



**ПОЛЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКРАШЕННОГО
РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА АНТРОПОГЕННОЙ
ПРИРОДЫ В АКВАТОРИИ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (КРЫМ)
И СМЕЖНОГО УЧАСТКА МОРЯ**

П.Д. Ломакин, А.И. Чепыженко

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

На базе данных экспедиций, проведенных в 2008–2019 гг., и серии прибрежных наблюдений, проанализированы особенности структуры поля окрашенного растворенного органического вещества антропогенной природы и временной изменчивости концентрации этого вещества в Балаклавской бухте и смежной акватории Черного моря. Рассмотрены источники и факторы, формирующие прибрежную зону распространения анализируемого вещества. Показано, что в исследуемой акватории основные источники антропогенного окрашенного растворенного органического вещества представлены речным и ливневым стоками, а также выпуском хозяйственно-бытовых сточных вод г. Балаклава. В водах мелководной части Балаклавской бухты отмечено постоянное присутствие антропогенного окрашенного растворенного органического вещества с концентрацией примерно в 2 раза выше природной нормы, которая заметно возрастает во время таяния снега и ливневых дождей. Наблюдаемые в феврале-марте паводки на речке Балаклава сопровождаются резким повышением концентрации окрашенного растворенного органического вещества до 9–10 мг/л и поступлением в бухту других загрязняющих веществ. Во время ливней и дождей средней интенсивности содержание исследуемого вещества в кутовой части бухты достигает 5–6 мг/л. В течение 3–5 суток по окончании дождей концентрация органического вещества снижается до среднего для сухой погоды значения. Выявлено, что сточные воды г. Балаклава, коллектор которых расположен над верхней границей сезонного термоклина, в течение всего года свободно проникают к поверхности моря, формируя в слое 0–5 м максимум концентрации рассматриваемого вещества.

Ключевые слова: окрашенное растворенное органическое вещество, антропогенное воздействие, речной сток, осадки, Балаклавская бухта, Черное море.

Поступила в редакцию: 20.02.2024. После доработки: 07.03.2024. Принята к печати: 22.03.2024.

Введение. Растворенное органическое вещество (РОВ) – важный интегральный компонент водной среды; которому принадлежит ключевая роль в биогеохимическом круговороте элементов различной природы. РОВ включает ряд репрезентативных показателей, в частности, растворенный органический углерод (РОУ) и окрашенное растворенное органическое вещество (ОРОВ) [1].

В Азово-Черноморском бассейне РОУ активно изучается с 40-х годов прошлого столетия. Детальный обзор публикаций относительно этого компонента в водах Черного моря приведен в работе [1].

ОРОВ менее изученный элемент водной среды, хотя, по мнению авторов статей [2–4], данная величина представляет собой один из лучших показателей

качества и загрязнения вод, в том числе и бактериального.

Это свойство использовано нами для исследования антропогенного воздействия на состояние водной среды отдельных акваторий Азовского моря и Керченского пролива, а также севастопольских бухт и открытых участков взморья [5, 6]. В частности, анализ пространственно-временной изменчивости содержания ОРОВ позволил выявить источники, обеспечивающие поступление антропогенного вещества в море, определить факторы и траектории его распространения и трансформации, выделить участки накопления.

Цель предлагаемой статьи – на базе экспедиционных данных и береговых наблюдений выявить источники и зако-

номерности структуры поля концентрации ОРОВ антропогенного происхождения в Балаклавской бухте и смежного залива Мегало-Яло. Определить признаки антропогенного воздействия на водную среду в структуре поля анализируемой величины. Рассмотреть факторы, формирующие прибрежную зону загрязнения, оценить линейный масштаб их влияния. Сопоставить результаты исследований структуры поля ОРОВ с полем содержания общего взвешенного вещества (ОВВ), которое также относят к ряду лучших индикаторов загрязнения вод [7, 8].

Исследуемая акватория – Балаклавская бухта, расположенная на юго-востоке Гераклеяского полуострова, между мысами Фиолент и Айя, и прилегающий залив Мегало-Яло (рис. 1).

Исходные данные и методы исследования. Для анализа структуры поля концентрации ОРОВ использованы материалы 5 съемок, которые были проведены Институтом биологии южных морей в 2000–2010 гг. в рамках комплексного мониторинга состояния вод бухты [9]. Также привлекались архивные данные (из базы океанографических данных Морского гидрофизического института) более поздних 3 съемок, выполненных в апреле 2010 г, мае 2012 г, июне 2012 г. Все съемки реализованы по схеме станций, показанной на рис. 1.

Статистические сведения о временной изменчивости концентрации исследуемой величины в сухую погоду рассчитаны на основе выборки береговых наблюдений в кутовой части бухты, накопленных в течение 2005–2019 гг.



Рис. 1. Исследуемая акватория со схемой океанологических станций. Красным кружком обозначен коллектор неочищенных хозяйственно-бытовых сточных вод г. Балаклава

Fig. 1. Investigated water area with the scheme of oceanological stations. The red circle indicates the collector of untreated domestic waste water of Balaklava

Реакция ОРОВ на ливневой сток рассмотрена на основе рядов береговых наблюдений за концентрацией этого вещества, которые были проведены нами в

кутовой части бухты в течение аномально дождливого лета 2019 г.

Для анализа атмосферных естественных синоптических процессов, вызыва-

ющих паводки на речках сева­стопольского региона и, соответственно, максимальное поступление антропогенного ОРОВ в Балаклавскую бухту, использованы архивные синоптические приземные карты погоды Гидрометцентра Wetterzentrale, Германия [http://old.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaeur.html (дата обращения 03 02 2024)].

Вся океанологическая информация получена посредством эксплуатации гидро­биофизического оптического зонда «Кондор», – «НПП «Аквастандарт», ТУ 431230-006-00241904-2015; код ТН ВЭД ЕАЭС 9027 50 000 0; Сертификат ЕАЭС N RU Д-РУ.ЭМ03.А.00096/19 (URL: http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor (дата обращения: 03 02 2024)).

В ходе каждого зондирования с шагом по глубине 0,1 м синхронно (*in situ*) фиксировались концентрация ОРОВ, температура, соленость и концентрация общего взвешенного вещества (ОВВ). Три последних параметра использовались при интерпретации поля основной рассматриваемой величины.

Рассматривалось окрашенное РОВ (fDOM), определявшееся флуоресцентным методом с калибровкой в стандартах *quinine sulfate equivalents (QSE)* и последующим пересчетом в весовые единицы в соответствии с рекомендациями компании Yellow Springs Instrument Company и массива данных результатов сличения с прямым методом высокотемпературного каталитического сжигания ($r^2 = 0.97$) [10].

Существует простой метод обнаружения любого вещества антропогенного происхождения в водной среде. Его ареал в поле концентрации представлен в виде отдельных пятен, линз, шлейфов с повышенной на окружающем фоне концентрацией и свидетельствует о присутствии вещества там, где оно не предусмотрено природой [11].

Использование этого метода в рамках решаемой задачи предполагает знание фоновой природной концентрации ОРОВ в водах исследуемого региона.

Пока не установлена предельно допустимая концентрация содержания

ОРОВ, как численного показателя загрязнения водной среды. Поэтому, для оценки значимости антропогенной составляющей в поле концентрации этого вещества, его фактическое содержание сравнивалось с концентрацией, свойственной природной среде, – водам с незначительной антропогенной составляющей ОРОВ.

По результатам анализа материалов многочисленных экспедиций нами установлено, что в водах сева­стопольского региона в слое 0–30 м содержание ОРОВ изменяется в широком диапазоне 1–15 мг/л, а структуре фактического поля данного вещества в бухтах и на открытых участках моря свойственна пятнистость, обусловленная наличием локальных максимумов антропогенной природы. Отфильтровав локальные максимумы из фактических полей, мы пришли к выводу, что концентрация в 2 мг/л соответствует среде с минимальной составляющей ОРОВ [6].

Это значение, условно принятое в качестве природной нормы содержания данного вещества в водах исследуемого региона, использовано для определения участков, не испытывающих антропогенного влияния.

Обсуждение результатов. Отметим основные морфометрические особенности бухты, определяющие ограниченность водообмена с открытым морем и, соответственно, структуру поля рассматриваемой величины. Балаклавская бухта меридионально ориентирована. Её продольный размер (длина по фарватеру) 0.8 мили. Кутовая часть с поперечным масштабом 150–200 м соединена с открытой частью узкостью шириною 90–100 м. Ширина бухты на входе 200 м. Глубина в кутовой части и в узкости 5–14 м и 30 м – в открытой части бухты. В вершину бухты впадает речка Балаклавка (рис. 1).

Комплексные (океанографические, гидрохимические, гидробиологические) мониторинговые исследования акватории Балаклавской бухты и смежного залива Мегало-Яло, которые были проведены сотрудниками ИнБЮМ НАНУ в течение первой декады текущего столе-

тия [9], позволили обнаружить два основных участка загрязнения. Это кутовая часть бухты и участок залива на подходе к ее восточному берегу, куда выведен коллектор хозяйственно-бытовых сточных вод г. Балаклава.

По результатам каждой из пяти океанологических съемок, выполненных в рамках мониторинга в 2004–2010 гг., были выявлены одни и те же качествен-

ные признаки структуры поля концентрации ОРОВ. В кутовой части и у юго-восточного берега открытой части Балаклавской бухты наблюдались ярко выраженные локальные максимумы, где концентрация рассматриваемого вещества в разы превышала природную норму. Аналогичные свойства были обнаружены нами и по материалам более поздних экспедиций МГИ (рис. 2).

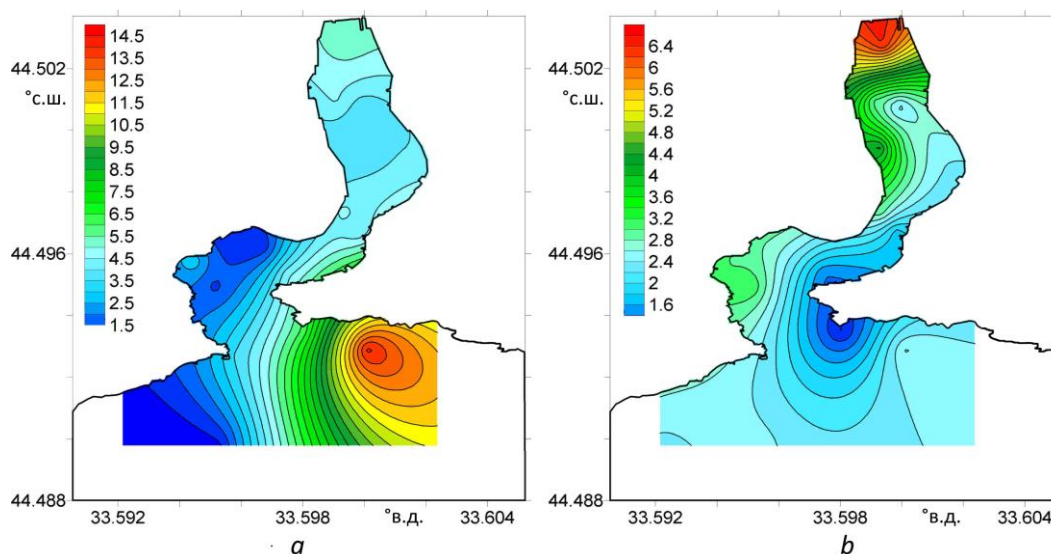


Рис. 2. Типичное для сухой погоды распределение концентрации ОРОВ (мг/л) в районе Балаклавской бухты: *a* – в поверхностном слое, *b* – у дна
Fig. 2. Typical for dry weather distribution of concentrations of ODS (mg/l) in the area of Balaklava Bay: *a* – in the surface layer, *b* – near the bottom

Согласно гидрохимическим и гидробиологическим исследованиям [9], загрязнение кутовой части Балаклавской бухты связано со стоком загрязненной реки Балаклавки, ливневым стоком, плотной стоянкой многочисленных маломерных судов различного назначения.

Вследствие влияния этих факторов водам мелководной части бухты свойственно постоянное присутствие загрязняющих веществ: биогенных элементов искусственного происхождения; минимальное содержание кислорода и pH; существенное превышение предельно-допустимых концентраций по БПК₅ и нитритному азоту, а также высокое содержание антропогенного ОРОВ с особыми признаками структуры поля кон-

центрации данного вещества.

В сухую погоду в кутовой части Балаклавской бухты поле ОРОВ имеет достаточно выраженную вертикальную стратификацию. В верхнем и придонном слое толщиной 0.5–1 м наблюдается максимумом концентрации 3–4 мг/л, что в 1.5–2 раза превышает природную норму.

ОРОВ искусственного происхождения распространено в придонном слое мелководных кутовой и срединной областях бухты. Вследствие ограниченного водообмена это вещество аккумуляровано в кутовой части, откуда поступает в узкую срединную область на расстоянии около 0.3 мили от вершины бухты. В водах открытой части Бала-

клавской бухты содержание ОРОВ близко к природной норме (рис. 2).

В сухую погоду на поверхности в кутовой части бухты временные вариации концентрации ОРОВ характеризуются следующими статистическими данными, рассчитанными по выборке объемом $n = 14$. Абсолютный размах – 2.8–4.2 мг/л; среднее и модальное значения, соответственно, 3.3 мг/л и 3.5 мг/л; повторяемость моды – 36%; стандартное отклонение – 0.3 мг/л. То есть, за все время наблюдений в этой части бухты отмечено постоянное присутствие антропогенного ОРОВ, концентрация которого в 1.4–2.1 раза превышала природную норму. Минимальная концентрация ОРОВ, согласно [9], наблюдалась в ситуации апвеллинга.

Наиболее значимый источник антропогенного ОРОВ в бухте связывают со стоком р. Балаклавки [9]. На площади водосбора этой речки находятся обширные сельскохозяйственные угодья, куда ежегодно вносятся искусственные удобрения. Зимой и весной, во время интенсивного таяния снега, а также при сильных дождях, моментальный расход Балаклавки может увеличиваться на порядок и более. С паводковыми и ливневыми водами в куттовую часть бухты поступает огромное количество загрязняющих веществ, в том числе и ОРОВ антропогенной природы.

В феврале 2006 г. во время интенсивного таяния снега и паводка на р. Балаклавка отмечена ситуация максимального загрязнения вод куттовой части бухты за весь период наблюдений, которая характеризовалась следующими показателями: экстремально низкие соленость 13,40 ЕПС и рН 7,11; максимальная концентрация нитратного азота, в разы превышающая предельно допустимую концентрацию, и содержание ОРОВ 9.6 мг/л (почти в 5 раз выше природной нормы).

Поэтому для прогнозирования сроков экстремального загрязнения вод Балаклавской бухты, необходимо знание о паводковых явлениях на р. Балаклавка.

Выполненный нами анализ атмосферных синоптических процессов в районе юго-западного Крымом за по-

следние 20 лет показал, что зимне-весенние паводки на речках севастопольского региона – довольно частое явление. Оно обусловлено резкими синоптическими потеплениями, вызываемыми фоновым эффектом, который возникает при юго-восточном ветре.

Фен в севастопольском регионе, как правило, наблюдается в феврале–марте (чаще в феврале) в условиях юго-восточного атмосферного переноса. При этом сухой теплый ветер с отрогов Крымских гор содействует установлению сухой ясной погоды с температурой воздуха до 20°C и выше, которая способствует интенсивному таянию снега на водосборах крымских речек. Подобные естественные синоптические периоды длятся от нескольких суток до декады. Иногда их называют «февральскими окнами».

Следующий по значимости фактор загрязнения мелководной части Балаклавской бухты обусловлен ливневыми сточными водами. Их влияние в поле ОРОВ выражается в резких всплесках концентрации этого вещества, наблюдаемых после выпадения дождей. Это свойство продемонстрировано на 2-х рядах береговых наблюдений за концентрацией ОРОВ в куттовой части бухты, организованных нами летом 2019 г. (рис. 4).

Лето 2019 г. в Севастопольском регионе было аномально дождливым. Так, 7 июня в ходе сильного продолжительного ливня в Севастополе и Балаклаве выпало значительное количество осадков (78 мм при месячной норме 26 мм), что сопровождалось поступлением в прибрежную зону моря большого объема ливневых сточных вод. Серия непродолжительных ливней и дождей средней интенсивности также прошла 4–6 августа.

На рис. 3а изображен график временного хода концентрации ОРОВ за недельный интервал после окончания мощного ливня. Первая точка на этом графике соответствует пробе, отобранной примерно через 2 часа по окончании ливня. Видно, что поступление ливневого стока в куттовую часть бухты

сопровождалось резким (относительно типичного для сухой погоды фонового уровня концентрации) увеличением содержания ОРОВ до 6,4 мг/л, что в 3.2 раза выше природной нормы и почти в 2 раза выше средней концентрации дан-

ного вещества, наблюдаемой в сухую погоду. В течение 3-х последующих суток концентрация анализируемого вещества падала до фонового уровня и далее оставалась относительно стабильной.

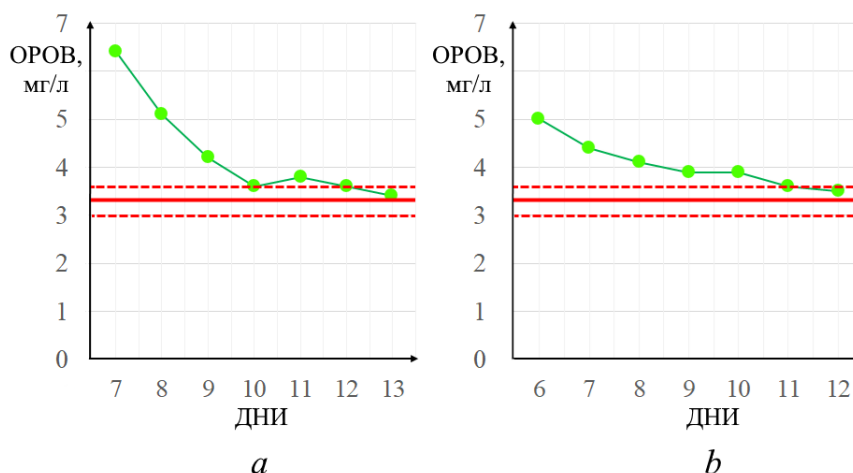


Рис. 3. Изменения содержания ОРОВ (мг/л) в кутовой части Балаклавской бухты в течение недели после интенсивных дождей летом 2019 г: в июне – *a*, в августе – *b*.

Красными линиями отмечена средняя для сухой погоды (с коридором стандартного отклонения) концентрация исследуемого вещества

Fig. 3. Changes in the OROV content (mg/l) in the kut part of Balaklava Bay within a week after intense rains in summer 2019: in June – *a*, in August – *b*.

The red lines indicate the average for dry weather (with the corridor of standard deviation) concentration of the investigated substance

График на рис. 3б, построенный по аналогии с проанализированным выше графиком, свидетельствует о следующем. По окончании серии дождей, продолжавшейся 3 суток, концентрация ОРОВ в кутовой части бухты была меньшей по сравнению с случаем однократного мощного ливня и равнялась 5,0 мг/л (в 2.5 раза выше природной нормы). Вместе с тем, ее падение до фонового характерного для сухой погоды уровня оказалось более медленным и длилось около 5 суток.

Результат обсуждаемого эксперимента позволяет полагать, что избыточное антропогенное ОРОВ, поступающее в бухту с ливневым стоком, полностью осаждается в водной толще через 3–5 суток. То есть, отклик среды на всплеск концентрации ОРОВ, обусловленный

ливневым стоком, длится примерно от 3 до 5 суток.

Отметим, что максимумы концентрации ОРОВ в анализируемых ситуациях (рис. 3) наблюдались при низкой 15.22–15.34 ЕПС солености. По статистическим данным [9], средняя соленость верхнего слоя в кутовой части Балаклавской бухты – 17.30 ЕПС, минимальная – 13.40 ЕПС.

Согласно [9, 12], основной источник загрязнения акватории Балаклавской бухты и залива Мегало-Яло – неочищенные хозяйственно-бытовые сточные воды г. Балаклавы, коллектор которых расположен в северной части залива у юго-восточного берега бухты на расстоянии 55 м от уреза воды на глубине 9 м (рис. 1).

Верхняя граница сезонного термоклина в исследуемом районе моря в

среднем залегает на глубине около 15 м [9], что создает благоприятные условия для свободного подъема загрязненных вод из придонных горизонтов и выходу их на поверхность моря в течение всего года.

Этот эффект удостоверяют результаты анализа всех имеющихся в нашем распоряжении данных, которые показали постоянное присутствие в области коллектора очага загрязнения вод ОРОВ антропогенной природы. На поверхности моря максимум концентрации ОРОВ достигал 10,2–14,8 мг/л, что в 5–7.5 раз выше природной нормы. Основное количество исследуемого вещества аккумуляровано в слое 0–5 м. С глубиной концентрация ОРОВ падала до 2.3–2.7 мг/л в придонном слое. Диаметр пятна с максимумом концентрации ОРОВ в поверхностном слое – около 50–100 м (рис. 2). Оно также проявлялось в структуре халинного поля в виде хорошо выраженного локального минимума, где соленость была на 0.2–0.5 ЕПС ниже окружающего фона.

В поле ОРОВ влияние коллектора сточных вод г. Балаклава распространяется на открытую акваторию залива Мегало-Яло и Балаклавскую бухту. На поверхности моря горизонтальный масштаб влияния коллектора примерно равен 0.5–1.0 мили.

Сточные воды отличаются повышенной мутностью и хорошо прослеживаются визуально. При южном ветре прижатая к восточному берегу Балаклавской бухты струя мутных вод из области коллектора проникает в куттовую часть.

Наблюдаемая в течение ~ 2-х последних десятилетий консервативность структуры поля ОРОВ в Балаклавской бухте – свидетельство постоянства источников загрязнения и их параметров, и, соответственно, количества антропогенного ОРОВ, поступающего в Балаклавскую бухту и смежный залив.

Исследовав структуру поля концентрации РОУ в Восточносибирском море, авторы статьи [13], отметили важные

свойства данной величины, – консервативность и реакцию на синоптические процессы.

Отслеженная нами стабильность структуры поля концентрации ОРОВ в Балаклавской бухте и его отклик на синоптические процессы подтверждают эти свойства.

Сравнение структуры полей концентрации ОРОВ и ОВВ показало их идентичность – совпадение основных антропогенных максимумов содержания этих величин и горизонтального масштаба соответствующих неоднородностей. Эта особенность прослежена по результатам всех выполненных в исследуемой акватории съемок и продемонстрирована на рис. 2 и рис. 4.

Подобный эффект не свойственен природным водам. Так, согласно [1, 14], в природной среде концентрация РОВ – прямая функция освещенности или, учитывая обратную зависимость освещенности от концентрации ОВВ, связь между концентрацией РОВ и ОВВ в природной водной среде – обратная. Прямая связь между концентрацией ОРОВ и ОВВ (рис. 2, 4) – одно из доказательств загрязнения акватории Балаклавской бухты и залива Мегало-Яло.

Заключение. На основе данных экспедиционных исследований, проведенных в 2008–2019 гг. и прибрежных наблюдений, выявлены закономерности структуры и временных вариаций поля концентрации ОРОВ антропогенного происхождения в водах Балаклавской бухты и смежного залива Мегало-Яло. Определены источники и признаки антропогенного воздействия на водную среду.

Показано, что в исследуемой акватории существуют 2 участка, где содержание ОРОВ постоянно превышает природную норму. Это куттовая часть бухты и участок залива на подходе к ее восточному берегу, куда выведен коллектор сточных вод г. Балаклавы.

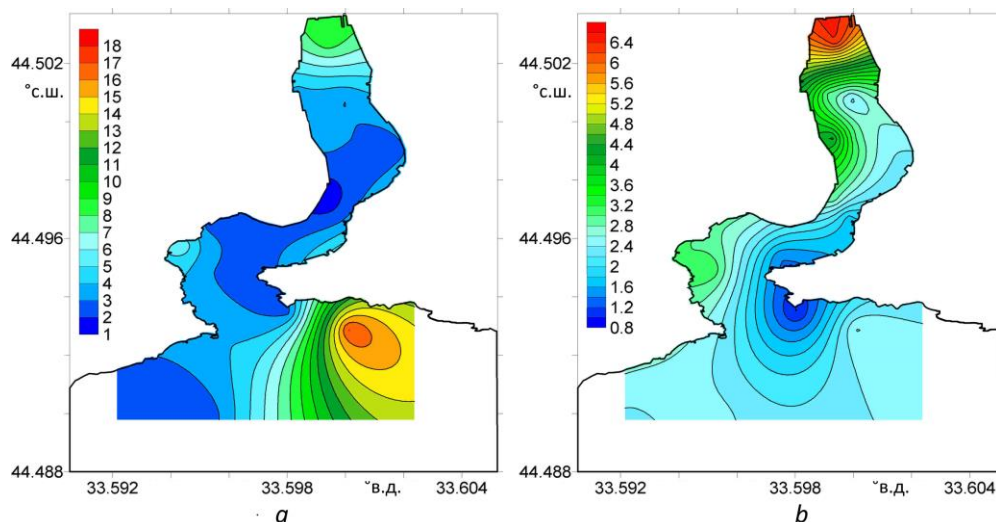


Рис. 4. Типичное для сухой погоды распределение концентрации ОБВ (мг/л) в районе Балаклавской бухты: *a* – в поверхностном слое, *b* – у дна
Fig. 4. Typical for dry weather distribution of OMV concentrations (mg/l) in the area of Balaklava Bay: *a* – in the surface layer, *b* – near the bottom

Поступление антропогенного ОРОВ в куттовую часть Балаклавской бухты обусловлено стоком впадающей в вершину бухты загрязненной реки Балаклавы, ливневым стоком, стоянкой многочисленных маломерных судов.

Вследствие влияния этих факторов водам мелководной части бухты свойственно устойчивое присутствие загрязняющих веществ, – биогенных элементов искусственного происхождения; минимальное содержание кислорода и pH; существенное превышение предельно-допустимых концентраций по БПК₅ и нитритному азоту, а также высокое содержание антропогенного ОРОВ с особыми признаками структуры поля концентрации данного вещества.

В куттовой части бухты обнаружено стабильное присутствие антропогенного ОРОВ, концентрация которого в сухую погоду в 1.4–2.1 раза превышала природную норму.

Наиболее значимый фактор загрязнения куттовой части бухты связан с паводками на р. Балаклава, наблюдаемыми в феврале–марте во время таяния снега на площади водосбора этой реки и обусловленными резкими синоптическими потеплениями, определяемыми фоновым эффектом, который возникает при юго-восточном ветре. Содержание

ОРОВ в бухте при паводке было максимальным 9.6 мг/л за все время наблюдений.

Следующий по значимости фактор – ливневой сток. После ливней и дождей средней интенсивности зафиксированы всплески концентрации рассматриваемого вещества до 5–6 мг/л, которые затухали в течение 3–5 суток. Акватория распространения антропогенного ОРОВ в сухую погоду оценивается горизонтальным масштабом в 0.3 мили.

Установлено, что коллектор сточных вод г. Балаклава, который расположен над верхней границей сезонного термоклина, обеспечивает постоянное поступление в водную толщу антропогенного ОРОВ и его свободное проникновение к поверхности моря в течение всего года. Концентрация этого вещества, достигающая 15 мг/л. максимальна для всего севастопольского региона, а основная масса сосредоточена в слое 0–5 м. Диаметр распределенного пятна локального максимума ОРОВ на поверхности моря 50–100 м. Влияние коллектора в поле ОРОВ – около 1 мили.

Показано, что в исследуемой акватории концентрация ОРОВ – прямая функция ОБВ, тогда как в незагрязненной водной среде связь между этими величинами обратная.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности распределения органического вещества в водах Черного моря / А.И. Агатова [и др.] // Система Черного моря. Москва: Научный мир. 2018. С. 146–170.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=41513159>
(дата обращения: 17.04.2023).

2. 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. Vol. 106. № C5. P. 9499–9507.

3. Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., C. Guigue, Ferretto N. and 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. No. 9. P. 438–449.

4. Karlsson C.M.G., Cerro-Galvez E., Lundin D., Karlsson C., Vila-Costa M., Pinhassi J. Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341/ Microbial Biotechnology. July 2019 DOI: 10.1111/1751-7915.13441

5. Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А. Поле концентрации растворенного органического вещества в Азовском море и Керченском проливе на базе оптических наблюдений // МГЖ, 2016, Вып. 5. С. 76–89.

DOI: 10.22449/0233-7584-2016-5-76-88

6. Ломакин П.Д., Попов М.А., Чепыженко А.А. Оценка состояния морских вод по данным о концентрации окрашенного растворенного органического вещества в бухте Омега (Крым) летом 2020 г. // Метеорология и гидрология. 2021. № 11. С. 100–108.

DOI: 10.52002/0130-2906-2021-11-100-108

7. Håkanson Lars. The relationship between salinity, suspended particulate matter and water clarity in aquatic systems. Ecological Research Volume 21, Issue 16, p. 75–90. <https://DOI.org/10.1007/s11284-005-0098-x>

8. Forero López A.D., Truchet D.M., Rimondino G.N., Maisano L., Spetter C.V., Buzzzi N.S., Nazzarro M.S., Malanca F.E., Furlong O., Severini M.D. Fernández. Microplastics and suspended particles in a strongly impacted coastal environment: Composition, abundance, surface texture, and interaction with metal ions, Science of The Total Environment, 10.1016/j.scitotenv.2020.142413, 754, (142413), (2021).

9. Ломакин П.Д., Попов М.А. Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты. Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика. 2013. 220 с.

10. Saraceno J.F., Pellerin B.A., Downing B.D., Boss E., Bachand P.A.M., Bergamaschi B.A. High-frequency in situ optical measurements during a storm event: Assessing relationships between dissolved organic matter, sediment concentrations, and hydrologic processes // Journal of Geophysical Research, 2009, Vol. 114, G00F09. DOI:10.1029/2009JG000989

11. Chapman P.M., Hayward A., Faithful J. (2017) Total Suspended Solids Effects on Freshwater Lake Biota Other than Fish // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. Vol. 99. P. 423–427. DOI: 10.1007/s00128-017-2154-y

12. Грузинов В.М., Дьяков Н.Н., Мезенцева И.В., Мальченко Ю.А., Жохов Н.В., Коршенико А.Н. Источники загрязнения прибрежных вод севавтопольского района. Океанология. 2019. Т. 59, № 4, С. 579–590.

DOI: 10.31857/S0030-1574594579-590

13. Пузач С. П., Пупко И.И. Динамика растворенного окрашенного органического вещества на шельфе Восточно-сибирского моря // Доклады Академии наук. 2012. Т. 447, № 6. С. 671–674. <https://elibrary.ru/item.asp?id=18448015>
(дата обращения: 17.08.2021).

14. *Растворенное и взвешенное органическое вещество Черного моря в зимне-весенний период* / А.И. Агатова [и др.] // Комплексные океанографические

исследования Черного моря. Севастополь: СКТБ МГИ АН УССР. 1989. С. 153–164.

CONCENTRATION FIELD OF THE COLORED DISSOLVED ORGANIC MATTER OF ANTHROPOGENIC NATURE IN THE WATER AREA OF BALAKLAVA BAY (CRIMEA) AND ADJACENT AREAS OF THE SEA

P.D. Lomakin, A.I. Chepyzhenko

FRC Marine Hydrophysical Institute of RAS, RF, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

Based on the data obtained during expeditions carried on in 2008–2019, and a series of coastal observations, the features of the field structure of the colored dissolved organic matter of anthropogenic nature and the temporal variability of the concentration of this substance in the Balaklava Bay and the adjacent water area of the Black Sea are analyzed. The sources and factors that form the coastal zone of distribution of the analyzed substance are considered. It is shown that in the study area the main sources of anthropogenic colored dissolved organic matter are represented by river and storm runoff, as well as by the release of domestic wastewater from Balaklava. In the waters of the shallow part of the Balaklava Bay, the constant presence of anthropogenic colored dissolved organic matter is revealed with a concentration approximately 2 times higher than the natural norm, which increases significantly during snowmelt and heavy rains. The overflowing of the Balaklava River in February–March was accompanied by a sharp increase in the concentration of colored dissolved organic matter up to 9–10 mg/l and the input of other pollutants into the bay. During showers and rains of medium intensity, the concentration of the studied substance in the bay apex reaches 5–6 mg/l. Within 3–5 days after the end of rains, the concentration of organic matter decreases to the average value for dry weather. It is revealed that wastewater from Balaklava, whose collector is located above the upper boundary of the seasonal thermocline, freely penetrates to the sea surface throughout the year, forming a maximum concentration of the substance under consideration in the 0–5 m layer.

Keywords: colored dissolved organic matter, anthropogenic impact, river runoff, precipitation, Balaklava Bay, Black Sea.

REFERENCES

1. *Osobennosti raspredeleniya organicheskogo veshchestva v vodakh Chernogo morya* (Features of the distribution of organic matter in the waters of the Black Sea). Moskva: Nauchnyy mir, 2018, pp. 146–170. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41513159> (April, 17. 2023).
2. Boss E., Pegau W.S., Zaneveld J.R.V., and et al. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf. *J. Geophys. Res.*, 2001, Vol. 106, No. C5, pp. 9499–9507.
3. Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., C. Guigue, Ferretto N., and 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, No. 9, pp. 438–449.
4. Karlsson C.M.G., Cerro-Galvez E., Lundin D., Karlsson C., Vila-Costa M., and Pinhassi J. Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341. *Microbial Biotechnology*. July 2019. DOI: 10.1111/1751-7915.13441
5. Lomakin P.D., Chepyzhenko A.I., and Chepyzhenko A.A. Pole kontsentratsii rastvorennogo organicheskogo veshchestva v Azovskom more i Kerchenskom prolive na baze opticheskikh nablyudeniy (Concentration field of dissolved organic matter in the Sea of Azov and the Kerch Strait based on optical observations). *MGZH*, 2016, No. 5, pp. 76–89. DOI: 10.22449/0233-7584-2016-5-76-88
6. Lomakin P.D., Popov M.A., and Chepyzhenko A.A. Otsenka sostoyaniya morskikh vod po dannym o kontsen-tratsii okrashennogo rastvorennogo organicheskogo veshchestva v bukhte Omega (Krym) letom 2020 (Assessment of the state of sea waters based on data on the concentration of colored dissolved organic matter in Omega Bay (Crimea) in the summer of 2020). *Meteorologiya i gidrologiya*. 2021. No. 11, pp. 100–108. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-11-100-108

7. *Håkanson Lars*. The relationship between salinity, suspended particulate matter and water clarity in aquatic systems. *Ecological Research*. Vol. 21, Issue 1, pp. 75–90. <https://DOI.org/10.1007/s11284-005-0098-x>
8. *Forero López A.D., Truchet D.M., Rimondino G.N., Maisano L., Spetter C.V., Buzzi N.S., Nazzarro M.S., Malanca F.E., Furlong O., and Severini M.D. Fernández*. Microplastics and suspended particles in a strongly impacted coastal environment: Composition, abundance, surface texture, and interaction with metal ions, *Science of The Total Environment*, 10.1016/j.scitotenv. 2020.1 42413, 754, (142413), (2021).
9. *Lomakin P.D. and Popov M.A.* Okeanologicheskaya kharakteristika i otsenka zagryazneniya vod Balaklav-skoy bukhty (Oceanological characteristics and assessment of water pollution in Balaklava Bay) Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika, 2013, 220 p.
10. *Saraceno J.F., Pellerin B.A., Downing B.D., Boss E., Bachand P.A.M., and Bergamaschi B.A.* High-frequency in situ optical measurements during a storm event: Assessing relationships between dissolved organic matter, sediment concentrations, and hydrologic processes // *Journal of Geophysical Research*, 2009, Vol. 114, G00F09. DOI:10.1029/2009JG000989
11. *Chapman P.M., Hayward A., and Faithful J.* Total Suspended Solids Effects on Freshwater Lake Biota Other than Fish // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2017, Vol. 99. pp. 423–427. DOI: 10.1007/s00128-017-2154-y
12. *Gruzinov V.M., D'yakov N.N., Mezentseva I.V., Mal'chenko YU.A., Zhokhov N.V., and Korshenko A.N.* Istochniki zagryazneniya pribrezhnykh vod Sevastopol'skogo rayona (Sources of pollution of coastal waters of the Sevastopol region). *Okeanologiya*, 2019, Vol. 59, No. 4, pp. 579–590. DOI: 10.31857/S0030-1574594579-590
13. *Pugach S P. and Pipko I.I.* Dinamika rastvorennoho okrashennogo organicheskogo veshchestva na shel'fe Vostochnosibirskogo moray (Dynamics of dissolved colored organic matter on the shelf of the East Siberian Sea). *Doklady Akademii nauk*. 2012. Vol. 447, No. 6. pp. 671–674. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18448015> (August 17, 2021).
14. *Rastvorennoye i vzveshennoye organicheskoye veshchestvo Chernogo morya v zimne-vesenniy period / A.I. Agatova [i dr.]* (Dissolved and suspended organic matter of the Black Sea in the winter-spring period). *Kompleksnyye okeanograficheskiye issledovaniya Chernogo morya*. Sevastopol: SKTB MGI AN USSR, 1989, pp. 153–164.