СТРУКТУРА ПОЛЕЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В КАМЫШОВОЙ БУХТЕ (КРЫМ) В НОЯБРЕ 2019 ГОДА

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

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

²Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: p_lomakin@mail.ru

На базе данных экспедиции, организованной Институтом природно-технических систем в ноябре 2019 г. и проведенной с участием сотрудников Морского гидрофизического института, проанализирована термохалинная структура и поля содержания общего взвешенного вещества, растворенного органического вещества, концентрации растворенных нефтепродуктов, водородного показателя в водах Камышевой бухты. Получены представления об основных особенностях циркуляции вод. В северной части бухты над углублением дна выявлено топографическое циклоническое вихревое образование. Показано, что под влиянием конвективного перемешивания в кутовой части бухты сформировалась хорошо выраженная стратификация исследуемых полей. В мористой части Камышевой бухты поля рассматриваемых величин отличались однородностью по вертикали.

Ключевые слова: температура, соленость, общее взвешенное вещество, растворенное органическое вещество, нефтепродукты, pH, Камышевая бухта, Крым.

Поступила в редакцию: 06.03.2020. После доработки: 08.04.2020.

Введение. В океанологическом плане большинство севастопольских бухт довольно хорошо исследовано. К настоящему времени имеется достаточно емкая литература (см., например [1–5]), где рассмотрены закономерности и обобщены результаты, касающиеся состояния полей гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических элементов, а также проблемы загрязнения прибрежных акваторий севастопольского региона.

Эти исследования практически не затронули Камышевую бухту, для которой нам известна только одна работа [6], имеющая гидробиологическую направленность. В океанологическом плане данная бухта остается неизученной.

В предлагаемой статье впервые представлен анализ термохалинной структуры и полей концентрации общего взвешенного вещества (ОВВ), растворенного органического вещества (РОВ), содержания растворенных нефтепродуктов (РН) и водородного показателя pH в водах Камышевой бухты.

Исходные данные и методы исследования. Анализ выполнен на основе данных экспедиции, организованной и проведенной Институтом природно-технических систем. Съёмка акватории Камышевой бухты реализована 18 ноября 2019 г. по схеме станций (всего 31), которая изображена на рис. 1. Координаты станций определялись при помощи навигатора GPS. Забортные работы проведены в дрейфе с борта маломерного гидрографического судна «Гидрограф-4», которое было предоставлено капитаном Морского севастопольского порта. Диапазон глубин на полигоне 3–22 м.

Основной массив исходной информации получен при помощи оптического биофизического зондирующего комплекса «Кондор» (НПП «Аквастандарт», ТУ 431230-006-00241904-2015; код ТН ВЭД ЕАЭС 9027 50 000 0. ДС ЕАЭС NRU Д-RU.ЭМ03.А.00096/19) [7]. Температура, соленость, концентрация ОВВ и РОВ в водной толще синхронно фиксировались в зондирующем режиме *in situ* с шагом по глубине 0,1 м.

Рис. 1. Географическое положение Камышовой бухты и схема станций съемки ее акватории (с линией осевого разреза), выполненной 18 ноября 2019 г.

Fig.1. The geographical location of the Kamyshevaya Bay and the scheme of stations survey of its water area (with an axial section line) carried on November 18, 2019

Концентрация растворенных в морской воде нефтепродуктов определялась в отобранных с поверхности моря пробах воды в лабораторных условиях традиционным флуоресцентным методом (UV-fluorescencemethod) [8]. 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.

Водородный показатель pH определялся в отобранных с поверхности пробах воды в лабораторных условиях методом [9].

Обсуждение результатов. Камышовая бухта расположена на юго-западном побережье Крымского полуострова, на юго-западе г. Севастополь. К западу и востоку от нее находятся соответственно бухты Казачья и Абрамова. Камышовая бухта меридионально ориентирована. Ее протяженность около 1,3 мили, ширина в мористой части 0,5 ми-

ли. От моря бухта ограждена двумя молами [10] (рис. 1).

Погода во время съемки была обусловлена юго-западной периферией антициклона с центром над Прикаспийской низменностью [11]. Преобладал умеренный ветер восточной четверти, скоростью 4–8 м/с [12]. В море и в северной части бухты отмечено смешенное волнение. Высота волн – около 1 м. На большей части акватории бухты, которая экранирована от ветра, наблюдались полный штиль и отсутствие волнения.

Судя по характеру горизонтального распределения температуры и солёности (рис. 2, а-г), в северной части бухты над углублением дна наблюдалось циклоническое вихревое образование, вдоль западной периферии которого, из открытой части моря в бухту поступали более солёные и теплые воды.

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

Анализируемой съемке предшествовал аномально теплый и длительный (около месяца) атмосферный естественный синоптический период, характеризовавшийся температурой воздуха до 15–20°C.

В результате мелководная кутовая часть Камышовой бухты, вследствие значительной мутности вод и повышенной поглотительной радиационной способности, прогрелась до 15,5–15,6°C, тогда как температура воды в глубоководной части рассматриваемой акватории была на 0,4–0,6°C ниже (рис. 2). Из особенностей гидрологического режима следует отметить тот факт, что исследуемая бухта в кутовой своей части распреснена грунтовыми водами, поступающими сюда из примыкающей балки. На поверхности в кутовой части бухты солёность воды была минимальной 18,0–18,2 ЕПС. Солёность в глубоководной части анализируемой акватории превышала эти значения на 0,2–0,3 ЕПС (рис. 2).

Рис. 2. Распределение температуры воды, °C на поверхности моря (а), у дна (б) и солёности, ЕПС на поверхности (в), у дна (г); распределение температуры (д) и солёности (е) на осевом разрезе в Камышовой бухте 18 ноября 2019 г.

Fig. 2. Distribution of water temperature, °C on the sea surface (a), at the bottom (b) and salinity, EPS on the surface (c), at the bottom (d); distribution of temperature (e) and salinity (f) on an axial section in the Kamyshevaya Bay on November 18, 2019

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

В кутовой части бухты наблюдалась достаточно выраженная устойчивая вертикальная стратификация вод, которая была обусловлена наличием верхнего распресненного (солёность 18,0–18,2 ЕПС) слоя толщиной 2–4 м. Она препятствовала распространению конвективных токов в расположенный глубже слой. В результате в толще вод в кутовой части сформировалась достаточно выраженная температурная инверсия с приращением 0,2–0,3°C (рис. 2, д). Согласно классическим представлениям

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

Формирование инверсионной термической структуры вод в осенне-зимний сезон года под влиянием конвективного перемешивания мы также наблюдали в севаستопольских бухтах Стрелецкая и Южная [14], кутовые части которых распреснены грунтовыми водами. Это подтверждает универсальность механизма трансформации структуры вод под влиянием различных стадий конвективного перемешивания, раскрытого Н.П. Булгаковым [13].

В мористой части Камышовой бухты вследствие конвективного обмена толща вод была однородной по вертикали с температурой 15,0–15,3°C и соленостью 18,3–18,4 ЕПС (рис. 2, д, е).

Отметим, еще одну интересную деталь в структуре поля солености в придонном слое Камышовой бухты (рис. 2, г). У западного берега бухты над локальным поднятием дна здесь отчетливо видна локальная область распреснения с минимальной для всей акватории соленостью в придонном слое 18,2 ЕПС. Ее источник может быть природным, – субмаринная разгрузка или антропогенным, – выпуск сточных вод.

Характер горизонтального распределения концентрации ОВВ и РОВ подтверждает наличие циклонического вихревого образования в северной части Камышовой бухты, которое проявилось в структуре термохалинного поля (рис. 2).

Вдоль западной периферии вихря в бухту поступали наименее насыщенные этими веществами воды из открытой акватории моря. Во внутренней его области концентрация ОВВ, РОВ и растворенных НП была повышенной на окружающем фоне. Здесь, особенно в придонном слое, отмечены хорошо выраженные локальные максимумы содержания исследуемых веществ (рис. 3, а-г).

Рис. 3. Распределение концентрации ОВВ, мг/л на поверхности моря (а), у дна (б) и концентрации РОВ, мг/л на поверхности (в), у дна (г); распределение концентрации ОВВ (д) и РОВ (е) на осевом разрезе в Камышовой бухте 18 ноября 2019 г.

Fig. 3. Distribution of TSM concentration, mg / L on the sea surface (a), at the bottom (b) and concentration of DOM, mg / L on the surface (c), at the bottom (d); distribution of the concentration of TSM (e) and DOM (f) on an axial section in the Kamyshevaya Bay on November 18, 2019

Вертикальная стратификация полей содержания ОВВ и РОВ в мористой части бухты, как следствие конвективного перемешивания, оказалась слабо выраженной. В кутовой части, где конвекция

ограничена халинной стратификацией, поля этих элементов, особенно РОВ, были стратифицированными. В верхнем распресненном слое здесь наблюдалась максимальная концентрация ОВВ и РОВ

(рис. 3, д, е). В водах Камышовой бухты содержание исследуемых величин изменялось в интервалах 1,2–6,1 мг/л ОВВ и 2,3–2,6 мг/л РОВ, что существенно превышало концентрацию данных веществ в открытых водах Черного моря. Согласно [15] в верхнем слое вод в центральной части Черного моря характерная концентрация ОВВ и РОВ соответственно равна 0,2 мг/л и 2,0 мг/л. Сопоставление этих значений с наблюдавшимися фактическими концентрациями позволяет утверждать о наличии антропогенной составляющей в полях анализируемых величин, которая присутствует на всей акватории бухты.

На преобладающей части рассматриваемой акватории, включая подходы к бухте, содержание растворенных НП превышало 1 отн. ед. и уменьшалось по направлению к кутовой части Камышевой бухты. Поле концентрации этой величины имело выраженный пятнистый

характер. В мористой области бухты наблюдался локальный максимум концентрации растворенных НП ~1,1 отн. ед. Абсолютный максимум содержания данной величины ~ 1,2 отн. ед. зафиксирован в кутовой части бухты (рис. 4, а).

На этом же участке отмечен абсолютный локальный максимум pH (рис. 4, б). Водородный показатель pH на поверхности моря варьировал в пределах 8,29–8,51, что соответствует диапазону изменчивости этого показателя в водах Черного моря, который, согласно [16], равен 8,04–8,52 (рис. 4, б).

Представленный выше анализ полей ОВВ, РОВ, НП, pH (рис. 3, 4) не выявил явных локальных признаков загрязнения вод на участке с минимальной соленостью (рис. 2, г). Поэтому можно полагать, что в центральной части Камышовой бухты, у ее западного берега, существует природный источник пресной воды.

Рис. 4. Распределение содержания растворенных НП, отн. ед (а) и pH (б) на поверхности в Камышевой бухте 18 ноября 2019 г.

Fig. 4. The distribution of the dissolved oil content, rel. units (a) and pH (b) on the surface in Kamyshevaya Bay on November 18, 2019

Заключение. По материалам экспедиции, проведенной 18 ноября 2019 г., проанализированы термохалинная структура и поля содержания общего взвешенного вещества, растворенного органического вещества, концентрации растворенных нефтепродуктов и водородного показателя pH в водах Камышевой бухты.

По характерному горизонтальному распределению рассматриваемых величин в мористой части бухты над углублением дна обнаружено топографическое циклоническое вихревое образование, во внутренней области которого концентрировались ОВВ, РОВ и растворенные НП.

Показано, что наблюдавшийся в кутовой части бухты на фоне сезонного выхолаживания прогрев вод был связан с аномально теплым и продолжительным атмосферным естественным синоптическим периодом.

Выявлено, что термохалинная структура в Камышовой бухте определялась процессами конвективного перемешивания, которые по-разному проявлялись в кутовой стратифицированной и однородной мористой частях ее акватории. В кутовой части бухты наблюдалась устойчивая вертикальная стратификация вод, которая препятствовала распространению конвективных токов в расположенный глубже слой. В результате в толще вод в кутовой части сформировалась хорошо выраженная температурная инверсия с приращением 0,2–0,3°C. В мористой части Камышовой бухты толщина вод была однородной по вертикали.

Вертикальная стратификация полей содержания ОВВ и РОВ в мористой части бухты, как следствие конвективного перемешивания, была слабо выраженной. В кутовой части, где конвекция ослаблена стратификацией халинного поля, поля этих элементов, особенно РОВ, были стратифицированными. В верхнем распресненном слое здесь наблюдалась максимальная концентрация ОВВ и РОВ.

Водородный показатель pH на поверхности Камышовой бухты соответствовал интервалу его значений, харак-

терному для верхнего слоя черноморских вод.

Возможно, что в центральной части у западного берега Камышовой бухты существует природный источник пресной воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей». Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-45-920068. Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научных проектов № 18-45-920068; № 18-45-920014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sovga E.E., Kondrat'ev S.I., Godin E.A., Slepchuk K.A. Seasonal dynamics of the nutrients' content and local sources in the Heracleian Peninsular coastal waters // *Physical Oceanography*. 2017. № 1. P. 53–61. DOI:10.22449 / 1573-160X-2017-1-53-61
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. *Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов* / В.А. Иванов, Л.Н. Репетин, Е.И. Овсяный Е.И. [и др.] // 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: Аквавита. 1999. С. 70–84.

5. Михайлова Э.Н., Шатино Н.Б. Ющенко С.А. Моделирование распространения пассивной взвеси в сева-стопольских бухтах // Морской гидрофизический журнал. 1999. № 3. С. 29–42.
6. Шаловенков Н.Н., Рябцев Ю.Н. Влияние прибрежных течений на пространственное распределение массо-вых видов зообентоса // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. Вып. 9. С. 168–177.
7. Комплекс гидробиофизический-мультипараметрический погружной ав-тономный «КОНДОР». URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 26.12.2019).
8. Holdway, D., Radlinski, A., Exon, N., Auzende, J-M. & Van de Beuque, S. 2000. Continuous multi-spectral fluores-cence and absorption for petroleum hydro-carbon detection in near-surface ocean wa-ters: ZoNeC05 Survey, Fairway Basin area, Lord Howe Rise. CANBERRA. Australian Geological Survey Organization, Record 2000/35. ISSN: 1039-0073 ISBN: 0 642 39852 6.
9. Рябинин А.И., Шибеева С.А. Ин-струментальные методы анализа в эко-логии: Учебное пособие. Севастополь: СИЯЭиП, 2002. 168 с.
10. <https://krymania.ru/kamyshovaya-buhta-v-sevastopole> / (дата обращения: 06.02.2019).
11. <http://old.wetterzentrale.de/topkarte/n/fsreaeur.html> (дата обращения: 06.02.2019).
12. <https://pogoda.tourister.ru/russia/sevastopol/august> (дата обращения: 06.02.2019).
13. Булгаков Н.П. Конвекция в оке-ане. М.: Наука. 1975. 272 с.
14. Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Гребнева Е.А. Поля гидрофизических и гидрохимических элементов в бухтах Южная и Корабельная (Крым) в декабре 2018 года // Системы контроля окружа-ющей среды. 2019. Вып. 3 (37). С. 44–50. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-3-44-50
15. Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море. Киев: Наукова Дум-ка. 1971. 250 с.
16. Коновалов С.К., Рябинин А.И. Водородный показатель (рН) вод Черно-го моря // Метеорология и гидрология. 1987. № 10. С. 75–81.

STRUCTURE OF FIELDS OF OCEANOLOGICAL QUANTITIES IN THE KAMYSHOVAYA BAY (CRIMEA) IN NOVEMBER 2019

P.D. Lomakin^{1,2}, 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

Based on the data of the expedition organized by the Institute of Natural Technical Systems in November 2019 and carried on with participation of the Marine Hydrophysical Institute employees, the thermohaline structure and fields of the total suspended matter concentration, dissolved organic matter concentration, and the concentration of the dissolved oil and pH in the waters of the Kamyshovaya bay are analyzed. The ideas about the main features of water circulation are obtained. In the northern part of the bay a topo-graphic cyclonic eddy formation above the deepening of the bottom is revealed. It is shown that under the influence of convective mixing; a well-defined stratification of the studied fields is formed in the kut part of the bay. In the sea part of the Kamyshovaya bay, the fields of the quantities under consideration are characterized by vertical homogeneity.

Keywords: temperature, salinity, total suspended matter, dissolved organic matter, petroleum products, pH, Kamyshovaya bay, Crimea.