

Структура полей океанологических величин в зоне апвеллинга у Гераклейского полуострова (Крым) в августе 2019 года

П. Д. Ломакин *, А. И. Чепыженко

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: p_lomakin@mail.ru*

Аннотация

На основе данных экспедиции, проведенной Морским гидрофизическим институтом в августе 2019 г., рассмотрены закономерности структуры полей температуры, солёности, концентрации общего взвешенного вещества и концентрации окрашенного растворенного органического вещества на двух смежных участках, расположенных вдоль северо-западного (участок 1) и юго-западного (участок 2) берегов Гераклейского полуострова. Используются методы и подходы классической океаногрaфии, основанные на анализе структуры полей рассматриваемых величин. Показано, что на участке 1 с береговой линией, ориентированной под острым углом к вектору ветра, преобладали адвективные процессы, а структура полей океанологических элементов не содержала антропогенных признаков. На участке 2, береговая линия которого расположена по нормали к вектору ветра, отмечен сгонный эффект и подъем вод из глубинных горизонтов к поверхности моря. Здесь в толще вод обнаружены линзы с пониженной солёностью, повышенным содержанием общего взвешенного и растворенного органического веществ. Эти линзы возникли под влиянием сточных вод, распространявшихся в системе восходящей циркуляции апвеллинга из находящегося рядом коллектора.

Ключевые слова: температура, солёность, общее взвешенное вещество, окрашенное растворенное органическое вещество, апвеллинг, загрязнение, Гераклейский полуостров, Крым

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № 0555-2021-0005 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

Для цитирования: Ломакин П. Д., Чепыженко А. И. Структура полей океанологических величин в зоне апвеллинга у Гераклейского полуострова (Крым) в августе 2019 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 31–41. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-31-41

© Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., 2022



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

The Structure of Fields of Oceanological Quantities in the Upwelling Zone at the Herakleian Peninsula (Crimea) in August 2019

P. D. Lomakin *, A. I. Chepyzhenko

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: p_lomakin@mail.ru*

Abstract

Based on the data obtained during an expedition of Marine Hydrophysical Institute in August 2019, the paper considers the morphology of the fields of temperature, salinity, content of total suspended matter and coloured dissolved organic matter in two adjacent areas located along the north-west (area 1) and south-west (area 2) coasts of the Herakleian Peninsula. The authors used methods and approaches based on classical oceanographic analysis of field structure of quantities under study. It is shown that in area 1 with the coastline oriented at an acute angle to the wind arrow, advective processes prevailed, and the structure of the fields of oceanological elements contained no anthropogenic features. In area 2, the coastline of which is located along the normal to the wind arrow, the surge effect and the rise of water from deep horizons to the sea surface were noted. Here, in the water column, lenses with low salinity, increased content of total suspended and dissolved organic matter were found. These lenses arose under the influence of wastewater distributed in the upwelling ascensional circulation system from a nearby wastewater collector.

Keywords: temperature, salinity, total suspended matter, coloured dissolved organic matter, upwelling, contamination, Herakleian Peninsula, Crimea

Acknowledgments: the research was funded under state assignment no. 0555-2021-0005 of FSBSI RFC MHI “Complex interdisciplinary studies of oceanologic processes which determine functioning and evolution of ecosystems in the coastal zones of the Black Sea and the Sea of Azov”.

For citation: Lomakin, P.D. and Chepyzhenko, A.I., 2022. The Structure of Fields of Oceanological Quantities in the Upwelling Zone at the Herakleian Peninsula (Crimea) in August 2019. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 31–41. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-31-41 (in Russian).

Введение

Прибрежная акватория Черного моря у Гераклеийского п-ова (рис. 1) достаточно хорошо изучена. В настоящее время имеется ряд публикаций [1–8], которые посвящены динамике вод, моделированию, спутниковым исследованиям распространения загрязняющих веществ¹⁾, гидрохимическому режиму региона²⁾. Особый интерес к этой акватории обусловлен возросшей в последние годы антропогенной нагрузкой на водную среду.

В одной из недавно вышедших работ [9] проанализированы современные сведения, касающиеся источников загрязнения рассматриваемой прибрежной акватории, объемов поступающих в нее сточных вод, химического

¹⁾ URL: http://dvs.net.ru/SWCrimea/stoki_ru.shtml (дата обращения: 18.03.2022).

²⁾ Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 / Под ред. А. Н. Коршенко М. : Наука, 2016. 184 с.

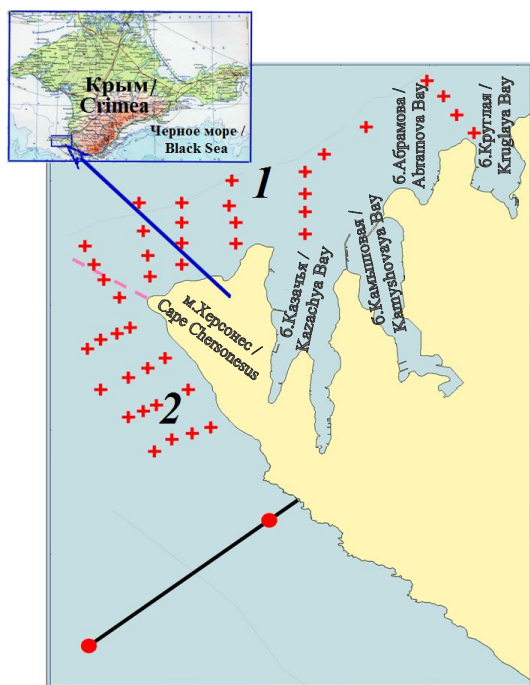


Рис. 1. Схема станций океанологической съемки, проведенной 23 августа 2019 г. (1, 2 – условно выделенные участки акватории; черная линия с двумя красными кружками – трубопровод очистных сооружений с двумя выпусками). На врезке – географическое положение исследуемой акватории

Fig. 1. Diagram of oceanographic stations of the survey conducted on August 23, 2019 (1, 2 – conditionally designated areas of the water area; black line with two red circles – the sewage treatment plant pipeline with two outlets). Inset map – the geographical position of the studied water area

состава загрязняющих веществ. Лишь в отдельных указанных публикациях анализировались поля океанологических элементов, которые использовались в основном в качестве фона. С точки зрения океанологии эта прибрежная область Крымского п-ова остается недостаточно исследованной.

Цели статьи:

- на базе экспедиционных данных выявить закономерности структуры термохалинного поля, а также полей концентрации общего взвешенного вещества (ОВВ) и окрашенного растворенного органического вещества (РОВ) у берега Гераклейского п-ова;
- определить в структуре полей анализируемых величин признаки антропогенного воздействия на водную среду;
- рассмотреть факторы, формирующие прибрежную зону загрязнения.

Исходные данные и методы исследования

Анализ выполнен по материалам экспедиции, проведенной Морским гидрофизическим институтом 23 августа 2019 г., в ходе которой в слое 0–25 м велись синхронные наблюдения за температурой, соленостью, концентрацией ОВВ и РОВ. Съёмка проведена по схеме станций, показанной на рис. 1. Диапазон глубин на полигоне – от 6 до 150 м. На каждой станции все четыре параметра среды синхронно фиксировались в зондирующем режиме *in situ* с шагом по глубине 0.1 м при помощи зондирующего комплекса «Кондор»³⁾.

³⁾ URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 8.03.2022).

Отметим, что ОВВ и особенно РОВ относят к числу наиболее информативных показателей качества вод. В настоящее время РОВ активно используется в мировой практике как индикатор загрязнения (в том числе и бактериального) прибрежных морских и океанских акваторий [10–12].

На сегодняшний день предельно допустимая концентрация ОВВ и окрашенного РОВ как численный показатель загрязнения водной среды не определена. Поэтому для оценки значимости антропогенной составляющей в поле концентрации этих веществ их фактическое содержание сравнивалось с концентрацией, типичной для открытых вод Черного моря у берегов Крыма.

По результатам многочисленных экспедиций нами установлено, что в верхнем слое вод толщиной 20–30 м у берегов Крыма поле содержания РОВ однородно. Его характерная концентрация изменяется в пределах 1.4–2.1 мг/л при солёности 18.2–18.4 ЕПС [13].

Участки акватории, подверженные антропогенному воздействию, выделяются на окружающем фоне в виде локальных максимумов содержания этого вещества. В районе севастопольского взморья концентрация РОВ антропогенного происхождения на поверхности моря изменяется в интервале 2.2–14.8 мг/л. Максимальная концентрация этого вещества обнаружена в районе выпуска сточных вод Балаклавы, находящегося восточнее входа в Балаклавскую бухту [14].

Изолиния концентрации РОВ, равной 2.2 мг/л, на схемах горизонтального распределения данной величины может быть принята в качестве условной границы, разделяющей воды, содержащие антропогенную составляющую, и воды, где антропогенная добавка незначительна. По расположению локальных максимумов концентрации РОВ можно определить объекты, оказывающие антропогенное воздействие на водную среду [13].

Согласно [15], в центральной части Черного моря концентрация ОВВ равна 0.2 мг/л. В прибрежных водах Крыма, не испытывающих антропогенной нагрузки, из-за влияния берега и дна она гораздо выше – 0.8 мг/л [16].

Поэтому концентрация окрашенного РОВ и ОВВ, 2 мг/л и 0.8 мг/л соответственно, условно принята в качестве природной нормы содержания данных веществ в черноморских водах у Крымского п-ова.

Используя термин «загрязнение», мы придерживаемся определения *contamination*, заимствованного из работы [17]. Загрязнение (*contamination*) – это присутствие вещества там, где его не должно быть, или в концентрациях выше фона. *Pollution* – загрязнение, которое приводит или может привести к неблагоприятным биологическим последствиям для местных сообществ.

Обнаруженные в структуре полей рассматриваемых величин образования, не свойственные природному распределению и выделявшиеся на окружающем фоне, принимались в качестве признаков антропогенного воздействия.

Обсуждение результатов

Погода во время съемки определялась юго-восточной периферией антициклона с центром над Белоруссией. Съемка сопровождалась северным, северо-восточным ветром со средней за сутки скоростью 6 м/с. В море во время выполнения съемки его скорость достигала 8–13 м/с. Волнение моря – 3–4 балла.

Для удобства описания и с учетом особенностей гидрологического режима вся рассматриваемая акватория нами условно разделена на два участка. Участок 1 – воды северо-западной части севавтопольского взморья, от б. Омега (Круглая) до м. Херсонес. Участок 2 – воды, омывающие юго-западный берег Гераклеийского п-ова. Первый участок – относительно мелководная (глубина менее 30 м) акватория, где поля исследуемых величин формировались под влиянием адвективных процессов. Состояние полей океанологических величин второго участка, который расположен над свалом, в районе с преобладающим пологим рельефом и довольно резким увеличением глубины у берега, в значительной степени определялось вертикальной циркуляцией вод (рис. 1).

На участке 1 с береговой линией, ориентированной под острым углом к вектору ветра, превалировал ветровой нагон и соответствующий перенос вод, направленный к берегу. На участке 2, береговая линия которого расположена по нормали к вектору ветра, отмечен сгонный эффект и подъем вод к поверхности моря. Структура вод на соответствующих акваториях характеризовалась качественными различиями.

Между выделенными участками наблюдалась природная граница в виде фронтального раздела в полях всех четырех анализируемых величин, который был хорошо выражен на поверхности моря (рис. 2) и обозначен пунктирной линией красного цвета на рис. 1.

На участке 1 водная толща характеризовалась однородностью и параметрами, близкими к параметрам вод открытой части севавтопольского взморья. Здесь наблюдался перенос с севера вод повышенной температуры и солености с минимальным содержанием ОБВ (0.6–0.8 мг/л) и РОВ (1.6–1.8 мг/л) (рис. 2).

На участке 2 на поверхности моря в поле температуры отчетливо виден очаг апвеллинга (минимум 21.6–22.2 °С), вытянутого вдоль юго-западного берега Гераклеийского п-ова. В полях других элементов на поверхности моря эффект сгона не столь очевиден (рис. 2).

Более детальную информацию об апвеллинге содержат особенности вертикальной стратификации анализируемых величин в подповерхностном слое вод (рис. 3).

На обоих участках наблюдалась типичная для летнего сезона двухслойная вертикальная структура поля температуры с монотонно убывающим профилем $T(z)$. Верхний квазиоднородный слой толщиной 10–15 м был отчетливо выражен. Он подстилался сезонным термоклином, глубже которого температура воды медленно понижалась с глубиной до 11–13 °С на горизонтах 20–25 м. На участке 1 термоклин располагался в слое 13–20 м, а его поверхность была почти горизонтальной. На участке 2 под влиянием апвеллинга термоклин был приподнят у берега и находился на меньшей глубине, между горизонтами 8–15 м (рис. 3, а).

Соленость в верхнем слое вод на первом участке, равная 18.1–18.3 ЕПС, была выше на 0.1–0.2 ЕПС по сравнению с участком 2. То есть в системе восходящей циркуляции к поверхности участка 2 вышли менее соленые воды (рис. 3, б).

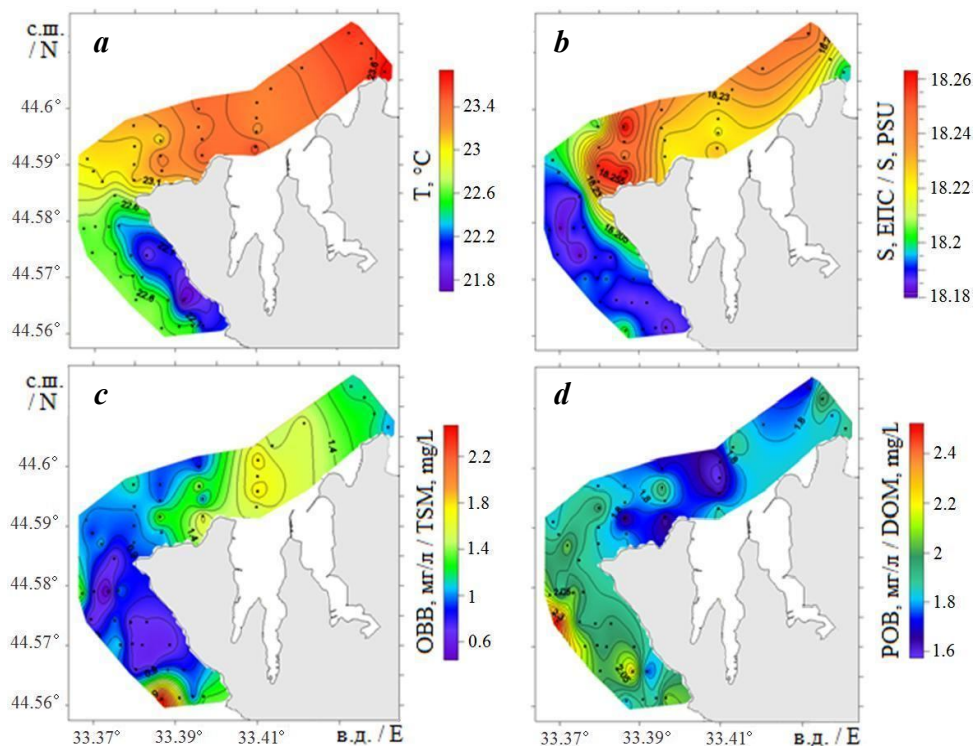


Рис. 2. Распределение: *a* – температуры, °С; *b* – солёности, ЕПС; *c* – концентрации ОБВ, мг/л; *d* – концентрации окрашенного РОВ, мг/л, в верхнем слое вод в августе 2019 г. по данным экспедиции МГИ

Fig. 2. Distribution of *a* – temperature, °C; *b* – salinity, PSU; *c* – TSM concentration, mg/L; *d* – coloured DOM concentration, mg/L in the upper water layer in August 2019 according to the MNI expedition data

В отличие от структуры поля температуры, поле солёности было относительно однородным по вертикали. От поверхности до нижнего горизонта зондирования солёность на всей рассматриваемой акватории изменялась в интервале 0.2–0.3 ЕПС и характеризовалась немонотонной вертикальной стратификацией. Распределение $S(z)$ – немонотонная функция глубины с промежуточным минимумом, который располагался в слое 5–20 м (рис. 3, *b*).

Важный элемент стратификации халинного поля – наличие в подповерхностных водах структурных неоднородностей с пониженной на 0.05–0.17 ЕПС относительно окружающего фона солёностью. Эти образования были наиболее выраженными на участке 2, где они выделялись в виде отдельных линз с вертикальным и горизонтальным масштабом около 10 м и 200–400 м (рис. 3, *b*).

Структура поля концентрации ОБВ на анализируемых участках также существенно различалась. На поверхности моря на мелководном участке 1 концентрация ОБВ изменялась в интервале 1.1–2.0 мг/л. Поле этой величины характеризовалось однородностью. На поверхности преобладающей части акватории участка 2 содержание ОБВ было минимальным (0.4–1.1 мг/л),

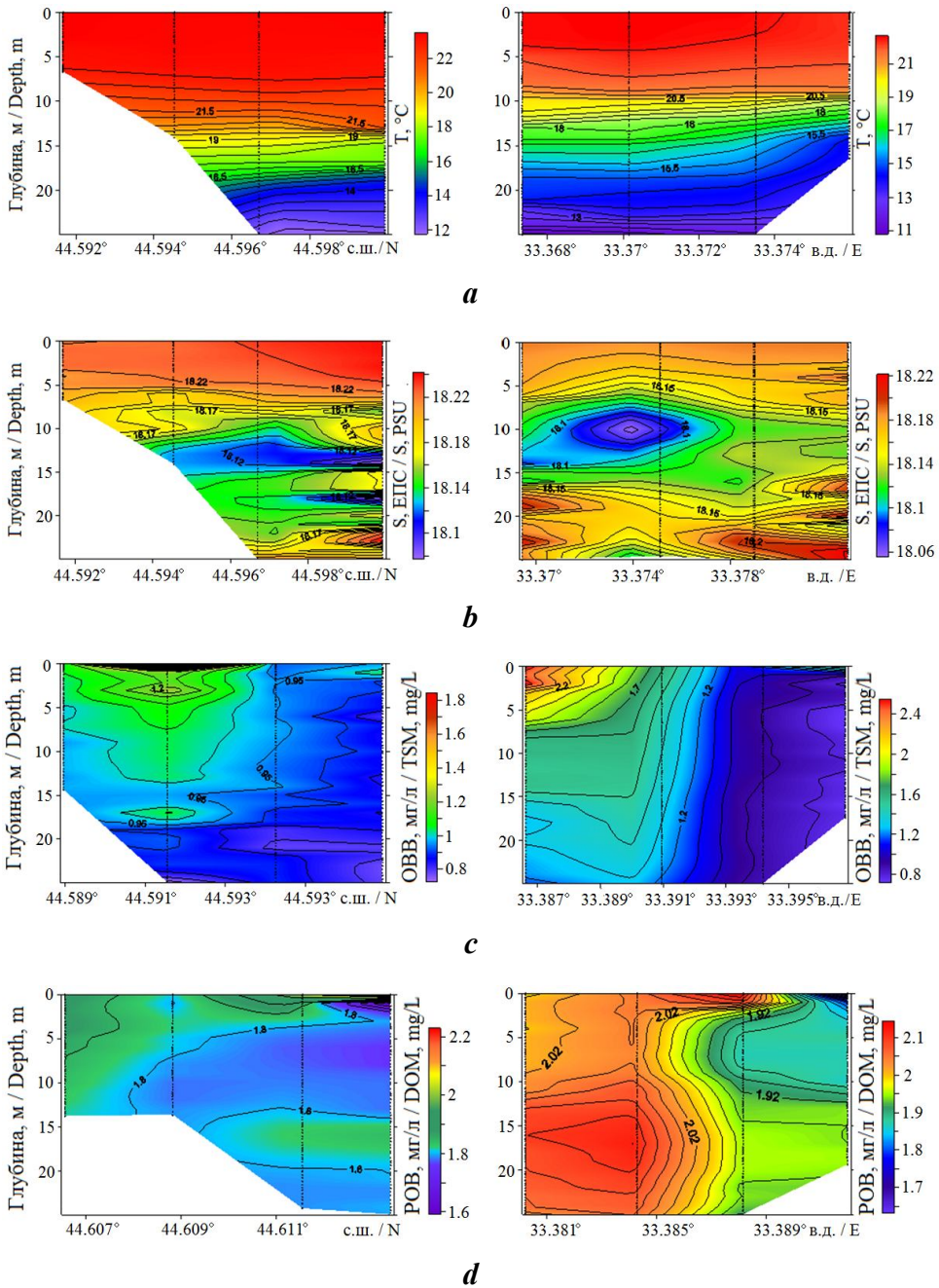


Рис. 3. Вертикальное распределение: *a* – температуры, °С; *b* – солёности, ЕПС; *c* – концентрации ОВВ, мг/л; *d* – концентрации окрашенного ОВВ, мг/л на участке 1 (слева) и на участке 2 (справа) в августе 2019 г., по данным экспедиции МГИ

Fig. 3. Vertical distribution of *a* – temperature, °C; *b* – salinity, PSU; *c* – concentration of TSM, mg/L; *d* – concentration of coloured DOM, mg/L in Section 1 (left) and in Section 2 (right) in August 2019 according to the MHI expedition data

за исключением его крайней южной области. Здесь на фоне малоградиентного поля ОБВ отчетливо выделялась линза с вертикальным масштабом 5–7 м и максимальной в пределах всей рассматриваемой акватории концентрацией 2.4–2.5 мг/л, что в три раза превышало природную норму (рис. 3, *c*).

В вертикальной структуре поля концентрации ОБВ, как и в структуре халинного поля, в толще вод выявлены неоднородности в виде линз с повышенным относительно окружающего фона содержанием этого вещества. Причем подобные структурные образования чаще наблюдались на участке 2, где они были более выраженными (рис. 3, *c*).

Поле концентрации окрашенного РОВ также имело заметные структурные различия. На поверхности преобладающей части акватории участка 2 содержание данного вещества было близким к норме (2.0–2.1 мг/л). В юго-западной части этого участка наблюдалась линза с максимальной концентрацией РОВ (до 2.4 мг/л), которая прослеживалась во всей толще вод от поверхности до нижнего горизонта зондирований. На большей части акватории участка 1 на поверхности концентрация РОВ была минимальной (1.6–1.8 мг/л) (см. рис. 2).

В вертикальной структуре поля концентрации окрашенного РОВ, как и в структуре халинного поля и поля содержания ОБВ, в толще вод отмечены отдельные линзы с повышенным содержанием этого вещества. Подобные структурные образования чаще наблюдались на участке 2, где они были более выраженными, а концентрация РОВ в их ядрах достигала 2.5–2.7 мг/л, что превышало природную норму в 1.2–1.4 раза (рис. 3, *d*).

Рассмотренные выше сведения указывают на то, что поля солености, концентрации ОБВ и РОВ на участке 2 имели составляющую, которой не было на участке 1. На участок 2 в системе восходящей циркуляции, вызванной апвеллингом, к поверхности моря поступали воды с глубинных горизонтов, которые обладали низкой соленостью и высокой, превышавшей природную норму, концентрацией ОБВ и РОВ. Эти воды имели явно антропогенное происхождение.

На базе анализа серии гидрохимических съемок, методов численного моделирования и спутниковой гидрофизики [3–9] установлен основной источник загрязнения рассматриваемой акватории – канализационный коллектор очистительных сооружений «Южные». Следы распространения канализационных вод из данного источника отчетливо видны на спутниковых снимках (рис. 4).

Заключение

На основе данных экспедиции, проведенной в районе Гераклеийского п-ова в августе 2019 г., проанализирована структура полей температуры, солености, содержания ОБВ и окрашенного растворенного органического вещества РОВ.

Условно выделены два участка исследуемого региона: акватория, расположенная вдоль северо-западного (участок 1) и акватория у юго-западного (участок 2) берега Гераклеийского п-ова, где поля анализируемых величин формировались под влиянием различных факторов и обладали собственными свойствами.

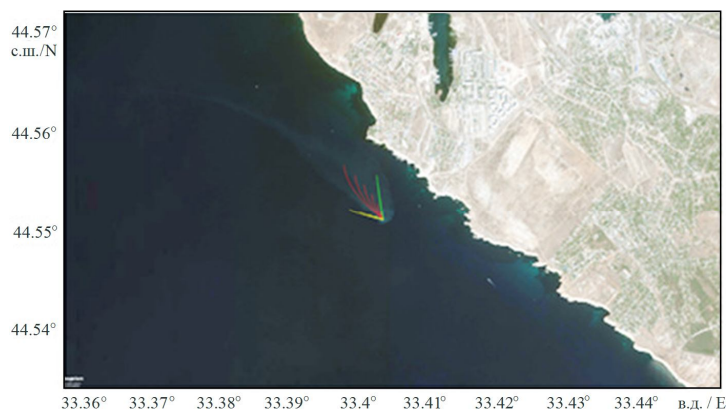


Рис. 4. Следы распространения сточных вод из коллектора очистительных сооружений «Южные» на спутниковом снимке участка акватории у Гераклейского п-ова (снимок *Google Earth*)

Fig. 4. Traces of the spread of wastewater from the collector of the *Yuzhnye* treatment facilities in the satellite image of the water area near the Heracleian Peninsula (*Google Earth* image)

На участке 1 с береговой линией, ориентированной под острым углом к вектору ветра, преобладали адвективные процессы, а структура полей океанологических элементов не содержала антропогенных признаков. На участке 2, береговая линия которого расположена по нормали к вектору ветра, отмечен сгонный эффект и подъем вод из глубинных горизонтов к поверхности моря. В толще вод обнаружены отдельные линзы с пониженной соленостью и содержанием ОВВ и РОВ, превышавшим природную норму.

Показано, что основной источник загрязнения рассмотренной акватории связан с канализационным коллектором очистительных сооружений «Южные».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2 : Черное море / Ильин Ю. П. [и др.]. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. 421 с.
2. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. Севастополь : МГИ, 2011. 209 с.
3. Дулов В. А., Юровская М. В., Козлов И. Е. Прибрежная зона Севастополя на спутниковых снимках высокого разрешения // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 6. С. 43–60.
4. Бондур В. Г., Гребенюк Ю. В. Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглуженными стоками: моделирование, эксперименты // Исследование Земли из космоса. 2001. № 6. С. 49–67.
5. Определение местоположения начального поля концентрации возможного источника загрязнения в акватории черного моря у Гераклейского полуострова на основе метода сопряженных уравнений / С. Г. Демьшев [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 2. С. 226–237. doi:10.22449/0233-7584-2020-2-226-237

6. *Иванов В. А., Фомин В. В.* Численное моделирование заглубленного стока в прибрежной зоне Гераклеийского полуострова // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 6. С. 89–103.
7. *Мезенцева И. В., Мальченко Ю. А.* Комплексный подход в организации мониторинга загрязнения морских вод в прибрежных акваториях Севастополя // Труды ГОИН. М. : ГОИН, 2015. Вып. 216. С. 326–339.
8. Сезонная динамика содержания и локальные источники биогенных элементов в водах прибрежной акватории Гераклеийского полуострова / Е. Е. Совга [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 1. С. 56–65. doi:10.22449/0233-7584-2017-1-56-65
9. Источники загрязнения прибрежных вод севастопольского района / В. М. Грузинов [и др.]. Океанология. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. doi:10.31857/S0030-1574594579-590
10. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf / E. Boss [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2001. Vol. 106, iss. C5. P. 9499–9507. doi:10.1029/2000JC900008
11. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) / M. Tedetti [et al.] // Environmental Chemistry. 2012. Vol. 9, iss. 5. P. 438–449. doi:10.1071/EN12081
12. Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341 / C. M. G. Karlsson [et al.] // Microbial Biotechnology. 2019. Vol. 12, iss. 5. P. 892–906. doi:10.1111/1751-7915.13441
13. Контроль системы течений и полей концентрации общего взвешенного и растворенного органического веществ в озере Донузлав в мае 2019 года / П. Д. Ломакин [и др.] // Системы контроля окружающей среды. 2021. Вып. 1. С. 87–94. doi:10.33075/2220-5861-2021-1-87-94
14. *Lomakin P. D., Chepyzhenko A. I., Chepyzhenko A. A.* Formation peculiarities of natural and pollutant substances' fields structure in Balaklava bay (Sevastopol) according to hydrooptic observations data // Proceedings of SPIE, 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 2–5 July 2018. Tomsk, 2018. Vol. 10833. 1083341. doi:10.1117/12.2503924
15. *Хайлов К. М.* Экологический метаболизм в море. Киев : Наукова думка, 1971. 252 с.
16. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Чепыженко А. А.* Поле концентрации общего взвешенного вещества в Керченском проливе на базе оптических наблюдений // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 6. С. 65–77. doi:10.22449/0233-7584-2017-6-65-77
17. *Chapman P. M., Hayward A., Faithful J.* Total suspended solids effects on freshwater lake biota other than fish // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2017. Vol. 99. P. 423–427. doi:10.1007/s00128-017-2154-y

Поступила 15.11.2021 г.; одобрена после рецензирования 20.12.2021 г.;
принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Ломакин Павел Демьянович, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, профессор, **ResearcherID: V-7761-2017, IстинаResearcherID (IRID): 18552240, p_lomakin@mail.ru**

Чепыженко Алексей Ильич, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ResearcherID: AAG-7929-2020, Scopus Author ID: 6504344211, IстинаResearcherID (IRID): 6647872, ecodevice@yandex.ru**

About the authors:

Pavel D. Lomakin, Leading Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), professor, **ResearcherID: V-7761-2017, Scopus Author ID: 6701439810, IстинаResearcherID (IRID): 18321047, p_lomakin@mail.ru**

Alexey I. Chepyzhenko, Senior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Tech.), **ResearcherID: AAG-7929-2020, Scopus Author ID: 6504344211, IстинаResearcherID (IRID): 6647872, ecodevice@yandex.ru**

Заявленный вклад авторов:

Ломакин Павел Демьянович – общее научное руководство исследованием; формулировка целей и задач исследования; написание основного текста статьи и его редактирование

Чепыженко Алексей Ильич – подготовка измерительного комплекса; проведение экспедиционных работ; проведение наблюдений за течениями, температурой, соленостью, концентрацией ОВВ и РОВ; обработка исходных данных; представление основного графического материала, редактирование текста статьи

Contribution of the authors:

Pavel D. Lomakin – general scientific supervision of the study; study task and objective statement; main text writing and revision

Alexey I. Chepyzhenko – measuring complex preparation; performance of expedition works; observation of currents, temperature, salinity, concentrations of TSM and DOM; raw data processing; main visual material preparation; paper text revision

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.