

Циркуляция вод в северной части Черного моря летом – зимой 2018 года

Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева*, А. В. Федирко,
С. А. Шутов, Д. В. Дерюшкин, Р. О. Шаповалов,
Ю. И. Шаповалов, С. В. Щербаченко

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: sea-ant@yandex.ru*

Поступила: 16.01.2020 г.; принята к публикации 21.02.2020 г.; опубликована 25.03.2020 г.

По данным инструментальных измерений течений и гидрологических съемок, выполненных в ходе трех экспедиций на НИС «Профессор Водяницкий» в течение 2018 г., проанализированы особенности проявления синоптических вихрей в термохалинных полях в различные сезоны. Показано, что меандрирование Основного Черноморского течения ослабевало с лета к концу осени – началу зимы. Максимальное количество вихрей наблюдалось летом, минимальное – в осенне-зимний период. Большинство антициклонических круговоротов в термохалинных полях более четко выявлялись на глубинах ниже ядра холодного промежуточного слоя по пониженным значениям температуры и солёности. В зонах антициклонов наблюдалось заглубление ядра холодного промежуточного слоя и верхней границы сероводородной зоны. В зонах большинства циклонических круговоротов в термохалинных полях отмечались понижение температуры выше холодного промежуточного слоя и ее повышение ниже этого слоя, увеличение солёности во всем слое инструментальных измерений течений, а также подъем ядра холодного промежуточного слоя и верхней границы сероводородной зоны ближе к поверхности. Положение областей вод с экстремальными значениями термохалинных характеристик, обусловленных циркуляцией вод, как правило, было смещено относительно положений вихревых образований, выявленных в результате инструментальных измерений течений. Это отражает разное время реакции динамической и термохалинной структуры вод на изменение синоптических атмосферных процессов.

Ключевые слова: Основное Черноморское течение, динамическая топография, геострофические потоки, инструментально измеренные течения, вихревые образования, термохалинные поля, холодный промежуточный слой, верхняя граница сероводородной зоны.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования».

© Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Федирко А. В., Шутов С. А.,
Дерюшкин Д. В., Шаповалов Р. О., Шаповалов Ю. И., Щербаченко С. В., 2020



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

Для цитирования: Циркуляция вод в северной части черного моря летом – зимой 2018 года / Ю. В. Артамонов [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 1. С. 69–90. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-69-90

Waters Circulation in the Northern Part of the Black Sea in Summer – Winter of 2018

**Yu. V. Artamonov, E. A. Skripaleva*, A. V. Fedirko,
S. A. Shutov, D. V. Derjushkin, R. O. Shapovalov,
Yu. I. Shapovalov, S. V. Shcherbachenko**

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: sea-ant@yandex.ru*

Submitted 16.01.2020; revised 21.02.2020; published 25.03.2020

According to instrumental measurements of currents and hydrological surveys carried out during three expeditions on the R/V *Professor Vodyanitsky* in 2018, the features of the manifestation of synoptic eddies in thermohaline fields in different seasons are analyzed. It was shown that the Rim Current meandering weakened from summer to late autumn – early winter. The maximum number of eddies was observed in summer, the minimum – in the autumn-winter period. Most of the anticyclonic eddies in thermohaline fields were more clearly manifested at depths below the core of cold intermediate layer by decrease of temperature and salinity values. In the anticyclone zones, a deepening of the cold intermediate layer core and the upper boundary of the hydrogen sulfide zone was observed. Most cyclonic eddies were manifested in thermohaline fields by temperature decreasing (increasing) above (below) the cold intermediate layer and increasing salinity in the entire layer of instrumental measurement of currents as well as by raising the cold intermediate layer core and the upper boundary of the hydrogen sulfide zone closer to the surface. The location of water regions with extreme values of thermohaline characteristics due to water circulation was, as a rule, displaced relative to the location of eddy formations, identified as a result of currents instrumental measurements, which reflects different reaction times of the dynamic and thermohaline water structure to a change in synoptic atmospheric processes.

Keywords: Rim current, dynamic topography, geostrophic currents, instrumentally measured currents, eddy formations, thermohaline fields, cold intermediate layer, upper boundary of the hydrogen sulfide zone.

Acknowledgements: the work is performed under State Order No. 0827-2019-0003 “Fundamental studies of oceanological processes that determine the state and evolution of the marine environment under the influence of natural and anthropogenic factors, based on methods of observation and modeling”.

For citation: Artamonov, Yu.V., Skripaleva, E.A., Fedirko, A.V., Shutov, S.A., Derjushkin, D.V., Shapovalov, R.O., Shapovalov, Yu. I. and Shcherbachenko, S.V., 2020. Waters Circulation in the Northern Part of the Black Sea in Summer – Winter of 2018. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 69–90. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-69-90 (in Russian).

Введение. Начиная с 2010 г. в ходе экспедиций на НИС «Профессор Водяницкий» активно проводится мониторинг состояния гидрологических полей в северной части Черного моря. За этот период было проведено более

15 съемок, материалы которых позволили выявить ряд особенностей сезонной и синоптической изменчивости динамики вод [1–8]. Было показано, что синоптическая изменчивость проявляется в изменении, от съемки к съемке, положения и количества антициклонических и циклонических вихрей, формирующихся у берегов Черного моря в зоне Основного Черноморского течения (ОЧТ). Вихревые образования играют важную роль в водообмене между глубоководной частью моря и прибрежным шельфом, поэтому их исследованию уделяется большое внимание [9–13]. В последние годы появилось большое количество работ, основанных на обработке данных инструментальных измерений течений и дистанционного зондирования поверхности моря [14–20] и результатах математического моделирования [21–23]. В этих работах показано, что синоптические вихри характеризуются высокой пространственно-временной изменчивостью и влияют на термохалинную структуру вод Черного моря.

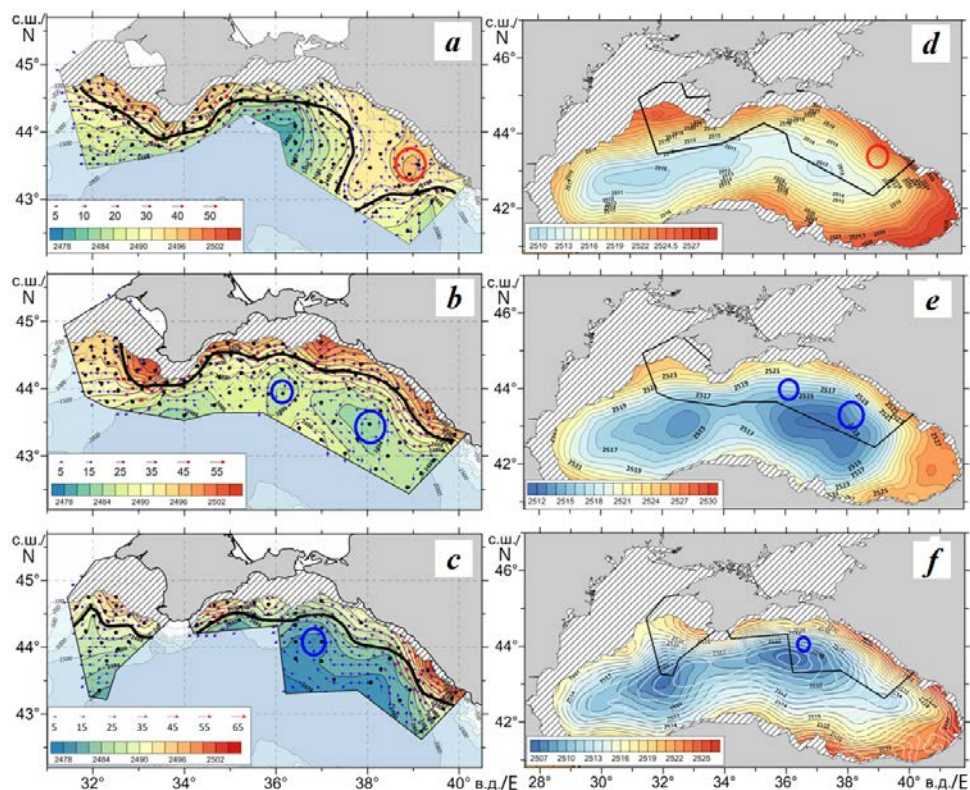
Материалы экспедиционных измерений на НИС «Профессор Водяницкий» позволили уточнить некоторые особенности проявления синоптических круговоротов в фактических термохалинных полях и на глубинах залегания различных изоповерхностей. Так, данные съемок в октябре и ноябре – декабре 2016 г. (89-й и 91-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий») показали, что ядро холодного промежуточного слоя (ХПС) в период второй съемки поднялось ближе к поверхности в результате появления на месте Севастопольского антициклона (СА) циклонического меандра ОЧТ [4]. Съемки, выполненные весной и летом 2017 г. (94-й и 95-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий»), показали, что летом в юго-западной части полигона съемки, вследствие появления циклонического круговорота и смещения основной струи ОЧТ (или южной периферии СА) на север, ядро ХПС поднялось ближе к поверхности на 10–20 м по сравнению с весной. Заметное увеличение глубины залегания ядра ХПС отмечалось на прибрежной (на 15–20 м) и мористой (на 5–10 м) периферии Крымского антициклона, который сместился к западу по сравнению с его положением весной. Заглубление ядра ХПС на 10–20 м наблюдалось на траверзе Феодосийского залива, где летом был выявлен антициклонический меандр [7]. По данным съемок в осенне-зимний период 2017 г. (98-й и 101-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий»), в декабре вместо замкнутого СА, который четко прослеживался в ноябре, наблюдался антициклонический меандр, восточная граница которого была смещена к западу почти на 50 км по сравнению с восточной периферией СА. В результате в этом районе нижняя граница верхнего квазигомогенного слоя, максимум вертикальных градиентов температуры и ядро ХПС поднялись ближе к поверхности на 10–20 м. В юго-западной части полигона, где в ноябре наблюдался циклонический меандр, а в декабре – конвергенция потока южного направления и основной ветви ОЧТ, ядро ХПС заглубилось почти на 30 м [8]. В целом анализ данных экспедиционных измерений еще раз показал важную роль синоптических вихрей в изменчивости термохалинной структуры вод.

Мониторинг состояния гидрологических полей в северной части Черного моря был продолжен в течение 2018 г. в ходе 102, 103 и 105-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Комплексный анализ новых гидрологических данных и инструментально измеренных течений позволит расширить

наши представления о связи термохалинных и кинематических полей, тем более что, в отличие от предшествующих экспедиций, район работ был существенно расширен. Кроме традиционных участков, прилегающих к берегам Крыма, он охватывал значительную акваторию, прилегающую к берегам Кавказа. Это позволило проанализировать особенности проявления синоптических вихрей в термохалинных полях в различные сезоны 2018 г. практически вдоль всей экономической зоны России. Результаты этого анализа представлены в настоящей работе.

Материалы и методика. Гидрологические измерения проводились с 9 по 30 июня (102-й рейс), с 28 августа по 20 сентября (103-й рейс) и с 18 ноября по 10 декабря (105-й рейс) 2018 г. соответственно на 137, 155 и 114 дрейфовых станциях. Положение станций показано черными точками на рис. 1, *a – c*. На каждой станции измерялись температура и соленость морской воды до глубины 1000 м с помощью CTD-комплекса *SBE 911plus*, скорость и направление течений в верхнем 150-метровом слое – с помощью акустического измерителя *ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)*. По гидрологическим данным для каждой съемки рассчитывались динамическая топография относительно горизонта 300 дбар и геострофические скорости. Для оценки климатического фона анализировалась среднемесячная динамическая топография по данным гидрологической базы океанографических данных (БОД) МГИ [24].

Основные результаты. Геострофическая циркуляция. Карты динамической топографии и распределения векторов геострофических течений по данным всех съемок показывают преобладание потоков западного направления, соответствующих ОЧТ. Оно заметно меандрировало, иногда формируя замкнутые круговороты. Отметим, что геострофические расчеты проводились относительно отсчетной поверхности 300 дбар, поэтому у антициклонических вихрей, расположенных над прибрежным шельфом и свалом глубин, фиксировалась только мористая часть. Количество меандров и круговоротов (антициклонических справа от стрежня ОЧТ и циклонических слева) существенно изменялось от съемки к съемке (рис. 1, *a – c*). По результатам геострофических расчетов, в период июньской съемки в центральной части полигона прослеживался интенсивный полузамкнутый циклонический меандр, а в восточной части – крупномасштабный антициклонический меандр, на востоке которого отмечался замкнутый круговорот (рис. 1, *a*). В начале осени в восточной части полигона вместо антициклона прослеживался циклонический круговорот, в центральной части наблюдался еще один замкнутый циклонический круговорот, к югу от Таманского п-ова и у берегов Кавказа хорошо прослеживались антициклонические меандры (рис. 1, *b*). В конце осени – начале зимы наблюдался один замкнутый циклонический круговорот примерно на долготе Таманского п-ова, на востоке съемки у берегов Кавказа отмечался антициклонический меандр (рис. 1, *c*). Во время всех съемок в юго-западной части полигонов наблюдался циклонический изгиб изодинам. Это, вероятнее всего, проявление северной периферии крупномасштабного Западного циклонического круговорота (ЗЦК) Черного моря. К юго-западу от Гераклеийского п-ова и между м. Ай-Тодор и м. Меганом над свалом



Р и с . 1. Динамическая топография (3/300) (дин. см) и векторы геострофических течений (см/с) на горизонте 3 м по данным 102 (а), 103 (b), 105-го (с) рейсов НИС «Профессор Водяницкий» и динамическая топография (3/300) по климатическим данным массива БОД МГИ в июне (d), сентябре (e), ноябре – декабре (ноябрьские изодинамы показаны белым пунктиром) (f). Здесь и далее на рисунках черной линией изображено схематичное положение стрежня основной ветви ОЧТ, синими эллипсами – циклонические вихри и меандры, красными – антициклонические

Fig . 1. Dynamic topography (3/300) (dynamic centimetres) and geostrophic current vectors (cm/s) at 3 m horizon, according to the data obtained in R/V *Professor Vodnyanitsky* 102nd (a), 103^d (b) and 105th (c) cruises, and dynamic topography (3/300), according to the climate array data of the MHI Oceanographic Data Bank, in June (d), September (e), November – December (November isodynams: white dashed line) (f). In this figure and henceforward the black line stands for midstream position outline of the Rim Current, blue ellipses stand for cyclonic eddies and meanders, red ellipses – for anticyclonic ones

глубин наблюдались антициклонические меандры, характеризующие мористую периферию Севастопольского и Крымского [17, 18] антициклонов (рис. 1, a – c).

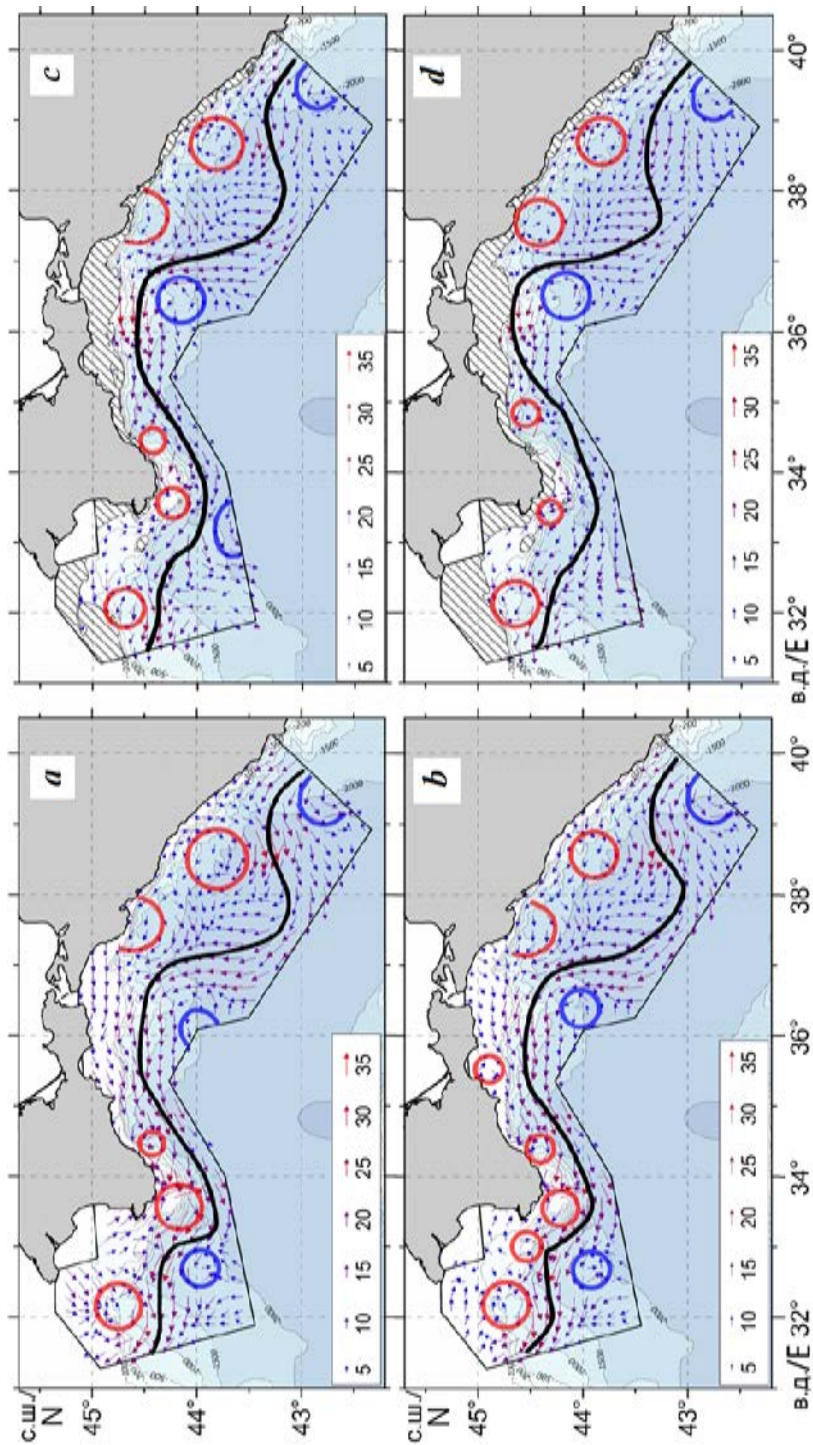
Анализ карт климатической среднемесячной динамической топографии с нанесенными на них по данным съемок границами полигонов исследований и фактическими круговоротами позволил сопоставить их положение с элементами климатической циркуляции вод. Отметим, что на западе каждого района съемки измерениями была охвачена только северная периферия

климатического ЦЦК, в то время как на востоке они захватывали почти всю северную или северо-восточную половину Восточного циклонического круговорота (ВЦК) (рис. 1, *d–f*). Полузамкнутый циклонический меандр, который наблюдался у южной границы в центральной части полигона по данным летней съемки, можно интерпретировать как проявление восточной периферии ВЦК (рис. 1, *a*). Согласно климатическим данным, в июне ВЦК располагался значительно юго-восточнее (рис. 1, *d*). Смещение восточной периферии фактического ВЦК на северо-запад можно объяснить формированием у берегов Кавказа крупномасштабного антициклонического круговорота, который по климатическим данным не прослеживается. Два циклонических круговорота, которые были выявлены по данным осенней съемки в центральной и восточной частях полигона, располагались северо-западной и северо-восточной климатического положения ВЦК в сентябре (рис. 1, *b, e*). Циклонический круговорот, выявленный в период осенне-зимней съемки, был заметно смещен к северо-востоку относительно положения климатического центра ВЦК для ноября и декабря (рис. 1, *c, f*). Мористая периферия Севастопольского антициклона в периоды летней и осенней съемок проявлялась заметно восточнее, а в период осенне-зимней съемки западнее, чем по климатическим данным (рис. 1). Такие различия между фактической и климатической геострофической циркуляцией обусловлены синоптической и межгодовой изменчивостью динамики вод.

Течения по данным инструментальных измерений. По инструментальным данным, как и по геострофическим расчетам, в пределах полигона съемок также преобладали потоки западного направления, соответствующие ОЧТ. В отличие от геострофических расчетов, проведенные инструментальные измерения позволили уточнить вихревую структуру, особенно в прибрежных мелководных районах. В период летней съемки (102-й рейс) на западе полигона над свалом глубин между изобатами 100–1000 м был зафиксирован СА (рис. 2). Наибольшие скорости наблюдались на его южной периферии и достигали в верхнем 25-метровом слое 40 см/с, на больших глубинах они уменьшались до 25–30 см/с.

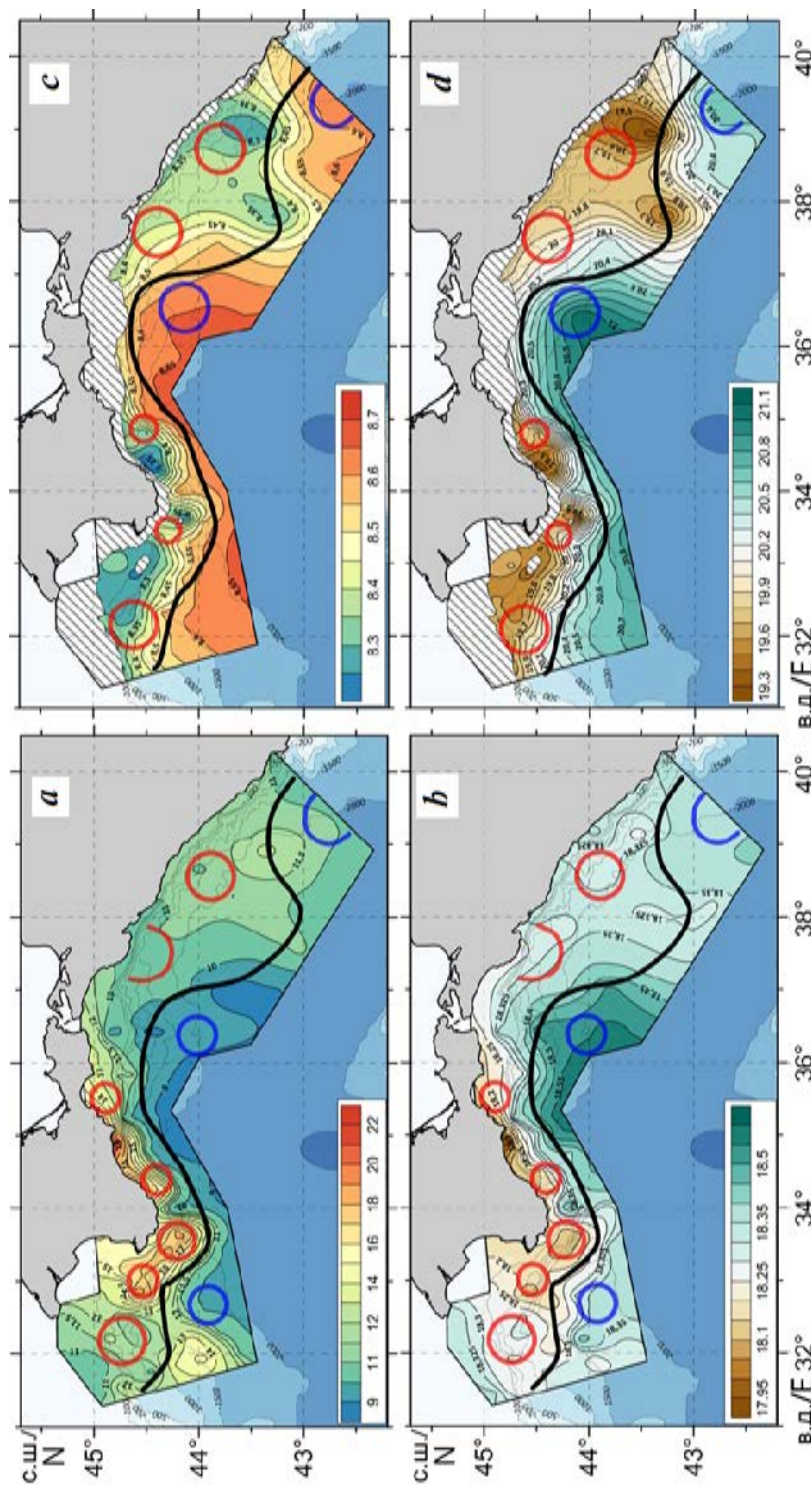
Несмотря на то что СА хорошо прослеживался во всем 150-метровом слое измерений, в термохалинных полях его признаки проявлялись слабо. Горизонтальные распределения температуры в верхнем (горизонт 25 м) и подповерхностном (горизонт 100 м) слоях показали, что в зоне СА наблюдались относительно холодные воды, основная масса которых располагалась севернее и северо-восточнее СА (рис. 3, *a, c*). В поле солёности на горизонте 25 м явных признаков СА не прослеживалось (рис. 3, *b*). Судя по распределению солёности на горизонте 100 м, в область СА проникали относительно распресненные воды в виде языка с северо-востока (рис. 3, *d*). Анализ вертикальной структуры вод показал, что в области СА наблюдалось заглупление ядра ХПС (до 70–80 м) и верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16.2 усл. ед. (до 160–170 м).

Восточнее СА на шельфе примерно на траверзе м. Сарыч был выявлен интенсивный антициклонический круговорот – Сарычский антициклон (СарА). Он наиболее четко прослеживался в верхнем 75-метровом слое (см. рис. 2, *a–c*), глубже 75 м СарА заметно ослабевал и смещался к западу (см. рис. 2, *d*).



Р и с . 2. Векторы инструментально измеренных течений на горизонтах 10 м (*a*), 25 м (*b*), 75 м (*c*) и 100 м (*d*) по данным 102-го рейса

Fig. 2. Vectors of the instrumentally measured currents at 10 m (*a*), 25 m (*b*), 75 m (*c*), 100 m (*d*) horizons, according to the data obtained in the 102nd cruise



Р и с . 3. Распределение температуры (а, с) и солёности (b, d) на горизонтах 25 (а, b), 100 м (с, d) по данным 102-го рейса и положение основных вихрей и меандров на соответствующих глубинах

Fig . 3. Temperature (a, c) and salinity (b, d) distribution at 25 m (a, b), 100 m (c, d) horizons, according to the data obtained in the 102nd cruise, and the position of main eddies and meanders at respective depths

Наибольшие скорости (до 30 см/с) отмечались на южной периферии антициклона, которая располагалась над свалом глубин. В отличие от СА, в зоне которого на горизонтальных распределениях выше ядра ХПС наблюдались относительно холодные воды, в зоне СаpА на горизонте 25 м отмечалось повышение температуры и понижение солености.

Кроме СА и СаpА над шельфом и свалом глубин наблюдались еще несколько антициклонических круговоротов, вертикальная мощность которых была заметно меньше. К западу от Гераклейского п-ова на горизонтах 25 и 50 м и к востоку от м. Меганом на горизонте 25 м прослеживались еще два замкнутых антициклонических круговорота (см. рис. 2, *b*). Наиболее вероятной причиной их образования является взаимодействие ОЧТ с локальными поднятиями дна (по изобате 50 м) в этих районах. В поле термохалинных характеристик более четко проявлялся антициклон к западу от Гераклейского п-ова, в зоне которого наблюдалось повышение температуры и понижение солености (рис. 3, *a, b*). Между этими двумя круговоротами на траверзе м. Аю-Даг во всем слое измерений прослеживался еще один антициклонический круговорот, который можно интерпретировать как Крымский антициклон (см. рис. 2). На горизонте 100 м и глубже Крымский антициклон заметно смещался на восток (см. рис. 2, *d*). В термохалинных полях его признаки явно не проявлялись.

Так же как по геострофическим расчетам, по инструментальным данным на востоке полигона съемки наблюдался крупномасштабный антициклонический меандр ОЧТ. Ближе к Кавказскому побережью этот меандр преобразовался в практически замкнутый антициклонический круговорот, который можно рассматривать как проявление Кавказского антициклона (КА) [17, 18]. Он хорошо прослеживался во всем 150-метровом слое измерений (см. рис. 2). Скорость на южной периферии этого антициклона достигала 30 см/с. По термохалинным признакам здесь наблюдались «пятна» повышенной (выше ядра ХПС) и пониженной (ниже ядра ХПС) температуры и пониженной солености во всем слое (рис. 3). В зоне КА отмечалось заглубление ядра ХПС (до горизонта 80–85 м) и верхней границы сероводородной зоны (до 155–160 м).

Кроме КА на участке побережья между Анапой и Новороссийском во всем слое измерений наблюдался хорошо выраженный антициклонический меандр, который на горизонте 100 м преобразовывался в практически замкнутый антициклон (см. рис. 2, *d*). В полях температуры и солености этот антициклон явно не прослеживался (рис. 3, *c, d*).

Отметим, что в целом положение «пятен» вод с экстремальными значениями термохалинных характеристик, обусловленными особенностями циркуляции, смещено относительно положения антициклонов, что, вероятно, отражает разное время реакции динамической и термохалинной структуры вод на внешнее воздействие. Явные признаки круговоротов проявляются на горизонтальных распределениях термохалинных полей не всегда. При этом конфигурация изотерм и изохалин косвенно отражает их присутствие, свидетельствуя о вовлечении в зону антициклонов вод из соседних, как правило, более мелководных участков моря.

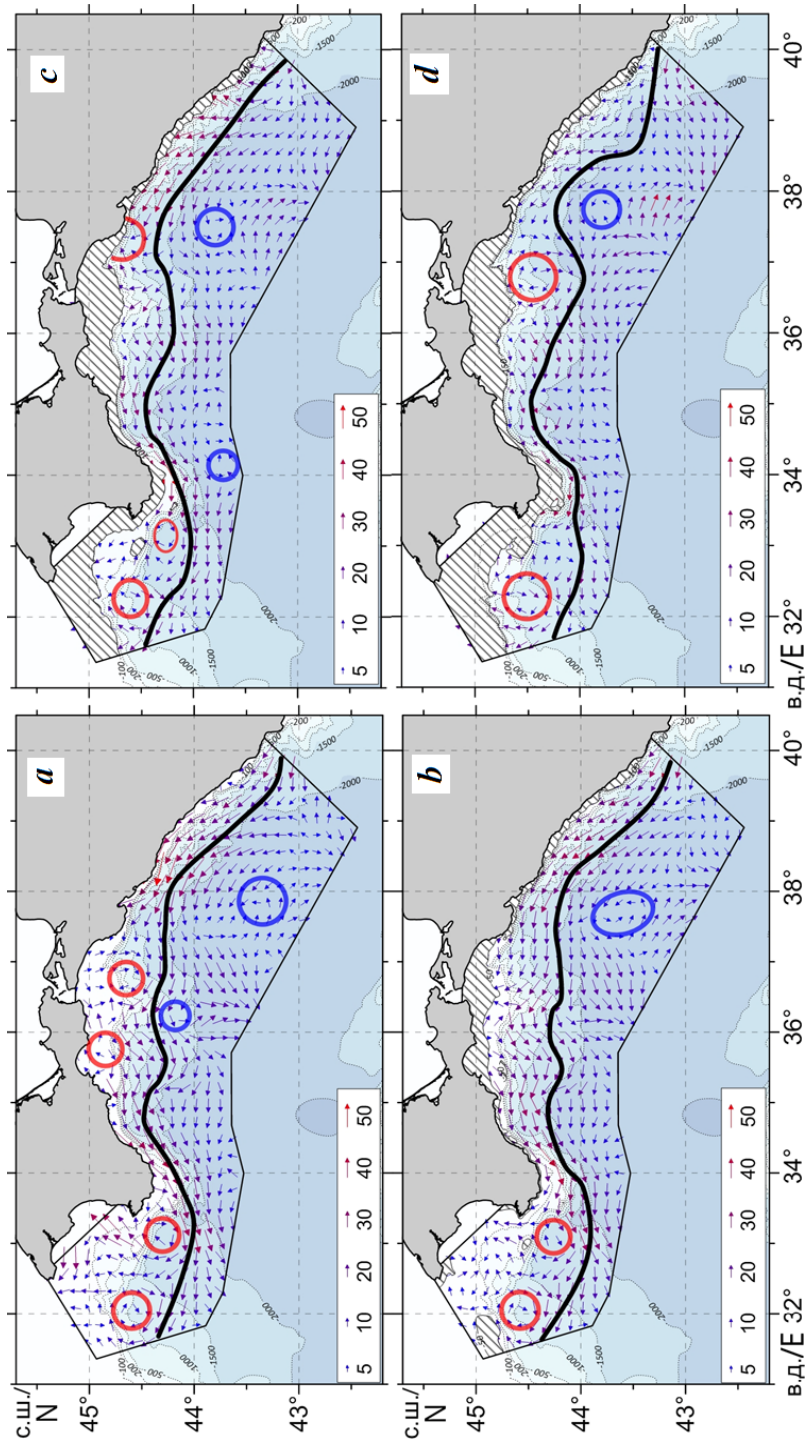
Слева от основной струи ОЧТ в пределах полигона преобладала циклоническая завихренность потоков, соответствующая крупномасштабной структуре циркуляции вод. Инструментальные измерения фиксировали на

некоторых горизонтах практически замкнутые циклонические круговороты. Так, в западной части съемки в слое 10–25 м (см. рис. 2, *a, b*) наблюдался циклонический круговорот. Учитывая, что его положение было значительно севернее климатического положения крупномасштабного ЗЦК (см. рис. 1, *d*), можно предположить, что этот циклон являлся проявлением синоптической изменчивости течений на северной периферии ЗЦК. В зоне этого циклона на горизонте 25 м отмечалось понижение температуры и повышение солености (рис. 3, *a, b*).

Другой циклон синоптического масштаба наблюдался ближе к северо-западной периферии климатического ВЦК и прослеживался во всем слое измерений (кроме горизонта 10 м) (см. рис. 2). На горизонтальных распределениях гидрологических характеристик в области этого циклона наблюдалось понижение температуры выше ХПС, ее повышение ниже этого слоя и увеличение солености во всем слое инструментальных измерений течений (рис. 3). В зонах циклонических круговоротов и меандров отмечалось поднятие ядра ХПС (до глубин 40–50 м) и изопикны 16.2 усл. ед. (до 100–120 м). Появление циклонических вихрей более мелкого масштаба на периферии крупномасштабных циклонических круговоротов Черного моря может свидетельствовать об интенсивной синоптической изменчивости, вызываемой меандрированием ОЧТ.

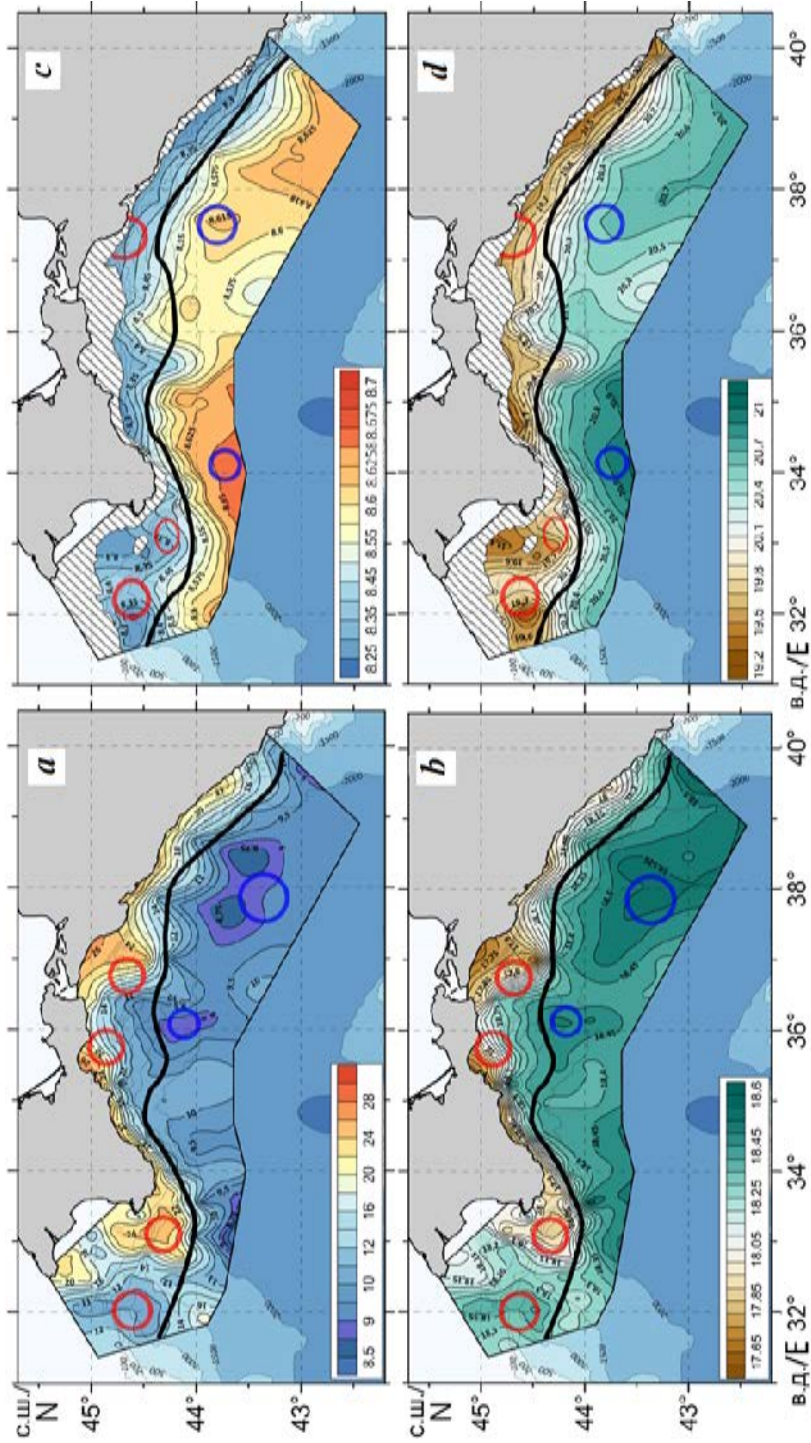
В период осенней съемки (103-й рейс) меандрирование ОЧТ заметно ослабевало и количество замкнутых круговоротов уменьшалось (рис. 4). Вместе с тем на западе полигона съемки во всем слое измерений по-прежнему прослеживался Севастопольский антициклон. Так же как и летом, максимальные скорости наблюдались на южной периферии СА и достигали 30 см/с. На глубине 25 м в зоне СА наблюдались более низкие значения температуры и относительно высокие значения солености (рис. 5, *a, b*). Согласно распределениям векторов течений в верхнем 50-метровом слое (см. рис. 4, *a, b*) в зону СА проникали холодные и соленые воды, которые располагались в южной части съемки. На промежуточных глубинах ниже ХПС (например, на горизонте 100 м) за счет заглупления ХПС (до 75–80 м) температура и соленость в зоне СА понижались (рис. 5, *c, d*). Здесь же происходило заглупление изопикны 16.2 усл. ед. (до 150–160 м).

Антициклоны к югу от м. Сарыч и к западу от Гераклеийского п-ова, наблюдаемые в период летней съемки, осенью не прослеживались. Вместо этих двух антициклонов был выявлен только один антициклон к юго-западу от Гераклеийского п-ова, наблюдаемый в верхнем 100-метровом слое (см. рис. 4, *a – c*). На горизонтах 25 и 100 м в поле температуры он четко характеризовался увеличением ее значений выше ХПС, их уменьшением ниже этого слоя (рис. 5, *a, c*) и понижением солености (рис. 5, *b, d*) во всем слое. В зоне антициклона отмечался максимум глубины залегания ядра ХПС (75–85 м). Антициклонические круговороты в приповерхностных слоях прослеживались южнее Керченского (горизонт 25 м) и Таманского (горизонты 10, 25 и 150 м) п-овов (см. рис. 4, *a, d*). Судя по конфигурации границ прибрежных областей вод с повышенной температурой и пониженной соленостью на горизонте 25 м, теплые и распресненные воды распространялись в открытое море вдоль восточной периферии этих антициклонов (рис. 5, *a, b*).



Р и с . 4. Векторы инструментально измеренных течений на горизонтах 25 м (*a*), 50 м (*b*), 100 м (*c*) и 150 м (*d*) по данным 103-го рейса.

Fig. 4. Vectors of the instrumentally measured currents at 25 m (*a*), 50 m (*b*), 100 m (*c*), and 150 m (*d*) horizons, according to the data obtained in the 103^d cruise.



Р и с . 5. Распределение температуры (а, с) и солёности (b, d) на горизонтах 25 м (а, b), 100 м (с, d) по данным 103-го рейса и положение основных вихрей и меандров на соответствующих глубинах.

Fig . 5. Temperature (a, c) and salinity (b, d) distribution at 25 m (a, b), 100 m (c, d) horizons, according to the data obtained in the 103rd cruise, and the position of main eddies and meanders at respective depths.

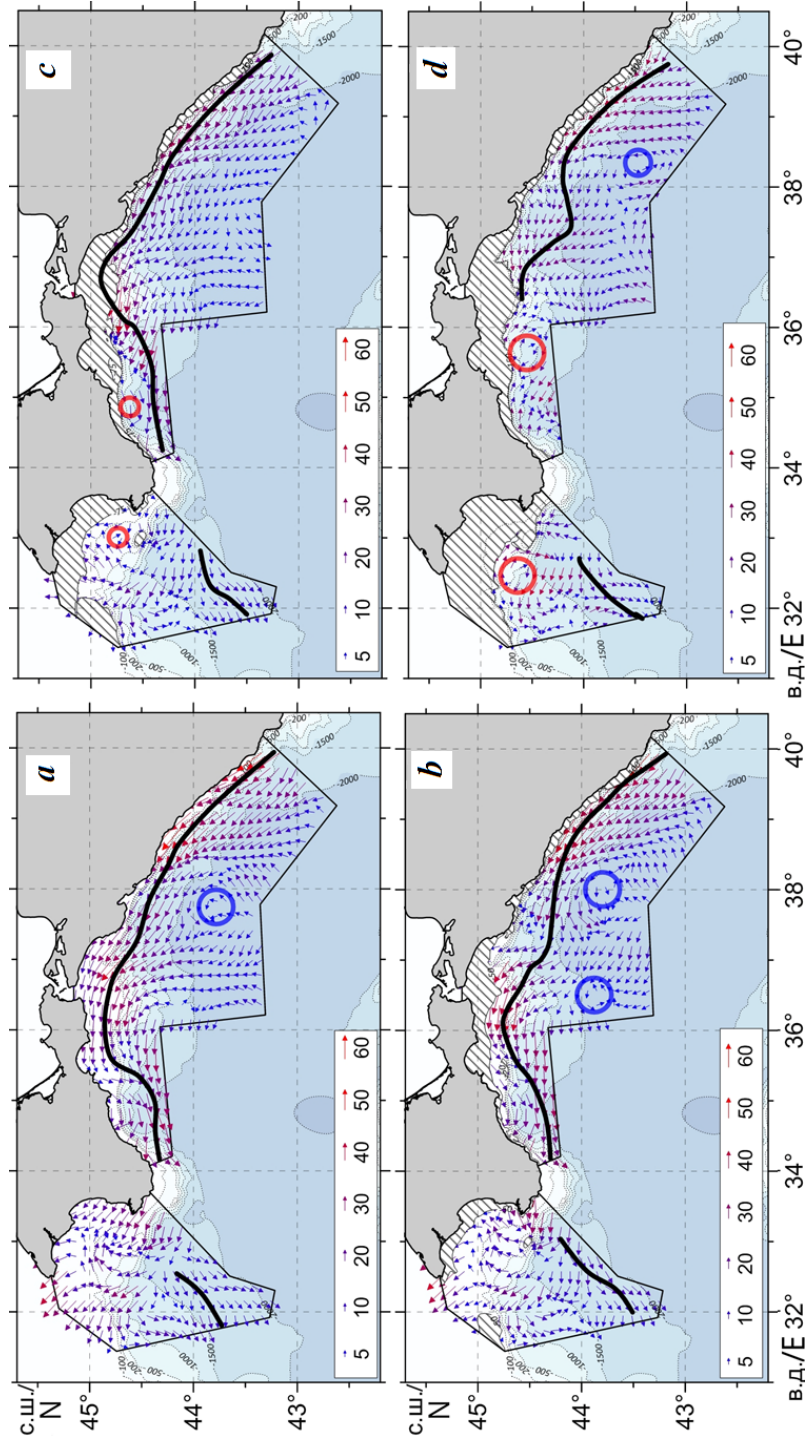
К югу от стрежня ОЧТ на востоке полигона съемки во всем слое измерений четко прослеживался циклонический круговорот, центр которого был заметно смещен к северо-востоку относительно климатического ВЦК. На горизонте 25 м в районе циклона наблюдались минимум температуры и максимум солености (рис. 5, *a, b*). Здесь же происходил подъем ядра ХПС ближе к поверхности (до горизонта 45–50 м) и уменьшение глубины залегания изопикны 16.2 усл. ед. (до 120–130 м). Глубже ХПС, на горизонте 100 м, в результате подъема вод в зоне циклона наблюдался локальный максимум температуры (рис. 5, *c*). В целом в юго-восточной части полигона конфигурация изотерм и изохалин в виде «язычков» наиболее теплых и соленых вод, ориентированных в северо-северо-западном направлении (рис. 5, *c, d*), дает основание предполагать, что центр основного ВЦК располагался в окрестностях юго-восточной границы полигона съемки.

К северо-западу от этого циклона в районе 36° в. д. был выявлен еще один циклонический круговорот. Хотя в поле векторов инструментально измеренных течений этот циклон прослеживался только в верхнем 25-метровом слое (см. рис. 4, *a*), его признаки в полях термохалинных характеристик сохранялись в нижележащих слоях, что обусловило проявление круговорота в полях динамических высот и векторов геострофических течений (см. рис. 1, *b*). В районе этого циклона выше ядра ХПС, которое здесь поднималось к поверхности до горизонта 45–48 м, температура понижалась (рис. 5, *a*), ниже ядра ХПС (на 100 м) – возрастала (рис. 5, *c*). Соленость в зоне циклона во всем 100-метровом слое была повышенной (рис. 5, *b, d*).

Еще один замкнутый циклонический круговорот наблюдался в западной части полигона съемки на глубинах 75–100 м (см. рис. 4, *c*). Распределения температуры и солености на горизонте 100 м указывают на увеличение их значений в зоне этого циклона (рис. 5, *c, d*) в результате подъема ХПС до уровня 40–50 м.

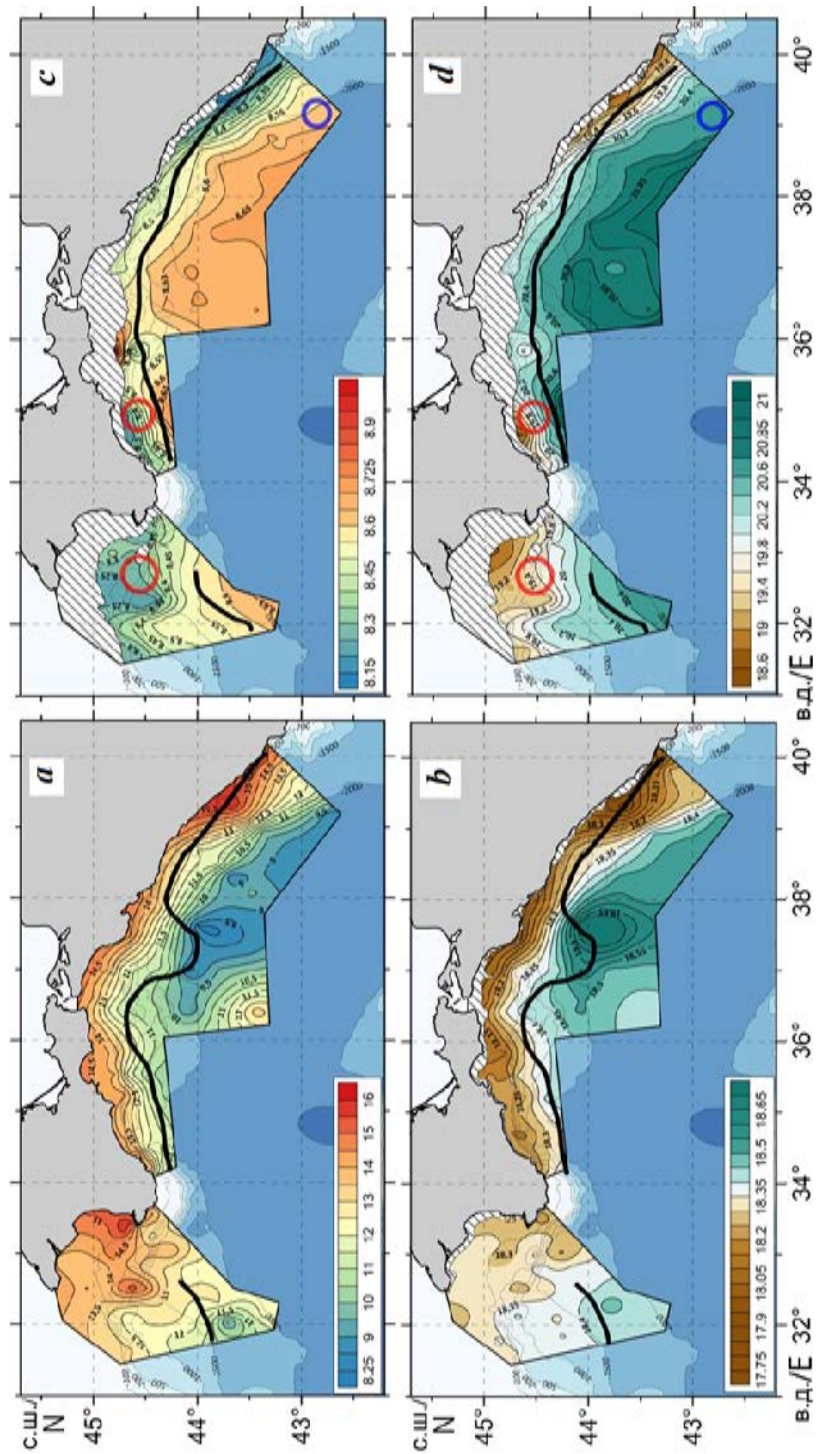
В период осенне-зимней съемки (105-й рейс) по инструментальным данным замкнутые антициклонические круговороты в поверхностном слое справа от основной струи ОЧТ не прослеживались (рис. 6). В зоне предполагаемого расположения СА над свалом глубин и частично над шельфом в верхнем 50-метровом слое наблюдался разворот течений по антициклонической траектории (рис. 6, *a, b*). На горизонте 75 м антициклонический разворот течений трансформировался в практически замкнутый антициклонический круговорот, который прослеживался и на горизонтах 100 и 150 м (рис. 6, *c, d*). Этот круговорот можно интерпретировать как подповерхностное проявление СА. Антициклонические круговороты в подповерхностном слое 75–150 м прослеживались также над свалом глубин к юго-западу от м. Меганом (подповерхностное проявление Крымского антициклона) (рис. 6, *c*) и южнее Феодосийского залива (рис. 6, *d*). В поле термохалинных параметров в зонах вышеописанных антициклонических круговоротов, поскольку они проявлялись на глубинах ниже ядра ХПС, отмечалось уменьшение значений температуры и солености (рис. 7, *c, d*). Здесь же наблюдалось увеличение глубины залегания ядра ХПС и изопикны 16.2 усл. ед.

Замкнутые циклонические круговороты, которые формируются слева от стрежня ОЧТ, в период осенне-зимней съемки также проявлялись относительно



Р и с. 6. Векторы инструментально измеренных течений на горизонтах 10 (a), 50 (b), 75 (c) и 150 м (d) по данным 105-го рейса

Fig. 6. Vectors of the instrumentally measured currents at 10 m (a), 50 m (b), 75 m (c), 150 m (d) horizons, according to the data obtained in the 105th cruise



Р и с. 7. Распределение температуры (а, с) и солёности (b, d) на горизонтах 25 (а, b), 75 м (с, d) по данным 105-го рейса и положение основных вихрей и меандров на соответствующих глубинах

Fig. 7. Temperature (a, c) and salinity (b, d) distribution at 25 m (a, b), 75 m (c, d) horizons, according to the data obtained in the 105th cruise, and the position of main eddies and meanders at respective depths

слабо (см. рис. 6). Крупномасштабный циклонический меандр наблюдался в восточной части полигона между 37.5° и 38° в. д. в верхнем 50-метровом слое (см. рис. 6, *a, b*). В зоне этого меандра на горизонтах 10 и 50 м прослеживался замкнутый циклонический круговорот (см. рис. 6, *a, b*). В термохалинных полях в области этого циклонического образования наблюдались пониженные значения температуры и повышенные значения солености (рис. 7, *a, b*). На горизонте 50 м западнее этого меандра примерно между 36° и 36.5° в. д. отмечался еще один циклонический круговорот (см. рис. 6, *b*), явных признаков которого в термохалинных полях не наблюдалось. Это же было характерно и для другого циклона, выявленного в подповерхностном слое 100–150 м в юго-восточной части полигона (см. рис. 6, *d*).

Выводы. По данным инструментальных измерений течений и гидрологических съемок, выполненных в ходе трех экспедиций на НИС «Профессор Водяницкий» (9–30 июня, 28 августа – 20 сентября и 18 ноября – 10 декабря 2018 г.), проанализированы особенности проявления синоптических вихрей в термохалинных полях в различные сезоны. Показано, что меандрирование ОЧТ ослабевало с лета к концу осени – началу зимы, что влияло на количество и местоположение синоптических круговоротов. Максимальное количество вихрей наблюдалось летом, минимальное – в осенне-зимний период.

Наиболее устойчивым синоптическим круговоротом был СА, прослеживающийся по данным всех трех съемок. В летний период восточнее СА наблюдались еще несколько антициклонических круговоротов – Сарычский, Крымский, Кавказский, антициклоны к западу от Гераклеяского п-ова и к востоку от м. Меганом.

В период осенней съемки антициклоны к югу от м. Сарыч и к западу от Гераклеяского п-ова не прослеживались. Вместо них был выявлен один антициклон к юго-западу от Гераклеяского п-ова. Антициклонические круговороты прослеживались также к югу от Керченского и Таманского п-овов. В период осенне-зимней съемки СА, Кра и антициклон южнее Феодосийского залива прослеживались только в подповерхностном слое.

Выявлено, что синоптические круговороты в гидрологических характеристиках могут проявляться по-разному. Большинство антициклонических круговоротов в термохалинных полях на глубинах ниже ядра ХПС характеризовались пониженными значениями температуры и солености. Некоторые антициклоны (Сарычский, Кавказский) прослеживались по термохалинным признакам выше ядра ХПС по повышению температуры и понижению солености. В зонах всех антициклонов наблюдалось заглупление ядра ХПС и верхней границы сероводородной зоны.

В областях большинства циклонических круговоротов, выявленных к югу от стрежня ОЧТ, в термохалинных полях отмечались понижение температуры выше ХПС, ее повышение ниже этого слоя и увеличение солености во всем слое инструментальных измерений течений, а также подъем ядра ХПС и верхней границы сероводородной зоны ближе к поверхности.

Положение областей вод с экстремальными значениями термохалинных характеристик, обусловленными циркуляцией вод, как правило, было смещено относительно положения вихревых образований, что, вероятно, отражает разное время реакции динамической и термохалинной структуры вод на изменение синоптических атмосферных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hydrological Conditions in the Western Part of the Black Sea in November, 2015 (based on the Data Obtained in the 81st Cruise of R/V Professor Vodyanitsky) / Yu. V. Artamonov [et al.] // *Physical Oceanography*. 2016. No. 4. P. 57–70. doi:10.22449/1573-160X-2016-4-57-70
2. Динамика и структура вод северо-западной части Черного моря в сентябре 2013 г. / Ю. В. Артамонов [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2017. Вып. 1. С. 4–14.
3. Термохалинная структура вод у берегов Крыма и прилегающей открытой акватории Черного моря летом 2016 г. / Ю. В. Артамонов [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2017. Вып. 3. С. 20–31.
4. Особенности сезонной и синоптической изменчивости структуры вод в зоне Основного Черноморского течения в осенне-зимний период 2016 г. / Ю. В. Артамонов [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2018. Вып. 1. С. 32–43. doi:10.22449/2413-5577-2018-1-32-43
5. Water Circulation in the Northern Black Sea in Summer, 2016 (Based on the Data Obtained in the 87th Cruise of the R/V *Professor Vodyanitsky*) / Yu. V. Artamonov [et al.] // *Physical Oceanography*. 2018. Vol. 25, iss. 1. P. 52–66. doi:10.22449/1573-160X-2018-1-52-66
6. Hydrological Research in the Northern Part of the Black Sea in 2016 (87th, 89th and 91st Cruises of R/V *Professor Vodyanitsky*) / Yu. V. Artamonov [et al.] // *Physical Oceanography*. 2018. Vol. 25, iss. 3. P. 229–234. doi:10.22449/1573-160X-2018-3-229-234
7. Структура вод в зоне Основного Черноморского течения весной и летом 2017 г. (94-й, 95-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий») / Ю. В. Артамонов [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2019. Вып. 1. С. 16–28. doi:10.22449/2413-5577-2019-1-16-28
8. Сезонные и синоптические изменения структуры вод к юго-западу от Крымского полуострова в осенне-зимний период 2017 г. (98-й и 101-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий») / Ю. В. Артамонов [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2019. Вып. 3. С. 4–18. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-4-18
9. *Латун В. С.* Роль антициклонических круговоротов во внутрисезонной эволюции термохалинной структуры и геострофической циркуляции вод // Исследование и моделирование гидрофизических процессов в Черном море. Л. : Гидрометеиздат, 1989. С. 40–49.
10. *Титов В. Б.* О роли вихрей в формировании режима течений на шельфе Черного моря и в экологии прибрежной зоны // *Океанология*. 1992. Т. 32, № 1. С. 39–48.
11. Антициклонические вихри над северо-западным материковым склоном Черного моря и их роль в переносе богатых хлорофиллом шельфовых вод в глубоководный бассейн / А. И. Гинзбург [и др.] // *Исследование Земли из космоса*. 2000. № 3. С. 71–81.
12. *Зацепин А. Г., Гинзбург А. И., Евдошенко М. А.* Вихревые структуры и горизонтальный водообмен в Черном море // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря*. М. : Наука, 2002. С. 55–81.
13. Observation of Black Sea mesoscale eddies and associated horizontal mixing / A. G. Zatsepin [et al.] // *Journal of Geophysical Research*. 2003. Vol. 108, iss. C8. 3246. P. 1–27. doi:10.1029/2002JC001390
14. Система синоптических вихрей над свалом глубин в северо-западной части Черного моря // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. № 1. 2020

- Черного моря летом 1993 г. (спутниковая и судовая информация) / А. И. Гинзбург [и др.] // *Океанология*. 1998. Т. 38, № 1. С. 56–63.
15. New data on the current regime on the shelf of the northeastern Black Sea / V. G. Krivosheya [et al.] // *Oceanology*. 2001. Vol. 41, iss. 3. P. 307–316.
 16. Anticyclonic eddies in the northwestern Black Sea / A. I. Ginzburg [et al.] // *Journal of Marine Systems*. 2002. Vol. 32, iss. 1–3. P. 91–106. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(02\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00035-0)
 17. Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data / G. Korotaev [et al.] // *Journal of Geophysical Research*. 2003. Vol. 108, iss. C4. 3122. doi:10.1029/2002JC001508
 18. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* Океанография Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 209 с.
 19. *Кубряков А. А., Станичный С. В.* Синоптические вихри в Черном море по данным спутниковой альтиметрии // *Океанология*. 2015. Т. 55, № 1. С. 1–13.
 20. The Black Sea mixed layer depth variability and its relation to the basin dynamics and atmospheric forcing / A. A. Kubryakov [et al.] // *Physical Oceanography*. 2019. Vol. 26, iss. 5. P. 397–413. doi:10.22449/1573-160X-2019-5-397-413
 21. Rim Current and coastal eddy mechanisms in an eddy-resolving Black Sea general circulation model / J. V. Staneva [et al.] // *Journal of Marine Systems*. 2001. Vol. 31, iss. 1–3. P. 137–157. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(01\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(01)00050-1)
 22. Hydrodynamic modelling of mesoscale eddies in the Black Sea / C. Enriquez [et al.] // *Ocean Dynamics*. 2005. Vol. 55, iss. 5–6. P. 476–489. doi:10.1007/s10236-005-0031-4
 23. Трехмерная идентификация синоптических вихрей Черного моря по расчетам численной модели NEMO / А. А. Кубряков [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Т. 34, iss. 1. С. 20–28. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-20-28
 24. *Belokopytov V. N.* Retrospective Analysis of the Black Sea Thermohaline Fields on the Basis of Empirical Orthogonal Functions // *Physical Oceanography*. 2018. Vol. 25, iss. 5. P. 380–389. doi:10.22449/1573-160X-2018-5-380-389

Об авторах:

Артамонов Юрий Владимирович, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **ResearcherID: AAC-6651-2020**, artam-ani@yandex.ru

Скрипалева Елена Александровна, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **ResearcherID: AAC-6648-2020**, sea-ant@yandex.ru

Федирко Александр Викторович, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ResearcherID: AAC-6629-2020**, vault102@gmail.com

Шутов Сергей Аркадьевич, ведущий инженер-исследователь, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), shutov_sa@mhi-ras.ru

Дерюшкин Дмитрий Владленович, старший инженер, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2)

Шаповалов Ростислав Олегович, старший инженер-исследователь, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), ros787@mail.ru

Шаповалов Юрий Иванович, ведущий инженер-электроник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2)

Щербаченко Сергей Владимирович, аспирант, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), *shcherbachenko_sv@mhi-ras.ru*

Заявленный вклад авторов:

Артамонов Юрий Владимирович – общее научное руководство исследованием, формулировка целей и задач исследования, разработка методик и проведение экспериментальных исследований, качественный анализ результатов и их интерпретация, обсуждение результатов работы, формулирование выводов

Скрипалева Елена Александровна – обзор литературы по проблеме исследования, качественный анализ результатов и их интерпретация, обработка и описание результатов исследования, обсуждение результатов работы, формулирование выводов, подготовка текста статьи, доработка текста

Федирко Александр Викторович – разработка и отладка компьютерных программ для вторичной обработки экспериментальных данных, компьютерная реализация алгоритмов, построение графиков и схем, участие в обсуждении материалов статьи

Шутов Сергей Аркадьевич – сбор и систематизация данных, компьютерная реализация алгоритмов первичной обработки экспериментальных данных, анализ полученных результатов

Дерюшкин Дмитрий Владленович – сбор и систематизация экспериментальных данных

Шаповалов Ростислав Олегович – сбор и систематизация данных, компьютерная реализация алгоритмов первичной обработки экспериментальных данных

Шаповалов Юрий Иванович – сбор и систематизация данных, реализация алгоритмов обработки экспериментальных данных, первичный анализ полученных результатов

Щербаченко Сергей Владимирович – сбор и систематизация данных, реализация алгоритмов первичной обработки экспериментальных данных, участие в обсуждении материалов статьи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Artamonov, Yu.V., Alexeev, D.V., Kondratyev, S.I., Skripaleva, E.A., Shutov, S.A., Lobachyov, V.N., Shapovalov, R.O. and Fedirko, A.V., 2016. Hydrological Conditions in the Western Part of the Black Sea in November, 2015 (based on the Data Obtained in the 81st Cruise of R/V Professor Vodyanitsky). *Physical Oceanography*, (4), pp. 57–70. doi:10.22449/1573-160X-2016-4-57-70
2. Artamonov, Yu.V., Alexeev, D.V., Shutov, S.A., Deryushkin, D.V., Lobachyov, V.N., Skripaleva, E.A., Shapovalov, R.O., Shapovalov, Yu.I. and Fedirko, A.V., 2017. Dynamics and Structure of Seawater in the Northwest Black Sea in September, 2013. In: МНН, 2017. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol, МНН. Iss. 1, pp. 4–14 (in Russian).
3. Artamonov, Yu.V., Alexeev, D.V., Skripaleva, E.A., Shutov, S.A., Deryushkin, D.V., Zavyalov, D.D., Kolmak, R.V., Shapovalov, R.O., Shapovalov, Yu.I., Fedirko, A.V. and Shcherbachenko, S.V., 2017. Thermohaline Structure of Water near the Crimea Coast and Adjacent Open Water Area of the Black Sea at Summer 2016. In: МНН,

2017. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol, MHI. Iss. 3, pp. 20–31 (in Russian).

4. Artamonov, Yu.V., Alexeev, D.V., Skripaleva, E.A., Shutov, S.A., Deryushkin, D.V., Zavyalov, D.D., Kolmak, R.V., Shapovalov, R.O., Shapovalov, Yu.I., Fedirko, A.V. and Shcherbachenko, S.V., 2018. Peculiarities of Seasonal and Synoptic Variability of Water Structure in the Zone of the Rim Current at Autumn and Winter 2016. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 32–43. doi:10.22449/2413-5577-2018-1-32-43 (in Russian).
5. Artamonov, Yu.V., Shutov, S.A., Skripaleva, E.A., Shapovalov, R.O., Fedirko, A.V. and Shcherbachenko, S.V., 2018. Water Circulation in the Northern Black Sea in Summer, 2016 (Based on the Data Obtained in the 87th Cruise of the R/V Professor Vodyanitsky). *Physical Oceanography*, 25(1), pp. 52–66. doi:10.22449/1573-160X-2018-1-52-66
6. Artamonov, Yu.V., Skripaleva, E.A., Alexeev, D.V., Fedirko, A.V., Shutov, S.A., Kolmak, R.V., Shapovalov, R.O. and Shcherbachenko, S.V., 2018. Hydrological Research in the Northern Part of the Black Sea in 2016 (87th, 89th and 91st Cruises of R/V Professor Vodyanitsky). *Physical Oceanography*, 25(3), pp. 229–234. doi:10.22449/1573-160X-2018-3-229-234
7. Artamonov, Yu.V., Fedirko, A.V., Skripaleva, E.A., Shutov, S.A., Deryushkin, D.V., Kolmak, R.V., Zavyalov, D.D., Shapovalov, R.O., Shapovalov, Yu.I. and Shcherbachenko, S.V., 2019. Water Structure in the Area of the Rim Black Sea Current in Spring and Summer 2017 (94th, 95th Cruises of the R/V “Professor Vodyanitsky”). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 16–28. doi:10.22449/2413-5577-2019-1-16-28 (in Russian).
8. Artamonov, Yu.V., Fedirko, A.V., Skripaleva, E.A., Shutov, S.A., Garmashov, A.V., Deryushkin, D.V., Zavyalov, D.D., Kolmak, R.V., Shapovalov, R.O., Shapovalov, Yu.I. and Shcherbachenko, S.V., 2019. Seasonal and Synoptic Changes of Water Structure to the Southwest of the Crimean Peninsula in the Autumn and Winter 2017 (98th and 101st Cruises of R/V Professor Vodyanitsky). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 4–18. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-4-18 (in Russian).
9. Latun, V.S., 1989. The Role of Anticyclonic Gyres in Intraseasonal Evolution of Thermohaline Structure and Geostrophic Circulation of Waters. In: S. P. Levikov, 1989. *Investigation and Modeling of Hydrophysical Processes in the Black Sea*. Leningrad: Gidrometeoizdat, pp. 40–49.
10. Titov, V.B., 1992. [On the Role of Eddies in the Flow Pattern Formation in the Black Sea Shelf Area and in the Ecology of Coastal Area]. *Oceanology*, 32(1), pp. 39–48.
11. Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Nezlin, N.P., Solov'ev, D.M., Stanichnaya, R.R. and Stanichnyi, S.V., 2000. Anticyclonic Eddies over the Northwestern Black Sea Continental Slope and their Role in Chlorophyll-Rich Shelf Water Transport to the Deep Basin. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*, (3), pp. 71–81 (in Russian).
12. Zatsepin, A.G., Ginzburg, A.I. and Yevdoshenko, M.A., 2002. [Eddy Structures and Horizontal Water Exchange in the Black Sea]. In: A. G. Zatsepin and M. V. Flint, eds., 2002. *Complex Studies of the Northern-Eastern Part of the Black Sea*. Moscow: Nauka, pp. 55–81.
13. Zatsepin, A.G., Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Kremenetskiy, V.V., Krivosheya, V.G., Stanichny, S.V. and Poulain, P.-M., 2003. Observation of Black Sea Mesoscale Eddies and Associated Horizontal Mixing. *Journal of Geophysical Research*, 108(C8), 3246. doi:10.1029/2002JC001390

14. Ginzburg, A.I., Kontar', E.A., Kostyanoi, A.G, Krivosheya, V.G., Solov'ev, D.M., Stanichnyi, S.V. and Laptev, S.Yu., 1998. System of Synoptic Eddies over a Sharp Bottom Slope in the Northwestern Part of the Black Sea in Summer 1993 (Satellite and Ship Data). *Oceanology*, 38(1), pp. 51–58.
15. Krivosheya, V.G., Titov, V.B., Ovchinnikov, I.M., Moskalenko, L.V., Skirta, A.Yu. and Monakhov, V.V., 2001. New Data on the Current Regime on the Shelf of the Northeastern Black Sea. *Oceanology*, 41(3), pp. 307–316.
16. Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Nezhlin, N.P. Soloviev, D.M. and Stanichny, S.V., 2002. Anticyclonic Eddies in the Northwestern Black Sea. *Journal of Marine Systems*, 32(1-3), pp. 91–106. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(02\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00035-0)
17. Korotaev, G., Oguz, T., Nikiforov, A. and Koblinsky, C., 2003. Seasonal, Interannual, and Mesoscale Variability of the Black Sea Upper Layer Circulation Derived from Altimeter Data. *Journal of Geophysical Research*, 108(C4), 3122. doi:10.1029/2002JC001508
18. Ivanov, V.A. and Belokopytov, V.N., 2013. *Oceanography of the Black Sea*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 209 p.
19. Kubryakov, A.A. and Stanichny, S.V., 2015. Mesoscale Eddies in the Black Sea from Satellite Altimetry Data. *Oceanology*, 55(1), pp. 56–67. <https://doi.org/10.1134/S0001437015010105>
20. Kubryakov, A.A., Belokopytov, V.N., Zatsepin, A.G., Stanichny, S.V. and Piotukh, V.B., 2019. The Black Sea Mixed Layer Depth Variability and Its Relation to the Basin Dynamics and Atmospheric Forcing. *Physical Oceanography*, 26(5), pp. 397–413. doi:10.22449/1573-160X-2019-5-397-413
21. Staneva, J.V., Dietrich, D.E., Stanev, E.V. and Bowman, M.J., 2001. Rim Current and Coastal Eddy Mechanisms in an Eddy-Resolving Black Sea General Circulation Model. *Journal of Marine Systems*, 31(1-3), pp. 137–157. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(01\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(01)00050-1)
22. Enriquez, C., Shapiro, G., Souza, A. and Zatsepin, A., 2005. Hydrodynamic Modelling of Mesoscale Eddies in the Black Sea. *Ocean Dynamics*, 55(5–6), pp. 476–489. doi:10.1007/s10236-005-0031-4
23. Kubryakov, A.A., Mizyuk, A.I., Puzina, O.S. and Senderov, M.V., 2018. Three-Dimensional Identification of the Black Sea Mesoscale Eddies according to NEMO Numerical Model Calculations. *Physical Oceanography*, 34(1), pp. 20–28. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-20-28
24. Belokopytov, V.N., 2018. Retrospective Analysis of the Black Sea Thermohaline Fields on the Basis of Empirical Orthogonal Functions. *Physical Oceanography*, 25(5), pp. 380–389. doi:10.22449/1573-160X-2018-5-380-389

About the authors:

Yuriy V. Artamonov, Leading Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), **ResearcherID: AAC-6651-2020**, artam-ant@yandex.ru

Elena A. Skripaleva, Senior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ResearcherID: AAC-6648-2020**, sea-ant@yandex.ru

Aleksandr V. Fedirko, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ResearcherID: AAC-6629-2020**, vault102@gmail.com

Sergey A. Shutov, Leading Engineer Researcher, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), *shutov_sa@mhi-ras.ru*

Dmitriy V. Derjushkin, Senior Engineer, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation)

Rostislav O. Shapovalov, Senior Engineer Researcher, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), *ros787@mail.ru*

Yuri I. Shapovalov, Leading Electronics Engineer, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation)

Sergey V. Shcherbachenko, post-graduate student, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), *shcherbachenko_sv@mhi-ras.ru*

Contribution of the authors:

Yuriy V. Artamonov – general scientific supervision of the research, setting of study aims and objectives, development of methods and performance of experiments, qualitative analysis of the results and interpretation thereof, discussion of the study results, drawing conclusions

Elena A. Skripaleva – review of literature on the research topic, qualitative analysis of the results and interpretation thereof, processing and description of the study results, discussion of the study results, drawing conclusions, article text preparation and refinement

Aleksandr V. Fedirko – development and debugging of software for experiment data secondary processing, computer implementation of algorithms, chart and diagram construction, participation in discussion of the article

Sergey A. Shutov – data collection and classification, computer implementation of algorithms for primary processing of experiment data, analysis of obtained results

Dmitriy V. Derjushkin – experiment data collection and classification

Rostislav O. Shapovalov – data collection and classification, computer implementation of algorithms for primary processing of experiment data

Yuri I. Shapovalov – data collection and classification, implementation of algorithms for experiment data processing, primary analysis of the obtained results

Sergey V. Shcherbachenko – data collection and classification, implementation of algorithms for primary processing of experiment data, participation in discussion of the article

All the authors have read and approved the final manuscript.