

## ТЕЧЕНИЯ И ПОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО И РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО ВЗМОРЬЯ В АВГУСТЕ 2019 ГОДА

П.Д. Ломакин<sup>1,2</sup>, А.И. Чепыженко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

<sup>2</sup> Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

*E-mail: p\_lomakin@mail.ru, ecodevice@yandex.ru*

На основе данных экспедиции, проведенной в августе 2019 г., рассмотрена локальная система течений и структура полей концентрации общего взвешенного вещества (ОВВ) и растворенного органического вещества (РОВ) на участке сева­стопольского взморья у бухт Абрамова и Омега. Показано, что структура исследуемых полей формировалась под влиянием сгонного ветра. В бухте Омега обнаружена антициклоническая топографическая ячейка циркуляции вод и фронтальная зона в полях концентрации ОВВ и РОВ. Выявлено, что в структуре полей концентрации ОВВ и РОВ содержатся признаки, которые подтверждают антициклональный характер локальной циркуляции вод в бухте Омега, а также типичную, генерируемую ветровым нагоном систему прибрежных течений. Анализ состояния параметров рассмотренных полей не выявил признаков антропогенной нагрузки на воды исследуемой акватории.

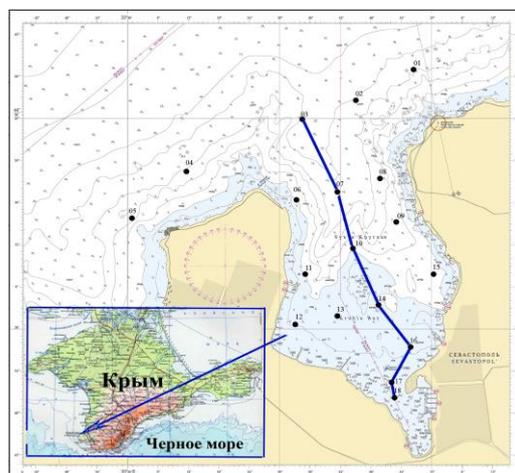
**Ключевые слова:** ветровой нагон, течения, общее взвешенное вещество, растворенное органическое вещество, Крым.

Поступила в редакцию: 22.10.2019. После доработки: 13.11.2019.

**Введение.** Исследуемый участок побережья расположен на юго-западе сева­стопольского взморья и примыкает к бухтам Абрамова и Омега (рис. 1). В обеих бухтах находятся городские пляжи, воды которых требуют постоянного контроля по широкому спектру гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических параметров среды, особенно в курортный сезон.

В настоящей статье рассмотрена локальная динамика вод, которая в значительной мере определяет структуру полей концентрации ОВВ и РОВ. Эти элементы, особенно последний, относят к группе лучших 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 [1–3].

Информация о полях концентрации ОВВ и РОВ для данного участка побережья получена впервые.



**Рис. 1.** Географическое положение исследуемого участка побережья со схемой станций океанологической съемки, выполненной 28 августа 2019 г.

**Fig.1.** The geographical position of the studied coastal area with scheme of oceanographic survey stations, carried on August 28, 2019

**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. Съемка реализована 28 августа 2019 г. по схеме станций (всего 18), представленной на рис. 1. Координаты станций определялись при помощи навигатора GPS. Забортные работы проведены с борта маломерного судна при его постановке на якорь. Диапазон глубин на полигоне 1–15 м.

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 N RU Д- RU.ЭМ03.А.00096/19 [4]). Концентрация ОВВ и РОВ, а также температура и соленость в водной толще синхронно фиксировались в зондирующем режиме *in situ* с шагом по глубине 0,1 м. Сведения о термохалинном поле использованы при интерпретации структуры полей содержания ОВВ и РОВ.

Течения на поверхности, в срединном слое и у дна измерялись на всех станциях с заякоренного судна при помощи портативного самописца, которым снабжен зонд [4]. Время выдержки прибора на каждом горизонте 10 мин при дискретности наблюдений 0,25 с. Анализировались только осредненные для каждой экспозиции векторы течений.

**Обсуждение результатов.** Погода во время съемки была обусловлена юго-восточной периферией антициклона с центром над Ленинградской областью [5]. Наблюдался северный ветер со скоростью 2–5 м/с [6], который в меридио-

нально ориентированной бухте Омега вызвал нагонный эффект. Волнение моря 2 балла.

К основным факторам, генерирующим систему течений на прибрежной акватории у Севастополя и обуславливающим структуру полей океанологических элементов относят ветровую деятельность [7].

Локальная циркуляция вод непосредственно в бухте Омега в существенной мере определяется рельефом дна. Примерно в центральной части этой бухты расположено обширное поднятие дна, сложенное каменистыми породами, которое хорошо прослеживается на спутниковых снимках (рис. 2). Минимальные отметки над его вершиной менее 1 м. В штормовую погоду и при прохождении волн зыби вершинная поверхность этого поднятия выступает из воды.



**Рис. 2.** Спутниковый снимок исследуемой акватории  
**Fig. 2.** Satellite picture of investigated water area

Из особенностей гидрологического режима следует отметить тот факт, что бухта Омега в кутовой своей части распреснена грунтовыми водами, которые поступают сюда из примыкающей балки. Соленость воды в кутовой части бухты

по данным анализируемой съемки равнялась 16,9 ЕПС, при 18,3 ЕПС на взморье.

Ветровой нагон на рассматриваемой акватории проявился в поле течений, термохалинной структуре вод и в структуре полей содержания ОВВ и РОВ.

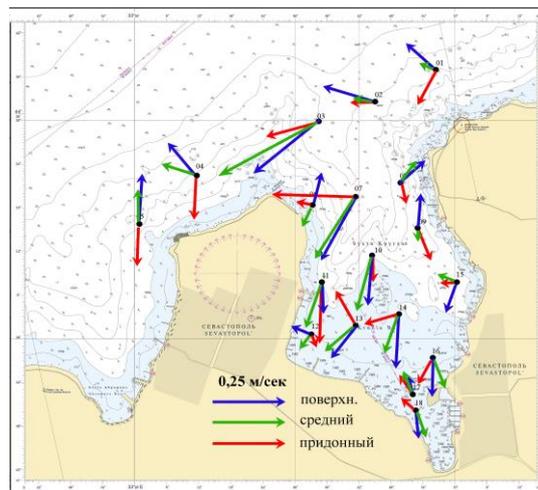
Известно [7], что на севастопольском взморье и в его бухтах преобладают ветровые течения. В анализируемой ситуации в открытой части рассматриваемого участка побережья наблюдалось направленное преимущественно на юго-запад вдольбереговое течение. Скорость этого потока в верхнем и срединном слоях изменялась от 15 до 40 см/с, и от 10 до 15 см/с – у дна. Ветви вдольберегового течения проникали в Абрамову бухту и бухту Омега (рис. 3).

В бухте Омега преобладала вдольбереговая антициклональная циркуляция вод, наиболее ярко выраженная в придонном слое. Скорость течения здесь изменялась в интервале 5–15 см/с. Один из механизмов, который способствует генерации вихревой циркуляционной ячейки в исследуемой бухте, может быть связан с взаимодействием проникавшей из моря ветви вдольберегового ветрового течения с поднятием дна.

На взморье и в открытой области бухты Омега концентрация ОВВ на поверхности от 0,8–1,0 мг/л повышалась по направлению к ее кутовой мелководной (глубина менее 1 м) части до 4,2 мг/л. Содержание РОВ в этом направлении также росло от 1,6 до 2,4 мг/л.

Поля обеих анализируемых величин отличались слабой вертикальной стратификацией. Их концентрация у дна незначительно отличалась от содержания на поверхности моря. В кутовой части бухты Омега в рассматриваемых полях наблюдалась хорошо выраженная фронтальная зона (рис. 3).

Согласно статистическим данным [8], для прибрежных участков Черного моря характерная концентрация ОВВ оценивается в 0,8 мг/л. Вода с такой концентрацией взвеси наблюдалась на открытых участках исследуемого взморья. Повышенная концентрация ОВВ в кутовой части бухты Омега обусловлена мелководьем, илистым дном, а также наличием взвеси в грунтовых водах.



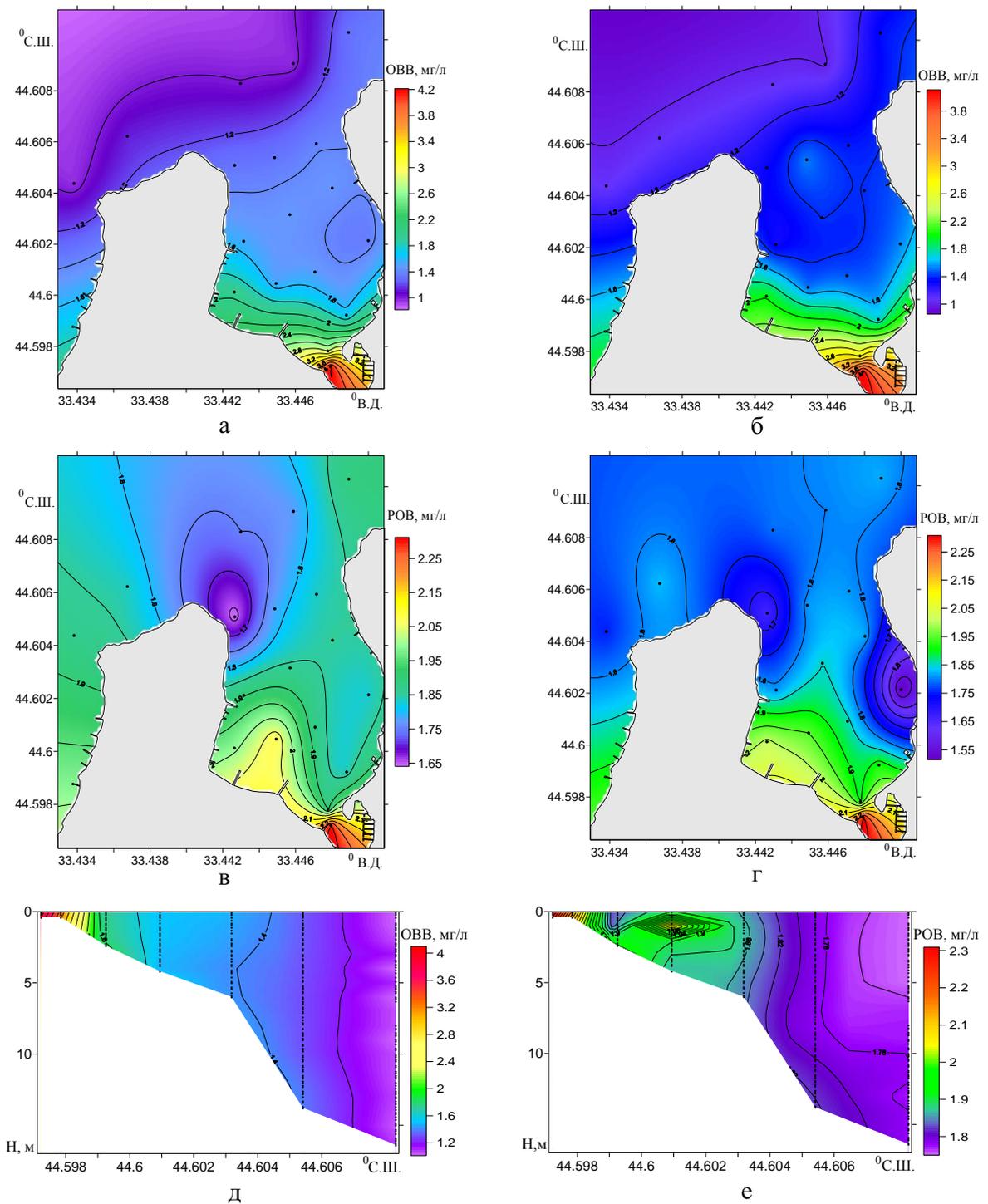
**Рис. 3.** Векторы течений на поверхности, в срединном и придонном слоях бухты Омега 28 августа 2019 г.

**Fig. 3.** The current vectors on the surface, at middle and bottom layers in the Omega Bay on August 28, 2019

Повышенное содержание РОВ в кутовой части бухты связано с присутствием здесь трансформированной грунтовой пресной воды. Известно, что в пресных природных водоемах концентрация этого вещества 30–50 мг/л [9], тогда как в Черном море она около 2 мг/л [10].

В целом анализ концентрации ОВВ и РОВ и структуры полей этих элементов не обнаружил признаков антропогенной нагрузки на изучаемой акватории.

Особенности горизонтальной структуры полей исследуемых величин (рис. 4 а-г) подтверждают наличие антициклональной ячейки циркуляции, выявленной по полю векторов течений (рис. 3).



**Рис. 4.** 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 концентрации РОВ (е) на осевом разрезе в бухте Омега 28 августа 2019 г.

**Fig. 4.** Distribution of TSM concentration, mg / l on the surface (а), at the bottom (б); distribution of DOM concentration, mg / l on the surface (в), at the bottom (г); distribution of the TSM concentration (д) and DOM concentration (е) at an axial section in Omega Bay on August 28, 2019

Видно, что с открытой части моря от северо-запада в бухту проникал поток вод с минимальным содержанием ОВВ и РОВ, который обтекал ее восточный берег до кутовой части. Вдоль западного берега Омеги наблюдался направленный на север из кутовой области бухты поток с повышенной концентрацией рассматриваемых параметров водной среды.

Нагонный эффект с типичной схемой циркуляции вод в вертикальной плоскости хорошо иллюстрирует распределение концентрации ОВВ и РОВ на осевом разрезе (рис. 4 д, е). Здесь в верхнем и срединном слоях виден проникающий в бухту поток черноморских вод с минимальным содержанием ОВВ и РОВ. В поле концентрации РОВ в придонном слое прослеживаются воды с повышенным содержанием этого вещества, которые в системе компенсационного противотечения распространялись из центральной части бухты в море (рис. 4 е).

Существование антициклональной ячейки циркуляции вод в бухте Омега и характерной, сопровождающей ветровой сгон локальной системы течений на участке рассматриваемого побережья, также подтверждено анализом структуры термохалинного поля.

**Заключение.** По материалам экспедиции, проведенной в августе 2019 г., проанализирована циркуляция вод и структура полей концентрации ОВВ и РОВ на участке севастопольского взморья у бухт Омега и Абрамова.

Выявлено, что один из значимых факторов, определявших структуру рассматриваемых полей, был обусловлен ветровым нагоном.

Под влиянием нагонного северного ветра на исследуемом участке севастопольского взморья наблюдалось ориентированное на юго-запад вдольбереговое ветровое течение. Его скорость в верхнем и срединном слоях изменялась от 15 до 40 см/с, и от 10 до 15 см/с – у дна. Направленная в бухту ветвь этого потока, взаимодействуя с расположенным в ее центральной части поднятием дна,

способствовала формированию антициклональной ячейки циркуляции вод. Данное вихревое образование представляется устойчивым во времени при ветрах северной четверти.

В структуре полей концентрации ОВВ и РОВ обнаружены признаки, которые подтверждают антициклональный характер локальной циркуляции вод в бухте Омега, а также типичную, генерируемую ветровым нагоном систему прибрежных течений.

Показано, что в кутовой части бухты Омега в полях содержания ОВВ и РОВ существует хорошо выраженная фронтальная зона.

Анализ состояния параметров рассмотренных полей не обнаружил признаков антропогенной нагрузки на воды данного участка севастопольского взморья.

*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., академик РАН В.А. Иванов. Ответственный исполнитель темы: к.т.н. А.С. Кузнецов. Ученый секретарь темы: д.г.н. Е.Е. Совга. Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920068.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Emmanuel Boss [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. Tedetti M. [et al.] Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles,

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

doi:10.1071/EN12081

3. *Christofer M.G., Karlsson [et al.]* Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341 // Microbial Biotechnology. 2019. Vol. 12, Iss. 5. P. 892–906. DOI: 10.1111/1751-7915.13441

4. *Комплекс гидробиофизический мультипараметрический погружной автономный «КОНДОР».*

URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 05.12.2019).

5. <http://old.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaeur.html> (дата обращения: 05.12.2019).

6. <https://pogoda.tourister.ru/russia/seva>

stopol/august (дата обращения: 05.12.2019).

7. *Шати́ро Н.Б., Ющенко С.А.* Моделирование ветровых течений в севастопольских бухтах // Морской гидрофизический журнал. 1999. № 1. С. 42–57.

8. *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.

9. *Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды / О.М. Горшкова, С.В. Пацаева, Е.В. Федосеева [и др.]* // Вода: химия и экология. 2009. № 11. С. 31–37.

10. *Хайлов К.М.* Экологический метаболизм в море. Киев: Наукова думка. 1971. 250 с.

## CURRENTS AND FIELDS OF THE TOTAL SUSPENDED MATTER AND DISSOLVED ORGANIC MATTER CONTENT IN THE WATERS OF THE SEVASTOPOL SEASIDE IN AUGUST 2019

**P.D. Lomakin**<sup>1,2</sup>, **A.I. Chepyzhenko**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center «Marine Hydrophysical Institute of RAS»,  
RF, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

Based on the expedition data in August 2019, the current local system and the structure of the concentration fields of the total suspended matter (TSM) and dissolved organic matter (DOM) in the Sevastopol seaside area near Abramova and Omega bays are considered. It is shown that the structure of the studied fields is formed under the influence of the driving wind. In Omega Bay an anticyclone topographic eddy of water circulation and a frontal zone in TSM and DOM field concentration are found. It is revealed that the structure of the concentration fields of TSM and DOM contains signs that confirm the anticyclone nature of the local water circulation in Omega Bay, as well as the typical coastal current system generated by the wind surge. An analysis of the state of the considered field parameters did not reveal signs of anthropogenic pressure on the studied area.

**Keywords:** wind surge, currents, total suspended matter, dissolved organic matter, Crimea.