ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД БУХТЫ КАЗАЧЬЯ (КРЫМ) В СЕНТЯБРЕ 2018 ГОДА

П.Д. Ломакин^{1,2}, А.А. Чепыженко¹

¹ Морской гидрофизический институт РАН, РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: p_lomakin@mail.ru, ecodevice@yandex.ru

² Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: p_lomakin@mail.ru

На базе данных комплексной экспедиции, проведенной Институтом морских биологических исследований (г. Севастополь) в сентябре 2018 года, проанализирована структура полей температуры, солености, содержания общего взвешенного (ОВВ) и растворенного органического веществ (РОВ) и концентрации растворенных нефтепродуктов в бухте Казачья. Показано, что циркуляция вод в бухте и структура полей исследуемых элементов водной среды определялась нагонным ветром северной четверти. Выявлены закономерности термохалинной структуры в Казачьей бухте. Определены источники загрязнения рассматриваемой акватории и пути распространения загрязняющих веществ. Оценена степень загрязнения ее вод растворенным органическим веществом искусственного происхождения и нефтепродуктами.

Ключевые слова: температура, соленость, загрязнение, ОВВ, РОВ, нефтепродукты, Казачья бухта, Крым.

Поступила в редакцию: 08.11.2018. После доработки: 20.11.2018.

Введение. Бухта Казачья расположена на юго-западном побережье Крымского полуострова, на юго-западной окраине г. Севастополь (рис. 1). Она меридионально ориентирована и свободно сообщается с морем. Ширина устьевой области бухты ~0.6 мили. В виде двух рукавов (западного и восточного) Казачья бухта вдается в сушу на расстояние соответственно 2.0 и 2.6 мили. Мористая область бухты наиболее глубока, с отметками до 20–25 м. С востока бухта Казачья отделена от рядом расположенной Камышовой бухты мысом Манганари. К восточному рукаву бухты примыкает микрорайон Севастополя (Казачка), который в настоящее время интенсивно развивается, что оказывает антропогенную нагрузку на водную среду.

В океанологическом плане Казачья бухта, практически, не исследована. Также немногочисленны сведения о загрязнении ее вод.

В настоящей статье представлен анализ структуры полей температуры, солености, содержания общего взвешенного в воде вещества (ОВВ) и растворенного органического вещества (РОВ), а также поля концентрации растворенных

нефтепродуктов на акватории Казачьей бухты. Выявлены основные источники загрязнения исследуемой акватории, рассмотрены траектории распространения поллютантов, оценена степень современного загрязнения ее вод растворенным органическим веществом искусственной природы и нефтепродуктами. Отметим, что РОВ относят к одному из самых эффективных показателей загрязнения вод. В настоящее время этот элемент нашел широкое применение в мировой практике в задачах оценки качества вод на прибрежных акваториях океанов и морей [1–3].

Исходные данные и методы исследования. Анализ выполнен на основе данных комплексной экспедиции, проведенной Институтом морских биологических исследований (г. Севастополь) при участии авторов настоящей статьи. В рамках этой экспедиции наряду с гидробиологическими наблюдениями был выполнен комплекс наблюдений за гидрофизическими элементами среды, а также показателями ее загрязнения. Съемка акватории бухты реализована 10 сентября 2018 года по схеме станций (всего 30), представленной на рис. 1. Ко-

ординаты станций определялись при помощи приемника GPS. Заборные работы проведены в дрейфе с борта маломерного судна. Диапазон глубин на полигоне 4–21 м.

Основной массив исходной информации получен при помощи оптического биофизического зондирующего комплекса «Кондор» [4].

- Условные обозначения:
- (Д) - дельфинарий
 - (Н) - нефтехранилище
 - (НТ) - нефтяной терминал

Рис. 1. Географическое положение бухты Казачья. Схема станций комплексной съемки, выполненной 10 сентября 2018 года, с обозначением линии разреза

Температура, соленость, концентрация ОВВ и РОВ в водной толще синхронно фиксировались в зондирующем режиме *in situ* с шагом по глубине 0.1 м.

Концентрация растворенных в морской воде нефтепродуктов определялась в отобранных с поверхности моря про-

бах воды в лабораторных условиях традиционным флуоресцентным методом (UV-fluorescence method) [5–7].

Данная величина представлена в относительных единицах (отн. ед.) и показывает, во сколько раз измеренное содержание нефтепродуктов превосходит его концентрацию в незагрязненных водах центральной части Черного моря, которая принята за единицу.

Анализируемые поля горизонтального распределения исследуемых величин в верхнем слое, за исключением поля содержания растворенных нефтепродуктов, получены путем осреднения фактических данных в слое 0–1 м. Это сделано с целью снижения вклада пульсационной составляющей, связанной с волнением моря. Концентрация нефтепродуктов касается поверхности моря. В тексте статьи и подрисовочных подписях, для удобства, при описании всех рассматриваемых полей использован термин «на поверхности» моря.

Погода во время съемки была обусловлена прохождением вторичных холодных фронтов, связанных с циклоном, центр которого находился между Одессой и Киевом. Эта ситуация определила облачную погоду с ветром северной четверти скоростью 5–7 м/с. В первой половине дня ветер был северо-западным, во второй – северо-восточным. Волнение моря 2–3 балла.

Обсуждение результатов. К основным факторам, генерирующим систему течений в бухте и формирующим структуру гидрофизических полей, распространение взвеси и растворенных веществ можно отнести ветровую деятельность.

Под влиянием нагонного ветра в бухту проникли воды с открытой акватории моря с собственными TS-индексами и другими свойствами, достигнув мелководных (глубина 4–7 м) кутовых участков обоих рукавов. Между взаимодействующими водами открытого моря и водами мелководной области наблюдались отчетливо выраженные термохалинные фронтальные разделы. Этот эффект виден в горизонтальной структуре термохалинного поля (рис. 2а–г).

Рис. 2. Горизонтальное распределение температуры, $^{\circ}\text{C}$ на поверхности (а), у дна (б) и солёности, ЕПС на поверхности (в) и у дна (г); вертикальное распределение температуры (д) и солёности (е)

Вертикальная термохалинная структура в мористой части бухты характеризовалась признаками, типичными для стратификации вод открытой части Черного моря в теплый период года (рис. 2д, е). Над глубинами 9–21 м наблюдался верхний квазиоднородный слой с температурой 23.5°C и соленостью 17.8 ЕПС. Квазиоднородный слой подстилался слоем скачка толщиной 4–6 м с вертикальным градиентом термохалинных характеристик равным соответственно 1.2°C/м и 0.05 ЕПС/м. Под слоем скачка термохалинные параметры плавно изменялись с глубиной.

На мелководных кутовых участках исследуемой акватории термохалинная стратификация отсутствовала. Толща вод здесь была однородной с температурой 23.5–23.7°C и соленостью 17.6–17.7 ЕПС.

Диапазоны абсолютной изменчивости температуры и солености на поверхности и у дна соответственно равны 23.6–24.1°C и 17.6–17.9 ЕПС; 12.0–24.1°C и 17.6–18.1 ЕПС (рис. 2).

Воды мористой области бухты отличались низким (0.4–0.8 мг/л) содержанием ОБВ. Высокая концентрация этого вещества 2–3 мг/л, наблюдалась в кутовой части обоих рукавов, что связано с процессом взмучивания придонного слоя, а также с поступлением антропогенной взвеси со сточными хозяйственно-бытовыми водами микрорайона Казачка (рис. 3).

Абсолютный максимум концентрации ОБВ зафиксирован в ядре обособленной линзы, которая была обнаружена в центре мористой области Казачьей бухты. Её ядро с концентрацией взвеси 4.2 мг/л и диаметром 300–400 м находилось на глубине 2–4 м. На поверхности диаметр этой линзы – около 250 м, а вертикальный масштаб – порядка 10 м. Линза располагалась в толще вод, её нижняя граница не достигала дна (рис. 3а, д), что свидетельствует об адвективном происхождении данного образования. Судя по направлению общего переноса вод, в Казачью бухту рассматриваемая линза была занесена с моря.

Южнее этой линзы в поле ОБВ наблюдались еще три подобные, но менее масштабные образования, вероятно, также адвективной природы (рис. 3а).

В поле концентрации РОВ выявлены два участка с максимальным содержанием этого вещества, в 1.3–1.6 раза превышавшим природную норму, которая, согласно [8], для Черного моря равна 2 мг/л. Это восточное побережье восточного рукава бухты, где расположен микрорайон Казачка и участок у западного берега ее мористой области (рис. 3в, г).

Источник загрязнения первого участка, где концентрация РОВ во всей толще вод была ~ 2.5 мг/л, очевиден. Он обусловлен сточными хозяйственно-бытовыми водами жилого массива. Источник загрязнения второго участка, где содержание растворенной органики достигало 3.1 мг/л, скорее всего, связан с расположенным на берегу дельфинарием (рис. 1, 3). С 2014 года дельфинарий не функционирует, но его длительная эксплуатация, сопровождавшаяся сбросом воды в бухту, могла привести к накоплению органического вещества в грунте. Грунтовые иловые воды на рассматриваемом участке – вероятный источник его загрязнения.

Сточные воды дельфинариев – мощный источник загрязнения прибрежных морских акваторий. В [9] рассмотрено влияния стоков двух действующих дельфинариев на качество прибрежных вод в Карадагской бухте. Оно проявлялось в формировании на прилегающей акватории пляжа линзы загрязненных вод с концентрацией РОВ, которая в десятки раз превосходила природный фон. Вода в этом месте отличалась высокой мутностью, неестественным цветом, резким запахом. Каменистое дно было покрыто илом и слизью.

На поверхности всей открытой части Казачьей бухты концентрация растворенных нефтепродуктов превышала норму в 1.2–2.2 раза. Распределение содержания нефтепродуктов здесь тесно коррелировало с полем концентрации ОБВ (рис. 3а, рис. 4). Видно, что все четыре локальных экстремума обоих полей совпадали. То есть, воды загрязненные нефтепродуктами, поступали в бухту с севера (со стороны моря) в виде линз с повышенным содержанием ОБВ, а источник их генерации связан с нефтяным терминалом, который находится на мысе Манганари (рис. 1).

Рис. 3. Горизонтальное распределение концентрации ОВВ, мг/л на поверхности (а), у дна (б) и концентрации РОВ, мг/л на поверхности (в) и у дна (г); вертикальное распределение концентрации ОВВ (д) и РОВ (е)

Максимальная концентрация нефтепродуктов на поверхности 2.2 отн. ед. обнаружена в мористой части бухты Казачья в наиболее масштабной линзе вод с максимальной концентрацией ОВВ (рис. 3а, д; рис. 4). В трех меньших линзах она была около 1.5–1.7 отн. ед. при

фоновых значениях концентрации 1.2–1.4 отн. ед.

В южной части исследуемой акватории, включая мелководье обоих рукавов бухты, признаков нефтяного загрязнения не выявлено. Концентрация нефтепродуктов здесь была близкой к единице (рис. 4).

Рис. 4. Горизонтальное распределение концентрации растворенных нефтепродуктов, отн. ед. на поверхности

Заключение. По материалам комплексной экспедиции, проведенной в сентябре 2018 года, проанализирована структура полей температуры, солёности, содержания общего взвешенного и растворенного органического веществ и концентрации растворенных нефтепродуктов в бухте Казачья. Выявлены источники загрязнения рассматриваемой акватории и оценена степень загрязнения её вод растворенным органическим веществом искусственного происхождения и нефтепродуктами.

Показано, что под влиянием нагонного ветра в бухту Казачья проникли воды из смежной акватории Черного моря. Вертикальная стратификация термохалинного поля в мористой области бухты была двухслойной, типичной для стратификации черноморских вод в теплый период года. Воды кутовой области отличались однородностью. Между черноморскими водами и водами мелководных кутовых участков в полях темпера-

туры и солёности наблюдались отчетливо выраженные фронтальные разделы.

Выявлены три источника загрязнения вод рассмотренной акватории. Это расположенный за пределами бухты и находящийся на мысе Манганари нефтяной терминал, а также два источника, которые расположены на её берегах: жилой массив Казачка и дельфинарий.

Обнаружены два участка с антропогенным содержанием растворенного органического вещества, концентрация которого в 1.3–1.6 раза превышала природную норму данного элемента. Это восточное побережье восточного рукава бухты, где расположен микрорайон г. Севастополь Казачка и участок у западного берега ее мористой области с находящимся на берегу дельфинарием.

Нефтепродукты поступали в бухту в системе ветровой циркуляции в виде обособленных линз с повышенным содержанием общего взвешенного вещества. Их концентрация в 1.5 – 2.2 раза была выше по сравнению с концентрацией, характерной для открытой акватории Черного моря. На мелководных участках бухты признаков нефтяного загрязнения не наблюдалось.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920068.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boss E., Pegau W.S., Zaneveld J.R.V. *et al.* Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf. // *Journal of Geophysical Research*. 2001. Vol. 106, no. C5. P. 9499–9507.
2. *Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France)* / M. Tedetti, R. Longhitano, N. Garcia *et al.* //

Environmental Chemistry. 2012. Vol. 9, no. 5. P. 438–449.

3. E. Therese Harvey, Susanne Kratzer, Agneta Andersson. Relationships between colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in different coastal gradients of the Baltic Sea. // *Ambio*. 2015. Vol. 44, suppl. 3. P. 392–401.

4. <http://ecodevice.com.ua/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor>

5. Чепыженко А.И., Веселов В.А. Оптические методы и средства контроля нефтепродуктов в водной среде. // Вестник Сев ГТУ. Севастополь: Сев ГТУ. 2004. Вып. 55: Механика, энергетика, экология. С. 103–112.

6. РД 52.24.476-2007 Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом.

7. Chepyzhenko A.A., Chepyzhenko A.I. Methods and device for in situ total suspended matter (TSM) monitoring in natural waters' environment, Proc. SPIE 10466, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 104663G (30 November 2017); doi: 10.1117/12.2287127; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2287127>.

8. Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море. Киев: Наук. Думка, 1971. 250 с.

9. Характеристика загрязнения прибрежных вод у Карадагского заповедника по данным оптических наблюдений / Ломакин П.Д., Трощенко О.А., Чепыженко А.И. [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2011. № 4. С. 71–79.

HYDROPHYSICAL CONDITIONS AND CHARACTERISTICS OF WATER POLLUTION OF THE KAZACHYA BAY (CRIMEA REGION) IN SEPTEMBER OF THE YEAR 2018

P.D. Lomakin^{1,2}, A.A. Chepyzhenko¹

¹ Marine Hydrophysical Institute of RAS, Russian Federation, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

² Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

On the basis of the data obtained during complex expedition carried out by the Institute of Marine Biological Research (Sevastopol) in September 2018, the structure of the fields of temperature, salinity, the content of the total suspended matter (TSM), the content of the dissolved organic matter (DOM), and the concentrations of dissolved petroleum in the Kazachya Bay are analyzed. The water circulation in the Bay and the structure of the fields of the studied elements are shown to be effected by the Northern quarter wind. Regularities of thermohaline structure in the Kazachya Bay are identified. The sources of the pollution in the investigated areas and the pathways of contaminants are identified. The degree of the Kazachya Bay water pollution by dissolved organic matter of artificial origin and petroleum products is evaluated.

Keywords: temperature, salinity, pollution, TSM, DOM, dissolved petroleum, Kazachya Bay, Crimea.