

Гидрологические исследования в северной части Черного моря в 2016 г. (87, 89 и 91-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий»)

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

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
**E-mail: artam-ant@yandex.ru*

Поступила в редакцию 31.03.2017 г., после доработки – 11.09.2017 г.

Представлены результаты комплексного мониторинга состояния гидрологических полей и динамики вод северной части Черного моря в пределах экономической зоны России, проведенного в 2016 г. в экспедициях 87, 89 и 91-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Показано, что в распределениях всех термохалинных характеристик по данным трех съемок хорошо прослеживался сезонный сигнал. Он проявлялся в последовательном понижении средней температуры верхнего квазиоднородного слоя, увеличении температуры в ядре холодного промежуточного слоя и увеличении глубин залегания нижней границы верхнего квазиоднородного слоя, ядра холодного промежуточного слоя и верхней границы сероводородной зоны. Стрежень Основного Черноморского течения в период трех съемок располагался над свалом глубин. Максимальные скорости наблюдались у юго-западных берегов Крыма. В западной части полигона был зафиксирован хорошо выраженный Севастопольский антициклон, который наиболее четко проявлялся в октябре 2016 г. Проявление Севастопольского антициклона наблюдалось в распределениях гидрологических характеристик. В зоне антициклона на поверхности прослеживалось повышение температуры, понижение солёности, увеличение глубины залегания нижней границы верхнего квазиоднородного слоя и ядра холодного промежуточного слоя.

Ключевые слова: Черное море, термохалинные поля, Основное Черноморское течение, верхний квазиоднородный слой, холодный промежуточный слой, Севастопольский антициклон, пространственно-временная изменчивость.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0003 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования».

Для цитирования: Гидрологические исследования в северной части Черного моря в 2016 г. (87, 89 и 91-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий») / Ю. В. Артамонов [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 3. С. 247–253. doi:10.22449/0233-7584-2018-3-247-253

Hydrological Researches in the Northern Part of the Black Sea in 2016 (Cruises No 87, 89 and 91 of R/V “Professor Vodyanitsky”)

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

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
**e-mail: sea-ant@yandex.ru*

Represented are the results of complex monitoring of the hydrological fields' state and water dynamics in the northern part of the Black Sea within the economic region of Russia carried out in the scientific expeditions in 2016 (cruises No 87, 89 and 91 of R/V “Professor Vodyanitsky”). It is shown that distributions of all the thermo-haline characteristics obtained from the data of three surveys demonstrate a pronounced seasonal character of a signal. It is manifested in consistent decrease of the upper mixed layer mean temperature, growth of temperature in the cold intermediate layer core, and in deepening of the lower boundary of the upper mixed layer, the cold

© Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева, Д. В. Алексеев, А. В. Федирко, С. А. Шутов, Р. В. Колмак,
Р. О. Шаповалов, С. В. Щербаченко, 2018

intermediate layer core and the hydrogen sulphide zone upper boundary. In course of three surveys the Rim Current deep stream was located above the continental slope. The maximum velocities are observed nearby the Crimea southwestern coast. In the western part of the region under study, a well pronounced Sevastopol anticyclone (most distinct in October, 2016) is observed. The Sevastopol anticyclone manifests itself also in distributions of the hydrological characteristics. Temperature increase, salinity decrease, and deepening of the lower boundary of the upper mixed layer and the cold intermediate layer core are observed on the sea surface in the anticyclone area.

Keywords: Black Sea, thermohaline fields, Rim Current, upper mixed layer, cold intermediate layer, Sevastopol anticyclonic gyre, spatial-temporal variability.

For citation: Artamonov, Yu.V., Skripaleva, E.A., Alekseev, D.V., Fedirko, A.V., Shutov, S.A., Kolmak, R.V., Shapovalov, R.O. and Shcherbachenko, S.V., 2018. Hydrological researches in the northern part of the Black Sea in 2016 (cruises No 87, 89 and 91 of R/V “Professor Vodyanitsky”). *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, [e-journal] 34(3), pp. 247-253. doi:10.22449/0233-7584-2018-3-247-253 (in Russian).

В 2016 г. в экспедициях 87, 89 и 91-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий» был проведен комплексный мониторинг состояния гидрологических, гидрхимических, метеорологических, гидрооптических и биологических полей северной части Черного моря в пределах экономической зоны России. Цели экспедиций соответствовали задачам тем «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей, на основе современных методов контроля состояния морской среды и грид-технологий» и «Фундаментальные исследования процессов в системе океан – атмосфера – литосфера, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды и климата глобального и регионального масштабов», выполняемых Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН МГИ) в рамках государственного задания. Гидрологические исследования предусматривали климатический мониторинг термохалинной структуры вод деятельного слоя Черного моря, изучение сезонной трансформации вод холодного промежуточного слоя (ХПС). На основе геострофических расчетов и инструментальных измерений течений исследовалась пространственная структура циркуляции вод.

Схема расположения выполненных гидрологических станций, сроки проведения экспедиций и количество зондирований представлены на рис. 1. Гидрологические измерения на каждой станции проводились с помощью комплекса SBE 911plus. На всех дрейфовых станциях в верхнем 300-метровом слое измерялись скорости течений с помощью акустического профилографа *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*.

Результаты анализа экспедиционных материалов показали, что в распределениях всех термохалинных характеристик по данным трех съемок хорошо прослеживался сезонный сигнал. Он проявлялся в последовательном понижении средней температуры верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) ($T_{\text{ВКС}}$), увеличении температуры в ядре ХПС ($T_{\text{ХПС}}$), увеличении глубин залегания нижней границы ВКС ($H_{\text{ВКС}}$), ядра ХПС ($H_{\text{ХПС}}$) и верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16,2 усл. ед. ($H_{16,2}$). На пространственное распределение термохалинных полей в пределах каждой съемки оказывали заметное влияние синоптические процессы в деятельном слое моря, что обусловило появление «пятен» повышенной или пониженной температуры и солености, а также областей подъема или заглужения различных изоповерхностей.

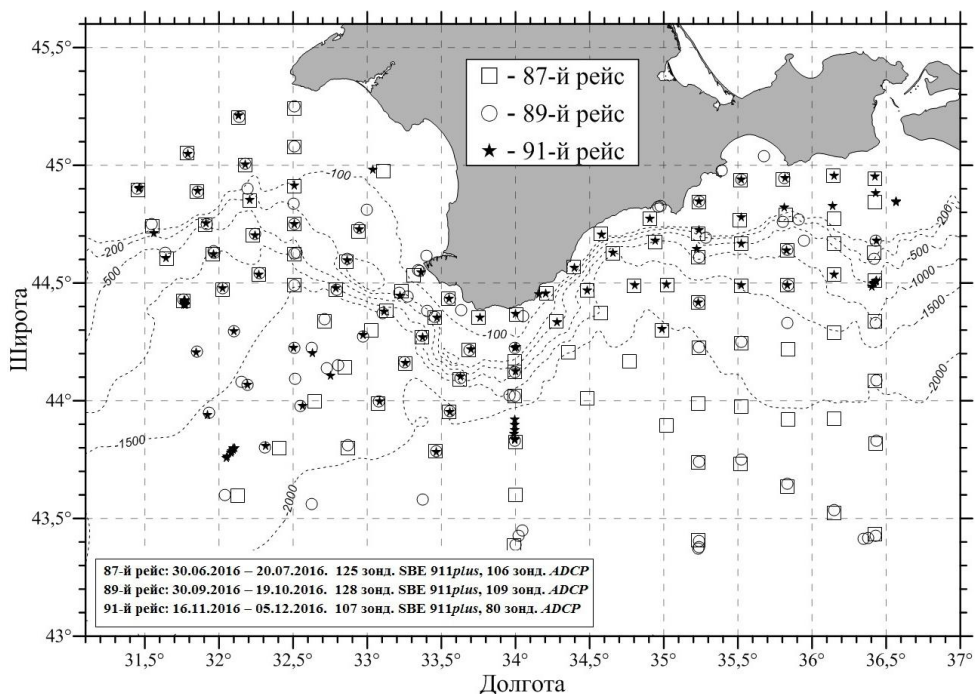


Рис. 1. Схема расположения выполненных гидрологических станций, сроки проведения экспедиций и количество зондирований в 87, 89 и 91-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий». Здесь и на рис. 2 и 3 тонкие пунктирные линии – основные изобаты
Fig. 1. Scheme of location of the performed hydrological stations, terms of the expeditions and quantity of probes in the 87th, the 89th and the 91st cruises of R/V “Professor Vodyanitsky”. Thin dashed lines on Fig. 1, 2 and 3 are the main isobaths

В июле (87-й рейс) $T_{ВКС}$ составляла 24,0–28,0° С (рис. 2, а), $H_{ВКС}$ – 10–20 м. Значения $T_{ХПС}$ и $H_{ХПС}$ изменялись соответственно от 8,19° С и 45 м в глубоководной южной части съемки до 8,49° С и 95 м в северо-западной части съемки мористее свала глубин. Максимальные значения $H_{16,2}$ (160–170 м) прослеживались над свалом глубин у берегов Крыма, минимальные (90–100 м) – на юге съемки в центральной части крупномасштабного Западного циклонического круговорота Черного моря [1–3].

В октябре (89-й рейс) $T_{ВКС}$ изменялась от 17,25° С в восточной части съемки до 21,25° С на западе полигона (рис. 2, с). $H_{ВКС}$ увеличивалась от 10 м в мористой части съемки до 30 м ближе к свалу глубин у берегов Крыма. $T_{ХПС}$ повышалась от 8,32–8,34° С на западной и южной границах полигона до 8,50–8,52° С в районе свала глубин. Минимальные значения $H_{ХПС}$ (40–45 м) наблюдались на западной и южной границах полигона, максимальные – в районе свала глубин в западной части полигона (85–90 м) и у берегов Крыма на востоке съемки (80–85 м). Значения $H_{16,2}$ увеличивались от 100–110 м в глубоководной южной части полигона до 160 м над свалом глубин ближе к берегам Крыма.

В ноябре – декабре (90-й рейс) $T_{ВКС}$ изменялась незначительно – от 12,0 до 14,0° С, при этом область самых теплых вод вытягивалась в виде языка вдоль берегов Крыма от Керченского пролива до Гераклеийского п-ва (рис. 2, е). $H_{ВКС}$ увеличивалась от 25–30 м в мористой части съемки до 60–65 м над свалом

глубин в северо-западной части полигона. Диапазон пространственного изменения $T_{\text{ХПС}}$, так же как и $T_{\text{ВКС}}$, заметно уменьшался по сравнению с июльской и октябрьской съемками, и составлял 8,50–8,58° С. Самые высокие значения $T_{\text{ХПС}}$ наблюдались у Гераклеийского п-ва и восточного берега Крыма. Максимальные значения $H_{\text{ХПС}}$ (90–100 м) прослеживались в северо-западной части полигона и вдоль восточного берега Крыма, минимальные (50–55 м) – в мористой южной части съемки. Распределение $H_{16,2}$ качественно совпадало с распределением $H_{\text{ХПС}}$ – в северо-западной части полигона и вдоль восточного берега Крыма ее значения достигали 160–180 м, в южной части полигона они уменьшались до 110–120 м.

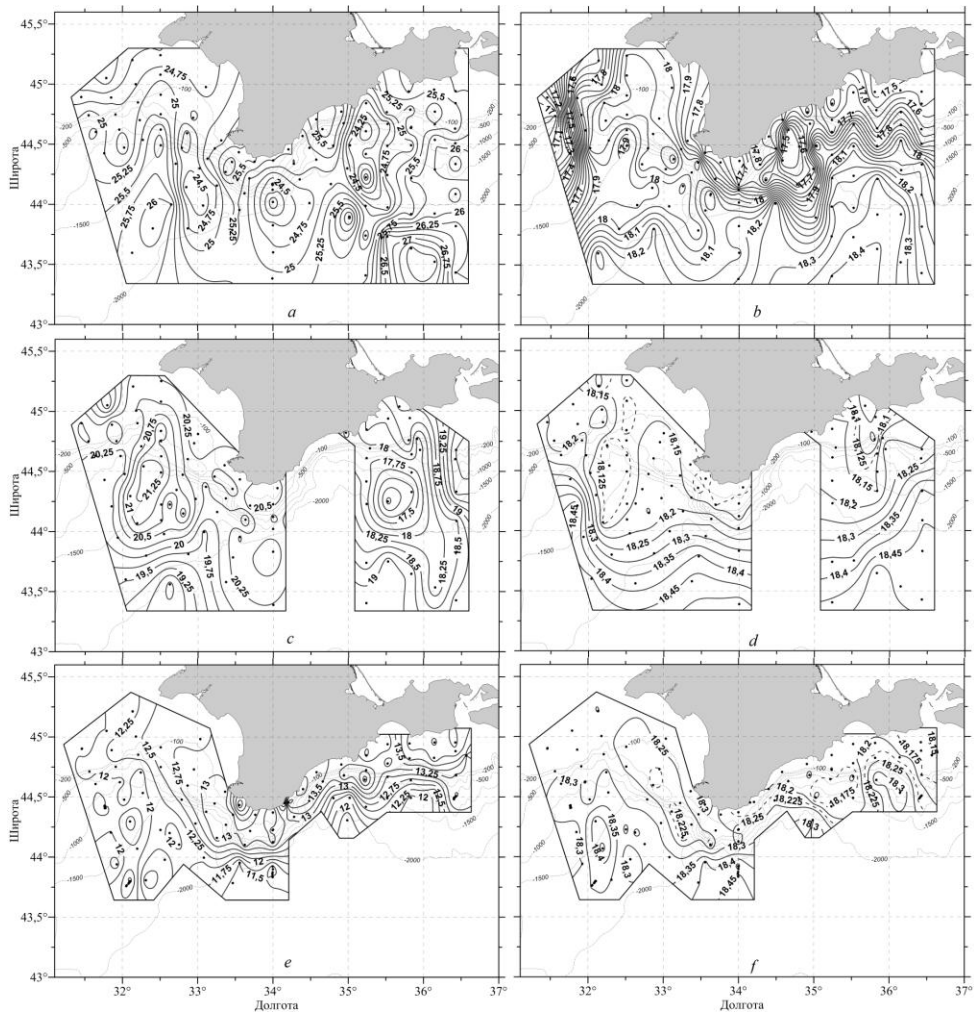


Рис. 2. Распределение температуры (*a, c, e*) и солености (*b, d, f*) в поверхностном слое в июле (*a, b*), октябре (*c, d*) и ноябре – декабре 2016 г. (*e, f*)

Fig. 2. Distribution of temperature (*a, c, e*) and salinity (*b, d, f*) in the surface layer in July (*a, b*), October (*c, d*) and November-December, 2016 (*e, f*)

Пространственное распределение солёности в поверхностном слое по данным трех съёмок показало существенное уменьшение диапазона ее изменчивости от июля к декабрю. В июле (87-й рейс) солёность на полигоне изменялась в широком диапазоне от 17,00 до 18,40‰ [1]. Самые низкие значения солёности (до 17,00‰) были отмечены на крайнем западе съёмки и являлись следами мощного распреснения на северо-западном шельфе Черного моря. Другая область относительно распресненных вод (до 17,50‰) прослеживалась в северо-восточной части съёмки ближе к берегам Крыма. Происхождение этих распресненных вод было связано с выносом на северной периферии Основного Черноморского течения (ОЧТ) вод из района Керченского пролива. В мористой части съёмки солёность увеличивалась до 18,30–18,40‰ (рис. 2, *b*). В октябре (89-й рейс) солёность повышалась в южном направлении от 18,10–18,15‰ у берегов Крыма до 18,45–18,50‰ у южной границы полигона (рис. 2, *d*). В ноябре – декабре (90-й рейс) пространственные изменения солёности были незначительны – от 18,20 до 18,40‰. В этот период наблюдался вынос слабо распресненных вод (18,15–18,20‰) из района Керченского пролива, следы которых достигали Гераклеийского п-ва и прослеживались даже на траверзе Каламитского залива (рис. 2, *f*).

Анализ циркуляции вод на основе геострофических расчетов и инструментальных измерений показал, что стрежень ОЧТ в период трех съёмок располагался над свалом глубин, а скорости ОЧТ существенно изменялись на его отдельных участках. Максимальные скорости (60–70 см/с) обычно наблюдались у юго-западных берегов Крыма. В период июльской съёмки высокие скорости (до 50 см/с) наблюдались также в восточной части полигона южнее Керченского п-ва и на траверзе Феодосийского залива.

ОЧТ представляло собой меандрирующий поток, при этом формирование вихрей и меандров наиболее интенсивно происходило в западной части съёмки. Здесь был зафиксирован хорошо выраженный антициклонический круговорот – Севастопольский антициклон [3, 4], который наиболее четко проявлялся в октябре 2016 г. [5]. По инструментальным данным, в этот период скорости на юго-западной периферии круговорота достигали 40 см/с, на северо-восточной – до 20 см/с (рис. 3, *a*). Проявление Севастопольского антициклона наблюдалось и в распределении гидрологических характеристик. В зоне антициклона на поверхности прослеживалось повышение температуры (до 21,25° С) и понижение солёности (до 18,22‰) (рис. 2, *c, d*). Отмечалось увеличение глубины залегания нижней границы ВКС (до 30–32 м) и ядра ХПС (до 90–91 м), при этом значения температуры в ядре ХПС несколько уменьшались (до 8,42° С) (рис. 3, *b, c, d*).

Полученная информация о пространственно-временном распределении гидрологических параметров и инструментально измеренных течений существенно пополнила архивную базу гидрологических данных Черного моря. Дальнейший комплексный анализ гидрологических, гидрохимических, гидрооптических и биологических данных с привлечением исторических баз данных позволит определить степень аномальности гидрологических полей и оценить общее экологическое состояние вод в северной части Черного моря в пределах экономической зоны России в 2016 г.

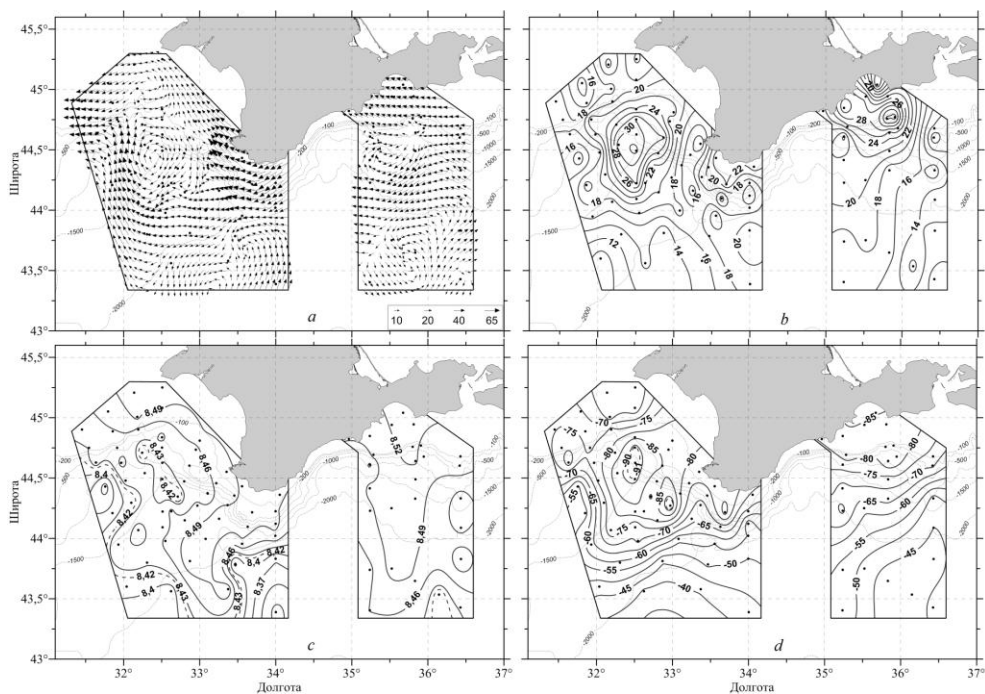


Рис. 3. Распределение векторов инструментально измеренных течений на горизонте 10 м (a), глубины залегания нижней границы ВКС (b), температуры в ядре ХПС (c) и глубины его залегания (d) в октябре 2016 г.

Fig. 3. Distribution of the vectors of the instrumentally measured currents at the 10 m horizon (a), depths of the UML lower boundary (b), temperature in the CIL core (c) and depths of the CIL location (d) in October, 2016

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. Севастополь : МГИ, 2017. Вып. 3. С. 20–31.
2. Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea / T. Oguz [et al.] // Deep-Sea Res. 1993. Vol. 40, iss. 8. P. 1597–1612. doi:10.1016/0967-0637(93)90018-X
3. Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data / G. Korotaev [et al.] // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108, iss. C4. 3122. doi:10.1029/2002JC001508
4. Белокопытов В. Н., Никольский Н. В. Устойчивые антициклонические вихри у южного и западного побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь : МГИ, 2015. Вып. 1. С. 47–53.
5. Циркуляция вод северной части Черного моря в летний сезон 2016 г. (по материалам 87-го рейса НИС «Профессор Водяницкий») / Ю. В. Артамонов [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 1. С. 55–68. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-55-68

Об авторах:

Артамонов Юрий Владимирович, ведущий научный сотрудник отдела океанографии, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), доктор географических наук, SPIN-код: 9350-8966, artam-ant@yandex.ru

Скрипалева Елена Александровна, старший научный сотрудник отдела океанографии, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), кандидат географических наук, ORCID ID: 0000-0003-1012-515X, sea-ant@yandex.ru

Алексеев Дмитрий Владимирович, ученый секретарь, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), кандидат физико-математических наук, ResearcherID: I-3548-2017, Scopus Author ID: 8284177400

Федирко Александр Викторович, младший научный сотрудник отдела океанографии, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), SPIN-код: 2496-1715, vault102@gmail.com

Шутов Сергей Аркадьевич, ведущий инженер-исследователь отдела гидрофизики шельфа, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), shutov_sa@mhi-ras.ru

Колмак Роман Владимирович, старший инженер-исследователь отдела океанографии, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), vkolmak26@yandex.ru

Шаповалов Ростислав Олегович, старший инженер-исследователь отдела гидрофизики шельфа, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), ros787@mail.ru

Щербаченко Сергей Владимирович, инженер отдела гидрофизики шельфа, ФГБУН МГИ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2), shcherbachenko_sv@mhi-ras.ru