ПОЛЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В БУХТАХ ЮЖНАЯ И КОРАБЕЛЬНАЯ (КРЫМ) В ДЕКАБРЕ 2018 ГОДА

П.Д. Ломакин^{2,1}, А.И. Чепыженко², Е.А. Гребнева¹

¹ Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

² Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: p_lomakin@mail.ru, ecodevice@yandex.ru

На базе данных экспедиции, организованной Институтом природно-технических систем и Севастопольским филиалом Московского государственного университета в декабре 2018 г., проанализирована структура полей температуры, солёности, содержания общего взвешенного вещества (ОВВ), растворенного органического вещества (РОВ), концентрации растворенных нефтепродуктов (РН), водородного показателя рН в Южной и Корабельной бухтах. Выявлены закономерности термохалинной структуры и особенности ее трансформации под влиянием осенне-зимней конвекции. В полях концентрации ОВВ и РОВ обнаружены признаки наличия антропогенной составляющей. Впервые для исследуемого региона рассмотрено поле содержания растворенных нефтепродуктов. Показано, что концентрация НП и рН в водах Южной и Корабельной бухт не превышала природную норму этих элементов.

Ключевые слова: температура, солёность, ОВВ, РОВ, РН, рН, Южная бухта, Корабельная бухта, Крым.

Поступила в редакцию: 22.07.2019. После доработки: 19.08.2019.

Введение. Южная бухта расположена на юго-западном побережье Крымского полуострова, в центральной части городской застройки Севастополя. Бухта ориентирована по меридиану и между мысами Николаевским и Павловским свободно сообщается с наиболее масштабной в пределах региона зонально ориентированной Севастопольской бухтой.

По площади водного зеркала Южная бухта вторая после Севастопольской. Она вдаётся в сушу на расстояние 1,12 морских миль. Ширина устьевой области Южной бухты 0,13 мили. Мористая часть бухты наиболее глубока, с отметками до 18–22 м. В ее восточной части между мысом Павловским и Лазарева расположена Корабельная бухта (рис. 1). Вся береговая линия обеих бухт оборудована причальными стенками и пирсами, где отстает большое количество кораблей, судов, плавкранов, доков, плавмастерских. На восточном берегу Южной бухты и вдоль берега Корабельной бухты расположены причалы Севморзавода.

Рис. 1. Схема станций комплексной съемки акватории Южной и Корабельной бухт, выполненной 07 декабря 2018 г.

Активные океанологические исследования севастопольских бухт были начаты в конце прошлого столетия. К настоящему времени получены значимые результаты, касающиеся закономерностей состояния полей гидрофизических, гидрохимических, гидробиоло-

гических элементов рассматриваемого региона, которые освещены и обобщены в достаточно емкой литературе (см., например [1–5]), где особое внимание уделено наиболее загрязненной Южной бухте.

В настоящей статье представлен анализ структуры полей температуры, солености, водородного показателя pH, содержания общего взвешенного вещества (ОВВ) и растворенного органического вещества (РОВ), а также поля концентрации растворенных нефтепродуктов (НП) в водах Южной и Корабельной бухт. Поля последних трех элементов ранее не рассматривались по столь детальной сетке станций. Выявлены закономерности термохалинной структуры и особенности ее трансформации под влиянием осенне-зимней конвекции на различных участках исследуемой акватории. Обнаруженные максимумы содержания ОВВ, РОВ, НП сопоставлены с аналогичными показателями, которые свойственны незагрязненным водам центральной части Черного моря.

Исходные данные и методы исследования. Анализ выполнен на основе данных экспедиции, организованной Институтом природно-технических систем и Севастопольским филиалом Московского государственного университета. Съемка акватории проведена 07 декабря 2018 г. по схеме станций (всего 22), представленной на рис. 1. Координаты станций определялись при помощи приемника GPS. Забортные работы выполнены в дрейфе с борта маломерного судна. Диапазон глубин на полигоне 10–18 м.

Основной массив исходной информации получен при помощи оптического биофизического зондирующего комплекса «Кондор» [6]. Температура, соленость, концентрация ОВВ и РОВ в водной толще синхронно фиксировались в зондирующем режиме *in situ* с шагом по глубине 0,1 м. Отметим, что РОВ относят к одному из лучших показателей загрязнения вод прибрежных морских и океанских акваторий [7, 8].

Концентрация растворенных в морской воде нефтепродуктов определялась

в отобранных пробах воды в лабораторных условиях традиционным флуоресцентным методом (UV-fluorescence method) [9, 10]. Данная величина представлена в относительных единицах (отн. ед.) и показывает, во сколько раз измеренное содержание растворенных нефтепродуктов превосходит его концентрацию в открытых водах центральной части Черного моря, которая принята за единицу.

Растворенные в воде нефтепродукты – важный и не достаточно изученный показатель загрязнения водной среды, который ранее не фиксировался в водах Азово-Черноморского бассейна. Растворенная фракция НП адсорбируется на взвеси, она отличается стойкостью и острой токсичностью для морских организмов. В частности, к наиболее токсичным антропогенным компонентам растворенных в морской воде НП, которые обладают канцерогенными свойствами и оказывают существенное негативное воздействие на окружающую среду, относят ароматические и полициклические ароматические углеводороды. Эти вещества накапливаются в тканях рыб и представляют собой реальную угрозу для здоровья человека [11].

Водородный показатель pH определялся в отобранных с поверхности моря пробах воды непосредственно на борту судна методом [12].

Обсуждение результатов. Погода во время съемки была обусловлена восточной периферией антициклона с центром над Балканами. Наблюдался умеренный северный-северо-западный ветер. На преобладающей части акватории Южной и Корабельной бухт отсутствовало волнение. В открытую область Южной бухты со стороны Севастопольской бухты, от северо-запада, проникали ветровые волны и волны зыби, высотой около 1 м.

Время выполнения съемки пришлось на период осенне-зимнего выхолаживания, которое сопровождается конвективным перемешиванием и качественным изменением вертикальной структуры вод.

К основным факторам, генерирующим систему течений в бухтах и опреде-

ляющим структуру гидрофизических полей, распространение взвешенных и растворенных веществ можно отнести ветровую деятельность. Из особенностей гидрологического режима следует отметить тот факт, что Южная бухта в кутовой своей части распреснена водами субмаринного источника [1], а также, вероятно, и грунтовыми водами, поступающими сюда из примыкающей балки.

Вертикальная термохалинная структура в Южной бухте формировалась процессами конвективного перемешивания, которые по-разному проявлялись в кутовой стратифицированной и однородной мористой частях ее акватории.

В кутовой части бухты наблюдалась хорошо выраженная устойчивая вертикальная стратификация вод, которая была обусловлена наличием верхнего распресненного (соленость 16,4–16,5 ЕПС) слоя толщиной 1–3 м. Она препятствовала распространению конвективных

токов в расположенный глубже слой. В результате верхний тонкий слой оказался максимально выхолаженным, до минимальной для всей рассматриваемой акватории температуры 8,9–9,1°C, а придонный слой вод – наиболее теплым с температурой до 10,9–11,1°C. Во всей толще вод в кутовой части сформировалась ярко выраженная температурная инверсия с приращением 0,9–1,2°C (рис. 2 а, в, д).

Согласно классическим представлениям [13], температурная инверсия – обязательный элемент структуры вод, возникающий на стадии термической конвекции, на термохалинной структуре, характеризуемой наличием слоя скачка солёности.

В мористой части Южной бухты толща вод была однородной по вертикали с температурой 10,2–10,4°C и солёностью 17,7–17,9 ЕПС (рис. 2).

Рис. 2. Распределение температуры, °С на поверхности (а), у дна (б) и солёности, ЕПС на поверхности (в), у дна (г); распределение температуры (д) и солёности (е) на продольном разрезе

Сопровождавший съемку северный – северо-западный ветер вызвал нагонный эффект и соответствующий компенсационный подъем вод с придонных горизонтов к поверхности срединной части Южной бухты, что хорошо видно на рис. 2 д. В результате эта часть оказалась наиболее теплой с температурой на поверхности 10,5–10,7°C (рис. 2 а).

Воды мористой области Южной бухты были более насыщенными взвесью по сравнению с водами ее срединной и кутовой частей. Соответствующая концентрация ОВВ 1,1–1,9 мг/л и 0,3–0,9 мг/л.

Этот эффект может быть связан с динамическими факторами, в частности, с волнением, которое отсутствовало в Южной бухте, тогда как на смежной акватории Севастопольской бухты наблюдалось ветровое волнение и зыбь (рис. 3 а, б, д).

У западного и восточного берегов Южной бухты в поле концентрации ОВВ отчетливо выделялись локальные максимумы 2,5–2,7 мг/л на поверхности и 1,0–1,6 мг/л у дна (рис. 3 а, б). Для сравнения – в центральной части Черного моря содержание ОВВ на порядок ниже и, согласно [14], равно 0,2 мг/л.

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

В поле содержания РОВ также практически повсеместно была отмечена повышенная концентрация этого вещества до 2,3–4,5 мг/л (рис. 3 в, г), притом, что природной норма содержания РОВ в Черном море равна 2 мг/л [14].

Превышение содержания ОВВ и РОВ относительно природной нормы указы-

вает на присутствие в водах исследуемой акватории антропогенной составляющей в полях концентрации этих веществ.

В ходе съемки на различных участках визуально по характерной окраске поверхностной пленки фиксировались нефтяные пятна. Вместе с тем, анализ поля концентрации растворенной фрак-

ции НП показал, что на преобладающей части исследуемой акватории показатель загрязнения этим вредным веществом соответствовал природной норме. Незначительное увеличение его содержания, примерно на 2-3% выше нормы

(концентрация растворенных НП в водах центральной части Черного моря), наблюдалось вдоль западного берега центральной части Южной бухты (рис. 4 а).

Рис. 4. Горизонтальное распределение концентрации растворенных НП, отн. ед. (а) и pH, единицы pH (б) на поверхности

Значение водородного показателя pH на поверхности всей акватории Южной бухты находилось в пределах природной нормы этого элемента. Оно уменьшалось в южном направлении от 8.30 до 8.05 единиц pH соответственно понижению термохалинных индексов (рис. 4б; 2 а, в).

Закключение. По материалам экспедиции, проведенной в декабре 2018 года, проанализирована структура полей температуры, солености, pH, содержания общего взвешенного вещества, растворенного органического вещества и концентрации растворенных нефтепродуктов в Южной и Корабельной бухтах.

Показано, что термохалинная структура в Южной бухте определялась процессами конвективного перемешивания, которые по-разному проявлялись в кутовой стратифицированной и однородной

мористой частях ее акватории. В кутовой части бухты наблюдалась хорошо выраженная устойчивая вертикальная стратификация вод, которая препятствовала распространению конвективных токов в расположенный глубже слой. В результате верхний тонкий слой оказался максимально выхолаженным, а во всей толще вод в кутовой части сформировалась ярко выраженная температурная инверсия с приращением 0.9-1.2°C. В мористой части Южной бухты толща вод была однородной по вертикали.

Сопровождавший съемку северный-северо-западный ветер вызвал нагонный эффект и соответствующий компенсационный подъем вод с придонных горизонтов кутовой области бухты к поверхности ее срединной части.

Воды мористой области Южной бухты за счет более активных динамических

процессов были более насыщенными взвесью по сравнению с водами ее срединной и кутовой частей.

Отмеченное превышение концентрации общего взвешенного и растворенного органического веществ над их природной нормой свидетельствует о наличии в видах исследуемой акватории взвеси и растворенной органики антропогенного происхождения.

Несмотря на наблюдавшиеся на поверхности моря явные признаки нефтяного загрязнения, выявлено, что на преобладающей части исследуемой акватории показатель загрязнения вод растворенными нефтепродуктами соответствовал природной норме.

Водородный показатель pH на поверхности моря повсеместно соответствовал его природной норме.

Работа выполнена в рамках государственных заданий по теме: 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»). Научный руководитель темы: д.ф.-м. н., профессор, академик РАН В.А. Иванов. Ответственный исполнитель темы: к.т.н. А.С. Кузнецов. Ученый секретарь темы: д.г.н. Е.Е. Совга, а также при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научных проектов: № 18-45-920068, № 18-45-920014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *О перспективах и возможностях оценки самоочистительной способности акватории Севастопольской бухты* / Е.Е. Совга, И.В. Мезенцева, Т.В. Хмара [и др.] // Экологическая безопасность

прибрежной и шельфовой зон моря. 2014. № 2. С. 153–164.

2. *Стокозов Н.А.* Морфометрические характеристики Севастопольской и Балаклавской бухт // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. Вып. 23. С. 198–208.

3. *Иванов В.А., Репетин Л.Н., Овсяный Е.И., Романов А.С., Игнатъева О.Г.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / Препринт. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. 90 с.

4. *Современное состояние и тенденции изменения экосистемы Севастопольской бухты* / Е.В. Павлова, Е.И. Овсяный, А.Д. Гордина [и др.] // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. Севастополь: Акватита, 1999. С. 70–84.

5. *Орехова Н.А., Романов А.С., Хорунжий Д.С.* Межгодовые изменения концентрации биогенных элементов в Севастопольской бухте за период 2006–2010 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. Вып. 25. С. 192–199.

6. <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 20.08.2019).

7. *Boss E., Pegau W.S., Zaneveld J.R.V. [et al.]* Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // J. Geophys. Res. 2001. 106, № C5. P. 9499–9507.

8. *Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., Guigue C., Ferretto N., Goutx M.* Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage

effluent (Bay of Marseilles, France). Environ. Chem. 2012, 9. P. 438–449.

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

10. *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>.

11. *Oil in the sea III: Inputs, Fates, and Effects.* Committee on Oil in the Sea: Inputs, Fates, and Effects. Ocean Studies Board and Marine Board. Divisions of

Earth and Life Studies and Transportation Research Board. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES. The National Academies Press. 500 Fifth Street, N.W. Box 285 Washington, DC20055 800-624-6242 202-334-3313 (in the Washington Metropolitan area) <http://www.nap.edu> GC1085 .O435 2002/ 628.1'6833dc21. 2002015715.

12. *Рябинин А.И., Шибеева С.А.* Инструментальные методы анализа в экологии: учебное пособие. Севастополь: СИЯЭиП, 2002. 168 с.

13. *Булгаков Н.П.* Конвекция в океане. М.: Наука, 1975. 272 с.

14. *Хайлов К.М.* Экологический метаболизм в море. Киев: Наукова Думка. 1971. 250 с.

FIELDS OF HYDROPHYSICAL AND HYDROCHEMICAL ELEMENTS IN SOUTH AND SHIP BAYS (CRIMEA) IN DECEMBER 2018

P.D. Lomakin^{2,1}, A.I. Chepyzhenko², E.A. Grebneva¹

¹Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

²Federal Research Center «Marine Hydrophysical Institute of RAS», RF, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

On the basis of expedition data, organized by the Institute of Natural and Technical Systems and Sevastopol branch of Moscow state university in December 2018, the structure of the fields of temperature, salinity, pH, the content of the total suspended matter (TSM), the content of the dissolved organic matter (DOM), and the concentrations of dissolved petroleum (DP) in the South and Ship Bays were analyzed. The regularities of the thermohaline structure and features of its transformation under the influence of the autumn-winter convection were revealed. Signs of the presence of the anthropogenic component were found in the fields of TSM and DOM concentration. For the first time for the studied region, the field of the DP content was considered. It is shown that the concentration of DP and pH in the waters of the South and Ship bays did not exceed the natural rate of these elements.

Keywords: temperature, salinity, pollution, TSM, DOM, DP, pH, South Bay, Ship Bay, Crimea.