный пикно-/термоклин наблюдается на глубине 10 м, основной пикно-/халоклин – на глубине  $\sim 80$  м. Течение в верхнем 100-метровом слое (до основного пикноклина) имеет ярко выраженное западное направление, его скорость убывает с глубиной.



**Р и с. 2.** Профили температуры воды, солёности, плотности, концентрации растворенного кислорода и вектора скорости течения (стрелки), измеренные на ст. 37 (отмечена маркером St 037)  
**F i g. 2.** Profiles of water temperature, salinity, density, dissolved oxygen concentration and current velocity vector (arrows) measured at st. 37 (marked by St 037)

Анализ осредненных вертикальных зависимостей температуры и частоты плавучести от плотности (рис. 3) показывает, что минимум температуры (ядро ХПС) наблюдается при значении  $\sigma = 14,5 \text{ кг/м}^3$  и находится в окрестности локального минимума частоты плавучести (6 цикл/ч) между сезонным и основным пикноклином. Максимум частоты плавучести в основном пикноклине наблюдается при значении  $\sigma = 15,1 \text{ кг/м}^3$  и составляет  $\sim 11$  цикл/ч. Верхняя граница ХПС (по критерию  $8^\circ\text{C}$ ) соответствует плотности  $\sim 14,3 \text{ кг/м}^3$ , нижняя – плотности  $\sim 15,0 \text{ кг/м}^3$ .

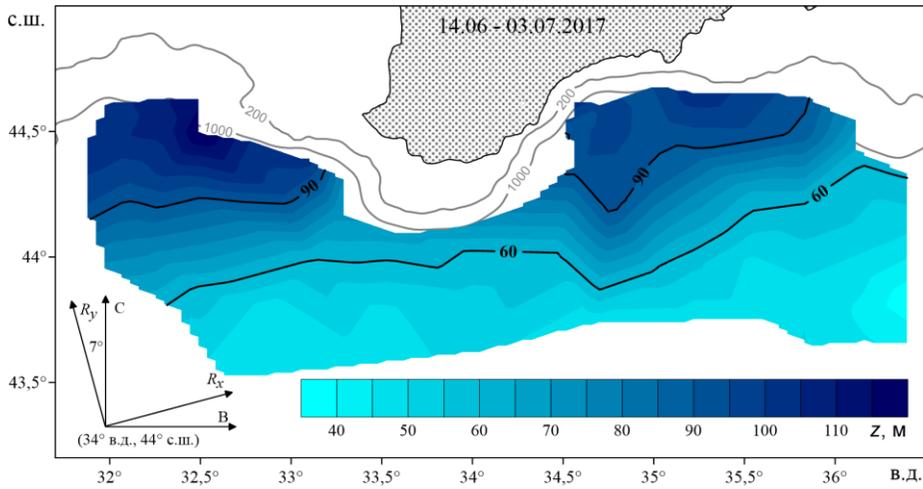


**Р и с. 3.** Изопикнически осредненные по всему ансамблю станций зависимости температуры воды и частоты плавучести от плотности

**F i g. 3.** Dependences of water temperature and buoyancy frequency (isopicnically averaged over all the stations) upon density

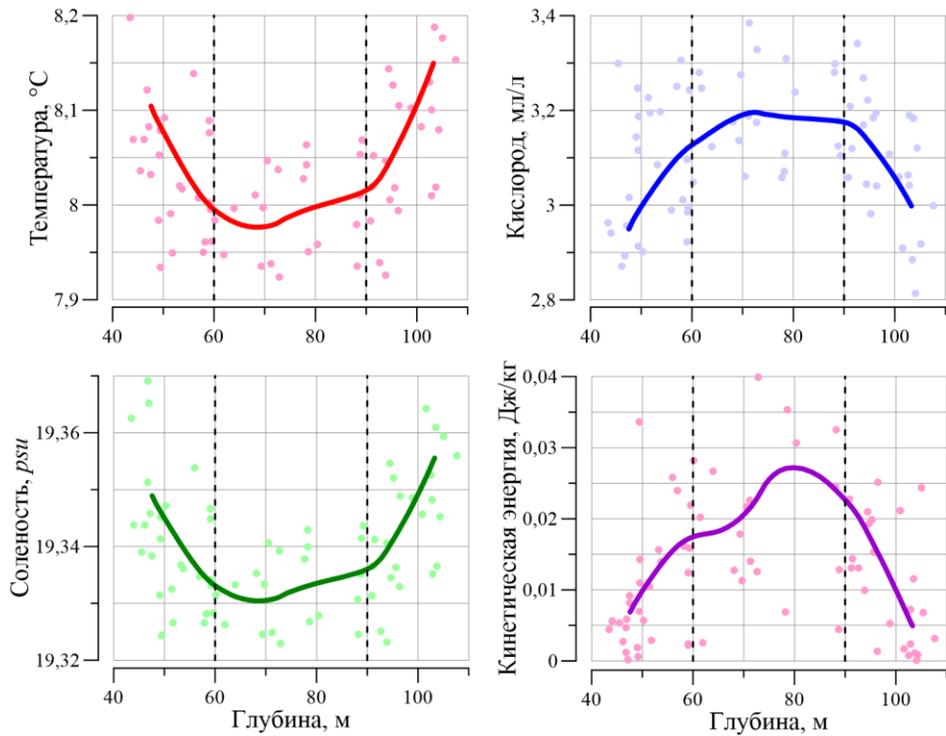
На рис. 4 приведено пространственное распределение глубины залегания изопикны  $\sigma = 15,0 \text{ кг/м}^3$ . Она постепенно уменьшается от  $\sim 100$  м в районе свала глубин до 40 м в центральной части моря. В диапазоне глубин 60–90 м отмечается заметное сгущение изолиний, свидетельствующее о наличии геострофического потока Основного Черноморского течения (ОЧТ).

С целью изучения пространственных характеристик ХПС были построены зависимости температуры, солёности, концентрации кислорода и кинетической энергии от глубины залегания изопикнических поверхностей для двух значений плотности:  $15,0 \text{ кг/м}^3$  (нижняя граница ХПС) и  $14,6 \text{ кг/м}^3$  (ядро ХПС) (рис. 5 и 6 соответственно). На указанных рисунках отражены исходные данные и данные, сглаженные низкочастотным фильтром оконного типа ( $\sim 7$  м).



**Р и с. 4.** Пространственное распределение глубины залегания изопикны  $\sigma = 15,0 \text{ кг/м}^3$  в глубоководной зоне моря по данным экспедиции

**F i g. 4.** Spatial distribution of the density depth  $\sigma = 15,0 \text{ кг/м}^3$  in the deep sea area based on the expedition data

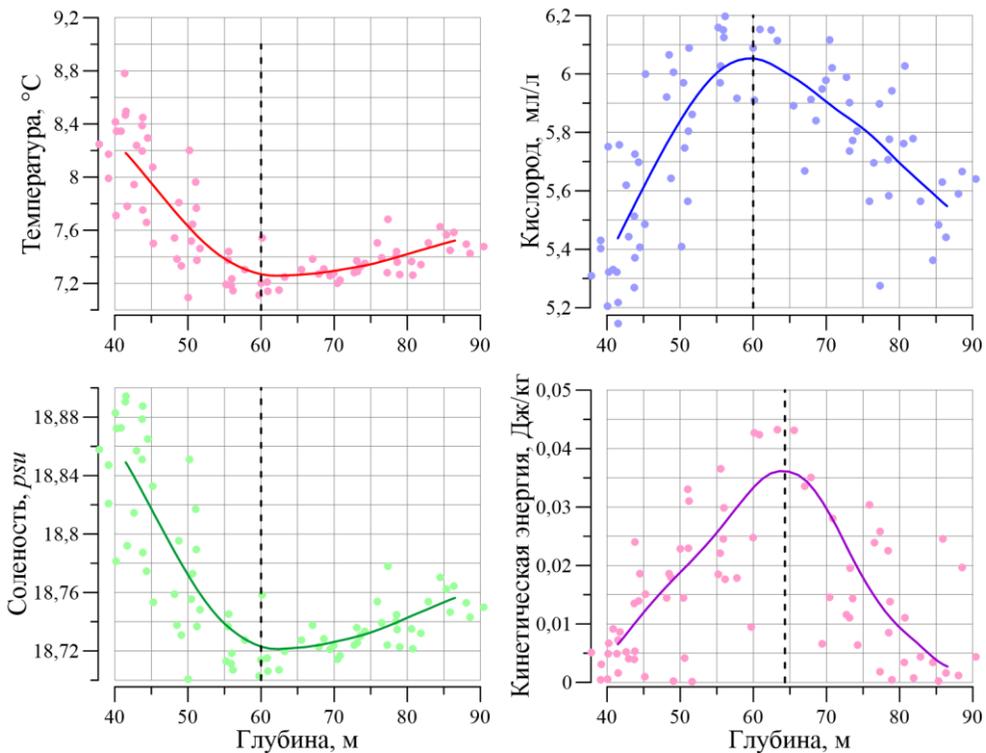


**Р и с. 5.** Изменчивость параметров в зависимости от глубины залегания изопикны  $\sigma = 15,0 \text{ кг/м}^3$  (горизонтальная шкала). Точки – исходные данные, линии – данные, сглаженные низкочастотным фильтром

**F i g. 5.** Variability of the parameters depending on the density depth  $\sigma = 15,0 \text{ кг/м}^3$  (horizontal scale). Points are the initial data, lines are the data smoothed by a low-pass filter

Анализ рис. 5 показывает, что в диапазоне глубин 60–90 м на изопикнической поверхности хорошо выражены области пониженных значений температуры (менее 8°C) и солености (менее 19,33 *psu*) и повышенных значений концентрации кислорода (более 3,15 у. е.). Увеличение значений кинетической энергии в этом же диапазоне глубин соответствует области ОЧТ (средняя скорость ~20 см/с). Значительное отклонение исходных данных кинетической энергии от средних значений (сиреневая линия) объясняется географическими процессами (в частности, инерционными колебаниями). Результаты, приведенные на рис. 5, показывают, что на изопикнической поверхности  $\sigma = 15,0 \text{ кг/м}^3$  зимнее обновление вод ХПС наиболее хорошо выражено в окрестности струи ОЧТ.

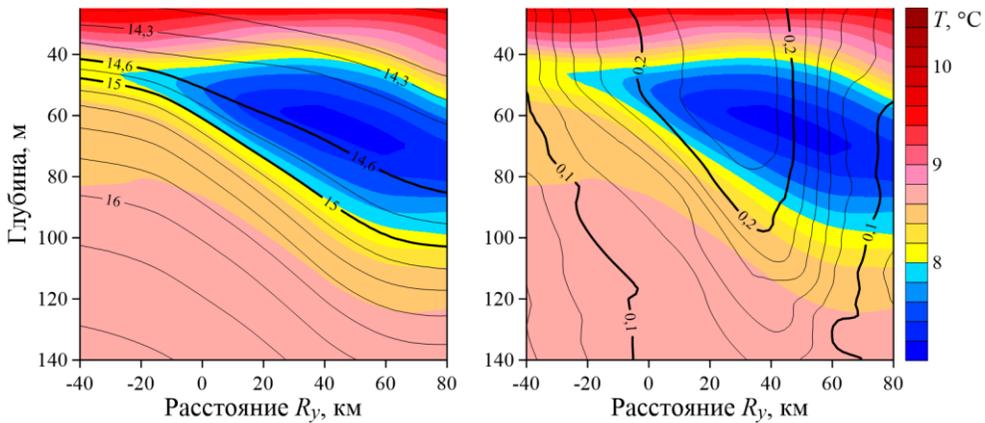
Ярко выраженные экстремумы этих же величин наблюдаются на 60-метровой глубине изопикнической поверхности  $\sigma = 14,6 \text{ кг/м}^3$  (рис. 6). Здесь располагается минимум температуры вод ХПС (7,2°C), минимум солености (~18,72 *psu*), максимум концентрации кислорода (6,05 у. е.). Максимум кинетической энергии (скорость 27 см/с) наблюдается на глубине 64 м. Приведенные результаты показывают, что на изопикнической поверхности  $\sigma = 14,6 \text{ кг/м}^3$  обновление вод ХПС также наиболее отчетливо прослеживается в окрестности струи ОЧТ.



**Р и с. 6.** То же, что на рис. 5, для изопикнической поверхности  $\sigma = 14,6 \text{ кг/м}^3$

**F i g. 6.** The same as in Fig. 5, for density  $\sigma = 14.6 \text{ kg/m}^3$

Для получения осредненных пространственных характеристик ХПС была введена прямоугольная система координат с началом в точке  $44^\circ$  с. ш.,  $34^\circ$  в. д., развернутая относительно географической на  $7^\circ$  против часовой стрелки. За расстояние по горизонтали принималось значение  $R_y$  (разъяснение см. на рис. 4, слева внизу). Угол поворота определялся как среднее отклонение линии от  $44^\circ$  с. ш. при глубине залегания 60 м (рис. 4) изопикны  $\sigma = 15,0$  кг/м<sup>3</sup>. Для построения пространственного разреза проводилась низкочастотная фильтрация (аналогично рис. 5, 6) с последующей интерполяцией (линейная триангуляция) на регулярную сетку. Результаты приведены на рис. 7.



**Р и с. 7.** Двумерное распределение плотности (слева, черные линии) и модуля скорости течения (справа, черные линии) на фоне распределения температуры воды (цветовая шкала)

**F i g. 7.** Two-dimensional distribution of density (on the left, black lines) and current velocity modulus (on the right, black lines) against the background of water temperature distribution (color scale)

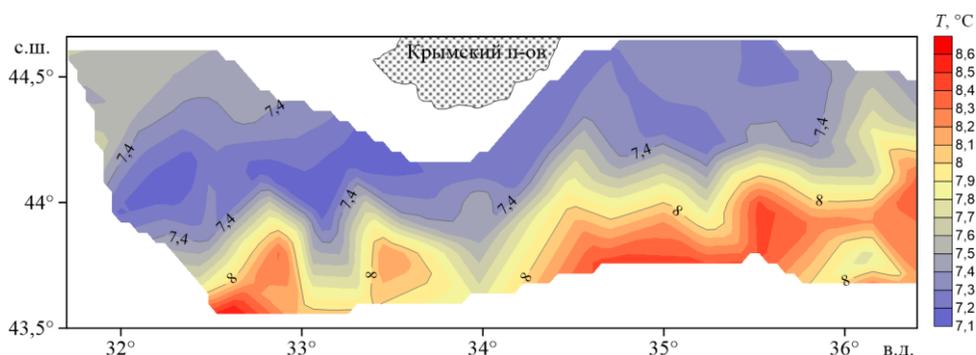
На рис. 7 показано также распределение вод ХПС по глубине и в пространстве в июне – июле 2017 г., т. е. через  $\sim 4$  мес после их обновления в результате атмосферного воздействия и зимнего выхолаживания температуры поверхности моря. Под влиянием общего циклонического характера циркуляции черноморских вод ХПС перераспределяется между центром и прибрежной зоной моря. В результате минимальная температура ХПС наблюдается на периферии моря [2] и по мере приближения к берегу толщина слоя возрастает по сравнению с глубоководной областью [3].

Изолинии скорости (черные линии на рис. 7, справа) и их пространственное распределение отражают положение ОЧТ. Основная масса ХПС по данным измерений идентифицируется в стрежне ОЧТ и в его правой части со стороны берега. Изолинии плотности 15,0 и 14,3 кг/м<sup>3</sup> ограничивают слой холодных вод по изотерме  $8^\circ\text{C}$  (рис. 7, слева). Максимальная толщина ХПС составляет  $\sim 60$  м, положение ХПС по вертикали соответствует диапазону глубин 40–100 м.

В работе [15] рассмотрено образование ХПС в 2017 г. по данным измерений зондом-профилографом «Аквалог» в шельфово-склоновой области северо-восточной части Черного моря (район г. Геленджик). Процесс формирования ХПС происходил в начале марта, минимум температуры в слое, равный

6,9°C, наблюдался в конце марта, средняя толщина слоя до середины июля практически не изменялась и составляла 70 м. Характеристики ХПС по данным зонда-профилографа хорошо согласуются с осредненными характеристиками слоя, полученными нами по материалам летней экспедиции 2017 г.

Согласно рис. 7, ядро ХПС наблюдается на изопикнической поверхности ~14,6 кг/м<sup>3</sup>. На рис. 8 показано горизонтальное распределение температуры воды в ядре ХПС на глубине залегания данной изопикны. Хорошо выражено перераспределение вод ХПС между центром и прибрежной зоной моря, а также наличие фронтальной зоны (сгущение изолиний) между изотермами 7,4 и 8,0°C.



**Р и с. 8.** Распределение температуры воды на глубине залегания изопикны  $\sigma = 14,6 \text{ кг/м}^3$   
**Fig. 8.** Distribution of water temperature at the density depth  $\sigma = 14.6 \text{ kg/m}^3$

### Заклучение

Натурные данные, полученные в ходе экспедиции по Черному морю 14.06–03.07.2017 г., позволили оценить параметры ХПС и его пространственное положение после обновления вод слоя вследствие относительно холодной зимы 2017 г. Одновременное измерение профилей скорости течения и гидрологических параметров позволило выполнить анализ термохалинной структуры вод с учетом реальной динамической ситуации.

В период проведения измерений минимальная средняя температура ядра ХПС составляла 7,2°C при значении плотности 14,5 кг/м<sup>3</sup>. Верхняя граница слоя (по критерию 8°C) соответствовала плотности ~14,3 кг/м<sup>3</sup>, нижняя – плотности ~15,0 кг/м<sup>3</sup>. Обновление вод ХПС хорошо выражено в окрестности струи ОЧТ, что отчетливо прослеживается на изопикнических поверхностях 14,6 и 15,0 кг/м<sup>3</sup>. Основная масса ХПС располагается, по данным измерений, в стрежне ОЧТ и в его правой части со стороны берега. Максимальная толщина ХПС составляет ~60 м, его ядро по вертикали находится на глубине 40–100 м.

Осредненные характеристики ХПС, полученные нами по материалам летней экспедиции 2017 г., хорошо согласуются с полученными в том же году в районе г. Геленджик параметрами этого слоя по данным зонда-профилографа «Аквалог».

Пространственные характеристики ХПС, представленные в работе, могут быть полезными для верификации моделей и численного моделирования с целью изучения механизмов и областей формирования холодного слоя в Черном море.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / А. С. Блатов [и др.]. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 240 с. URL: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-417200757.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-417200757.pdf) (дата обращения: 03.06.2021).
2. *Белокопытов В. Н.* Межгодовая изменчивость обновления вод холодного промежуточного слоя Черного моря в последние десятилетия // *Морской гидрофизический журнал*. 2010. № 5. С. 33–41.
3. Реакция термохалинных характеристик деятельного слоя Черного моря на зимнее выхолаживание / В. Б. Пиотух [и др.] // *Океанология*. 2011. Т. 51, № 2. С. 232–241.
4. 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. P. 315–324. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0683-4>
5. *Новикова А. М., Полонский А. Б.* Междесятилетняя изменчивость температуры поверхности и холодного промежуточного слоя в Черном море // *Системы контроля окружающей среды*. 2018. № 14 (34). С. 110–115. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-14-110-115>
6. Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variations / S. Miladinova [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2017. Vol. 122, iss. 7. 5624–5644. <https://doi.org/10.1002/2016JC012644>
7. *Stanev E. V., Peneva E., Chirkova 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>
8. *Демьяшев С. Г., Коротаев Г. К., Кныш В. В.* Эволюция холодного промежуточного слоя Черного моря по результатам ассимиляции климатических данных в модели // *Морской гидрофизический журнал*. 2002. № 4. С. 3–19.
9. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* Океанография Черного моря. Севастополь, 2011. 212 с. URL: [https://www.researchgate.net/publication/329587328\\_OKEANOGRAFIA\\_CERNOGO\\_MORA](https://www.researchgate.net/publication/329587328_OKEANOGRAFIA_CERNOGO_MORA) (дата обращения: 03.06.2021).
10. Formation and changes of the Black Sea cold intermediate layer / S. Miladinova [et al.] // *Progress in Oceanography*. 2018. Vol. 167. P. 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.pocan.2018.07.002>
11. *Овчинников И. М., Попов Ю. И.* Формирование холодного промежуточного слоя в Черном море // *Океанология*. 1987. Т. XXVII, вып. 5. С. 739–746.
12. *Коротаев Г. К., Кныш В. В., Кубряков А. И.* Исследование процессов формирования холодного промежуточного слоя по результатам реанализа гидрофизических полей Черного моря за 1971–1993 гг. // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2014. Т. 50, № 1. С. 41–56. doi:10.7868/S0002351513060102
13. *Oguz T., Besiktepe S.* Observations on the Rim Current structure, CIW formation and transport in the western Black Sea // *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 1999. Vol. 46, iss. 10. P. 1733–1753. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(99\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00028-X)
14. *Титов В. Б.* Зоны формирования и объемы вод холодного промежуточного слоя в Черном море с учетом суровости зим // *Метеорология и гидрология*. 2006. № 6. С. 62–68.
15. *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. Т. 47, № 3. С. 58–71. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47\(3\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(3).5)

16. Control of Black Sea intermediate water mass formation by dynamics and topography: Comparison of numerical simulations, surveys and satellite data / E. V. Stanev [et al.] // *Journal of Marine Research*. 2003. Vol. 61, iss. 1. P. 59–99. <https://doi.org/10.1357/002224003321586417>
17. *Дорофеев В. Л., Сухих Л. И.* Анализ изменчивости гидрофизических полей Черного моря в период 1993–2012 годов на основе результатов выполненного реанализа // *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 1. С. 33–48.
18. *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
19. *Суворов А. М., Шокурова И. Г.* Годовая и десятилетняя изменчивость доступной потенциальной энергии в Черном море // *Морской гидрофизический журнал*. 2004. № 2. С. 29–41.

*Об авторах:*

**Морозов Алексей Николаевич**, старший 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**, [anmorozov@mhi-ras.ru](mailto:anmorozov@mhi-ras.ru)

**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**, [emankovskaya@mhi-ras.ru](mailto:emankovskaya@mhi-ras.ru)