

Органическое вещество и гранулометрический состав современных донных отложений Балаклавской бухты (Черное море)

Н. А. Орехова^{1,*}, Е. И. Овсяный¹, К. И. Гуров¹, М. А. Попов^{2,**}

¹Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

*E-mail: natalia.orekhova@mhi-ras.ru

²Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

**E-mail: maricultura@mail.ru

Поступила в редакцию 18.06.2018 г., после доработки – 03.08.2018 г.

Представлены результаты исследования донных отложений Балаклавской бухты, отобранных в феврале и июне 2015 г. Изучены гранулометрический состав, содержание органического углерода ($C_{орг}$) и карбоната кальция ($CaCO_3$). Установлено заметное изменение фракционного состава за последние 10 лет. В большей степени это касается песчаного и гравийного материала, его количественных характеристик и особенностей пространственного распределения. Содержание илистого материала в отложениях Балаклавской бухты в среднем по всем пробам увеличилось с 58 до 66%. Выполнен сравнительный анализ изменения органического углерода за период 2005–2015 гг. в донных отложениях Балаклавской бухты, а также других акваторий Гераклейского полуострова. Отмечена общая тенденция к снижению содержания органического вещества в донных отложениях бухты, что объясняется изменением антропогенной нагрузки. Среднее содержание $C_{орг}$ в донных отложениях Балаклавской бухты в два – три раза ниже, чем в других бухтах региона, подверженных длительной антропогенной нагрузке. Однако загрязнение Балаклавской бухты неочищенными коммунальными, ливневыми и промышленными стоками приводит к формированию зон с локальным переобогащением органическим веществом ($C_{орг} > 2,5\%$). Такое обогащение способно оказывать негативное влияние на экологическое состояние морской среды, в частности, вызывая структурные перестройки в сообществе макрозообентоса. Дальнейшее снижение содержания органического вещества возможно лишь при устранении (снижении влияния) основных источников загрязнения, что крайне важно для реализации государственных планов по использованию акватории бухты для рекреации и устройства яхтенной марины.

Ключевые слова: Балаклавская бухта, донные отложения, гранулометрический состав, органический углерод, карбонатность.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей», проектов РФФИ № 18-45-920007 «Геохимия загрязняющих веществ донных отложений Балаклавской бухты (Черное море)» и № 18-45-920008 «Оценка влияния накопления органического вещества в донных отложениях на изменение окислительно-восстановительных условий бухт Севастопольского региона».

Для цитирования: Органическое вещество и гранулометрический состав современных донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / Н. А. Орехова [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 6. С. 523–533. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-523-533

Organic Matter and Grain-size Distribution of the Modern Bottom Sediments in the Balaklava Bay (the Black Sea)

N. A. Orekhova^{1*}, E. I. Ovsyany¹, K. I. Gurov¹, M. A. Popov^{2**}

¹Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

*e-mail: natalia.orekhova@mhi-ras.ru

²Kovalevsky Institute of Marine Biological Researches, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

**e-mail: maricultura@mail.ru

The results of investigation of the bottom sediments sampled in the Balaklava Bay in February and June, 2015 are represented. The grain-size distribution, and the organic carbon (C_{org}) and calcium carbonate ($CaCO_3$) content have been studied. Noticeable change in the fractions' content that took place in course of the last 10 years is revealed. To a greater extent it is referred to the sand or gravel material, its quantitative characteristics and the features of its spatial distribution. As for the silt material in the Balaklava Bay sediments, its content, according to all the samples, grew, on the whole, from 58 to 66%. The changes in the organic carbon abundance that took place in the bottom sediments in 2005–2015 were comparatively analyzed both for the Balaklava Bay and other water areas of the Heraklion Peninsula. A general tendency of the organic matter abundance to decrease in the bottom sediments of the bay was noted; it is treated as a result of some alteration in the anthropogenic pressure. The organic carbon mean concentration in the Balaklava Bay bottom sediments is two to three times lower than that in the other bays of the region which were subjected to permanent anthropogenic pressure. However, pollution of the Balaklava Bay with the untreated municipal, storm and industrial sewages leads to formation of the local bottom zones where the sediments are over-saturated with organic matter ($C_{org} > 2.5\%$). Such phenomena can exert a negative impact on the state of the marine environment ecology including, in particular, structural deviations in the macrozoobenthos community. Further decrease of the organic matter abundance is possible only in case the pollution basic sources are either completely removed or, at least, their influence is reduced. Such a condition is indispensable due to its extreme importance for implementing the state plan to turn the Balaklava Bay into a recreational area and a yacht marina.

Keywords: Balaklava Bay, bottom sediments, grain size, organic carbon, inorganic carbonate content.

Acknowledgements: the investigation is carried out within the framework of the state task on the theme № 0827-2018-0004 “Complex interdisciplinary investigations of the oceanologic processes conditioning functioning and evolution of the Black and Azov seas’ ecosystems of the coastal zones” (code “Coastal investigations”), RFFI projects № 18-45-920007 “Geochemistry of the contaminating substances of the Balaklava Bay bottom sediments (the Black Sea) and № 18-45-920008 “Estimating influence of the organic matter accumulation in the bottom sediments upon the change of the oxidation-reduction conditions in the bays of the Sevastopol region”.

For citation: Orekhova, N.A., Ovsyany, E.I., Gurov, K.I. and Popov, M.A., 2018. Organic matter and *grain-size distribution* of the modern bottom sediments in the Balaklava Bay (the Black Sea). *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, [e-journal] 34(6), pp. 523-533. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-523-533 (in Russian).

Вопросы оценки уровня антропогенного эвтрофирования прибрежных акваторий Черного моря остаются актуальными и в настоящее время. При этом исследование влияния органического обогащения донных отложений на процессы, протекающие в зоне сопряжения вода – дно, наряду с другими факторами (затраты кислорода на окисление лабильного органического вещества, окислительно-восстановительные условия, гранулометрический состав осадков, прижизненное состояние бентосного сообщества и др.) является первостепенным для определения роли органического обогащения отложений в экологическом состоянии морской среды.

Накопление органического вещества (ОВ) в морских донных отложениях характерно для шельфовых зон, особенно для устьевых районов и полузамкнутых прибрежных акваторий с затрудненным водообменом, подверженных постоянной антропогенной нагрузке. Избыточное накопление ОВ негативно отражается на экологическом состоянии прибрежных акваторий, что проявляется в возникновении придонной гипоксии/аноксии и заморных явлений, влиянии на макробентос, увеличении подвижности ряда металлов при возникновении

восстановительных условий и их переходе в придонные слои вод, выносе биогенных элементов, который способствует эвтрофикации вод, и т. д. [1–3].

Изученность севастопольских бухт в этом плане весьма неравнозначна: исследование ОБ донных отложений в Севастопольской бухте проводилось систематически в течение многих лет [4–6], в остальных бухтах – эпизодически. К числу таких акваторий относится Балаклавская бухта, в 40–90-е гг. XX в. возможность ее изучения была весьма ограничена, экосистема бухты подвергалась значительному техногенному воздействию. Изменение статуса Балаклавской бухты и снижение техногенной нагрузки позволяет надеяться на улучшение экологического состояния морской среды. Однако многие проблемы, связанные с антропогенным воздействием на ее экосистему, до настоящего времени остаются не решенными: основными источниками загрязнения являются хозяйственно-бытовые, ливневые и промышленные сточные воды, которые попадают в акваторию бухты без очистки, а также речной сток и эоловые поступления [7, 8].

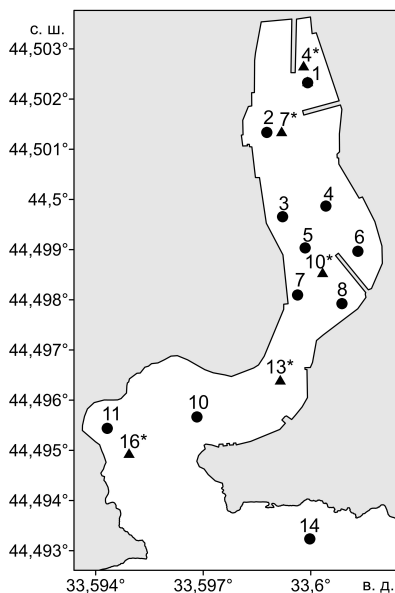
Первые исследования донных отложений Балаклавской бухты были выполнены профессором А. Вериго в 1885 г. Изучались пластичные черные осадки в верховье бухты, используемые в качестве лечебных грязей как аналог грязи сакских и одесских лиманов. Было определено содержание минеральных солей, аминных оснований, жирных кислот [9]. Начало современных исследований донных отложений положено Институтом биологии южных морей (ИнБЮМ) в 90-е гг. XX в. [10]. Получены данные по физико-химическим показателям донных отложений, составу и количественным характеристикам макрозообентоса, дана оценка экологического состояния акватории. Исследования, выполненные Морским гидрофизическим институтом (МГИ) в 2005 г., дали возможность оценить уровень загрязнения донных отложений металлами и рассмотреть особенности накопления и распределения органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в поверхностном слое (0–5 см) [11]. В 2006 г. при участии ИнБЮМ было выполнено комплексное исследование донных отложений прибрежных акваторий Черного моря, в том числе ОБ Балаклавской бухты [12]. В настоящее время в связи с решением Правительства РФ о развитии Балаклавской бухты как международного центра яхтенного туризма [13] вопросы оценки состояния и экологического оздоровления морской среды имеют первостепенное значение.

Основная цель данной работы – исследование особенностей распределения $C_{\text{орг}}$ в поверхностном слое и толще донных отложений, оценка уровня обогащения донных осадков органическим веществом в современный период и тенденции его изменения во времени.

Район работ, материал и методы исследования

Балаклавская бухта, расположенная на юго-западе Гераклеяского п-ова, является полузамкнутой акваторией эстуарного типа с затрудненным водообменом. Бухта имеет S-образную конфигурацию: в центральной части коленивидная узость разделяет ее на две примерно равные по площади акватории – северный и южный бассейны, которые отличаются особенностями морфометрии и гидродинамики, величиной первичной продукции, уровнем загрязнения [7, 14].

Как уже отмечалось, Балаклавская бухта подвергалась длительной техногенной нагрузке [7, 11]. Источниками промышленного загрязнения донных отложений были сточные воды судоремонтного завода «Металлист», которые сбрасывались в верховье бухты без очистки, а также загрязнения, образующиеся при доковом ремонте судов. В кутовую часть бухты впадает река Балаклавка, площадь водосбора которой составляет 27 км². Гидрометрические и гидрохимические наблюдения на реке не проводятся. Ее основное питание – дождевое; в период межени река пересыхает и служит коллектором для сброса сточных вод. Сток р. Балаклавки формируется склоновым смывом с площади водосбора (в основном с селитебной территории и территории Балаклавского рудоуправления) и коммунальными стоками в количестве ≥ 8 тыс. м³/сут при их сбросе в полном объеме без очистки в залив Мегалояло у м. Балаклавский. Эти сточные воды, разгрузка которых осуществляется фактически на водную поверхность (10-метровую глубину), при определенных гидродинамических ситуациях [8] попадают в южный бассейн бухты, оказывая влияние на процессы седиментации, накопления загрязняющих веществ и органического углерода. Сброс загрязняющих веществ в р. Балаклавку оценивается в 18,5 т/год, из них взвешенных веществ 1,84 т/год, органических – 2,3 т/год [15]. В настоящее время бухта используется преимущественно как яхтенная марина и портовая акватория для рыболовецких судов, в местах стоянок которых отмечаются локальные загрязнения воды нефтепродуктами.



Р и с. 1. Схема станций отбора проб (февраль, июнь 2015 г.): ● – донные отложения с поверхности (0–5 см); ▲ – колонки осадков

F i g. 1. Scheme of the sampling stations (February, June 2015): ● – bottom sediments from the surface (0–5 cm); ▲ – sediment columns

Пробы донных отложений для исследования пространственного распределения геохимических параметров (содержание C_{org} , хлороформного битумоида, карбонатность ($CaCO_3$)) были отобраны на станциях (рис. 1) из верхнего слоя (0–5 см) дночерпателем типа Петерсона в феврале 2015 г.; в июне 2015 г. отобраны колонки грунта для изучения особенностей вертикального распределения. Отбор, подготовка и анализ проб выполнялись стандартными методами в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 17.1.5.01-80, ИСО 5667-12:1995, ИСО 5667-19:2004, ИСО 14235-1998, ИСО 10693-1995, ИСО 11277:1998, ГОСТ Р 11465-2011) с учетом методических рекомендаций руководства UNEP [16]. Содержание C_{org} и карбонатность измеряются в % массовой доли сухого вещества.

Результаты и их обсуждение

Донные отложения бухты представлены илстыми осадками, песчаными илами и осадками с крупнозернистым каменным гравием и ракушечным материалом с малым содержанием ила. Илстые осадки в верхних слоях (0–5 см) полужидкие, с наилком (0–2 см), затхлым (гнилостным) запахом и/или запахом H_2S (3–5 см) (рис. 2). Они водонасыщены, их естественная влажность изменялась от 150 до 92%. Илстые осадки характеризовались высоким содержанием органического углерода, $\geq 2,5\%$ (рис 3, *a*). Пески с ракушечным гравием имели натуральную влажность 30–37%, максимальное содержание $CaCO_3$ (до $\sim 99\%$) и минимальное содержание C_{org} (менее 0,5%) (рис 3, *b*).

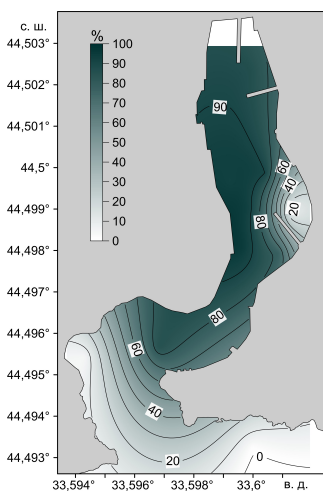


Рис. 2. Распределение алеврито-пелитовой фракции (%) в донных отложениях Балаклавской бухты (2015 г.)
Fig. 2. Distribution of the aleurito-pelitic fraction (%) in the Balaklava Bay bottom sediments (2015)

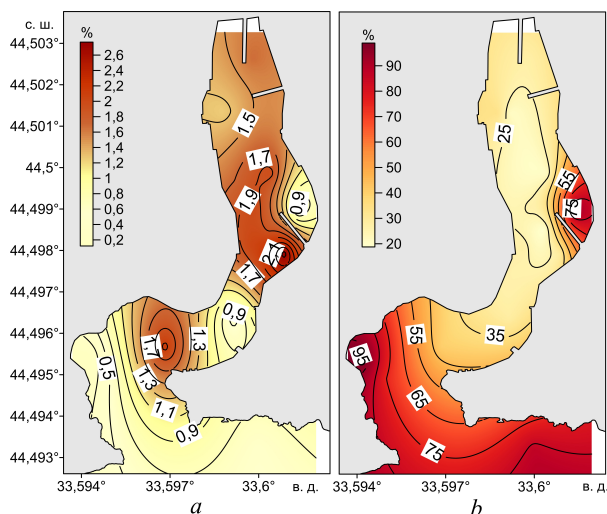


Рис. 3. Распределение C_{org} (%) – *a* и $CaCO_3$ (%) – *b* в поверхностном слое (0–5 см) донных отложений Балаклавской бухты (2015 г.)
Fig. 3. Distribution of C_{org} (%) – *a* and $CaCO_3$ (%) – *b* in the surface layer (0–5 cm) of the Balaklava Bay bottom sediments (2015)

При анализе колонок грунта в нижних сегментах проб обнаружены рыхлые тонкозернистые осадки черного и темно-серого цвета с включением ракушечного детрита и отдельных раковин. Помимо моллюсков и детрита для донных отложений в слоях глубже 5–6 см характерно постоянное присутствие продуктов техногенной деятельности (обрывки пластмассовой пленки, оплавленные частицы металла, древесная стружка и пр.). Осадки в сегменте глубже 5–7 см имеют явно выраженный запах нефтепродуктов, а иногда также радужный «нефтяной» отблеск.

При исследовании гранулометрического состава донных отложений установлено заметное изменение их фракционных соотношений за последние 10 лет. В большей степени это касается песчаного и гравийного материала, его количественных характеристик и особенностей пространственного распределения. Содержание илистого материала в отложениях Балаклавской бухты в среднем по всем пробам увеличилось с 58 до 66%, мелкодисперсный материал по-прежнему сосредоточен в западной и северо-западной частях

северного бассейна (рис. 2). В то же время следует отметить увеличение доли обогащенных органическим веществом илистых осадков в северо-западной части южного бассейна (рис. 2; 3, *a*), что можно рассматривать как результат загрязнения коммунальными стоками.

Отдельный вопрос техногенного воздействия на донные отложения бухты – влияние производственной деятельности Балаклавского рудоуправления, ведущего добычу мраморовидного известняка открытым способом. В черте Балаклавы расположена дробильно-обогащительная фабрика проектной мощностью 4,5 млн. т/год, а на территории, примыкающей к кутовой части Балаклавской бухты, – погрузочный терминал. Эти объекты являются основными источниками мелкодисперсной пыли. По оценке, полученной в работе [17], выброс загрязняющих веществ (пыль) в атмосферу составляет около 1400 т/год. При ветровой и водной склоновой эрозии рыхлая известняковая порода поступает в акваторию бухты. В толще донных отложений это проявляется в виде светлых прослоек в сегменте 12–14 см (ст. 4* и 7* на рис. 1), а также при исследовании речного аллювия в нижнем течении р. Балаклавка.

Результаты исследования $C_{\text{орг}}$ и карбонатности в донных отложениях Балаклавской бухты показали, что уровень накопления $C_{\text{орг}}$ в ней заметно ниже, чем в других акваториях Гераклеяского п-ова, но выше, чем в открытых акваториях Южного берега Крыма (ЮБК) (таблица). Следует также отметить, что среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в Балаклавской бухте за последние 10 лет заметно снизилось и в 2015 г. составило 1,40%, что обусловлено изменением антропогенной нагрузки. На процессы накопления ОВ также оказывают влияние гидродинамика вод (апвеллинг) и гидрохимический режим (отсутствие устойчивых явлений гипоксии в придонных водах) [7], что обеспечивает возможность окислительной деструкции вновь образованного ОВ в отличие от Севастопольской бухты, где явления гипоксии и аноксии проявляются регулярно.

В то же время влияние сброса неочищенных коммунальных стоков на содержание $C_{\text{орг}}$ при их переносе в южный бассейн бухты стало более существенным, > 2%. Такой же уровень сохраняется и в иловых осадках глубоководной части северного бассейна, > 2,5% (рис. 3, *a*). Это свидетельствует о том, что локальные очаги накопления существуют как следствие антропогенного воздействия.

Пространственное распределение $C_{\text{орг}}$ в поверхностном слое донных отложений характеризуется значительной неоднородностью (рис. 3, *a*), определяемой такими факторами, как морфометрия бухты, особенности гидродинамического режима и гранулометрического состава, величина первичной продукции, локализация источников загрязнения и уровень антропогенной нагрузки. Так, в мористой части северного бассейна максимальные концентрации $C_{\text{орг}}$ ($\geq 2\%$) расположены в области распространения алеврито-пелитовых илов, что определяется свойством органического вещества к накоплению в тонкодисперсных осадках (рис. 3). Здесь же отмечается повышенная первичная продукция [18].

Органическое вещество ($C_{\text{орг}}$) и карбонатность (CaCO_3) в донных

отложениях прибрежных акваторий Крыма (слой 0–5 см)
Organic matter C_{org} and $(CaCO_3)$ content in the bottom sediments
of the Crimea coastal areas (0–5 cm layer)

Акватория/ Water area	Кол-во стан-ций/ Quantity of stations	C_{org} , %/ C_{org} , %		$CaCO_3$, %		Источ-ник/ Source
		Сред-нее/ Mean	Диапазон/ Range	Сред-нее/ Mean	Диапазон/ Range	
Балаклавская бухта, 2005 г./ Balaklava Bay, 2005	15	2,40	0,66–4,83	40,1	18,8–82,9	[11]
То же, 2015 г./The same, 2015	16	1,40	0,15–2,80	42,2	18,4–99,1	Данная работа/ Present paper
Севастопольская бухта, 2003–2005 гг./ Sevastopol Bay, 2003–2005	62	4,40	0,97–11,6	34,5	18,9–68,6	[4–6]
в т. ч. Южная бухта/ including Southern Bay	16	5,40	2,71–7,22	27,6	18,7–38,9	
Севастопольская бухта, 2015–2017 гг./ Sevastopol Bay, 2015–2017	35	3,36	0,5–7,24	34,0	22,5–87,3	Данная работа/ Present paper
в т. ч. Южная бухта/ including Southern Bay	11	5,03	3,3–7,45	32,7	27,5–42,0	Данная работа/ Present paper
Стрелецкая бухта, 1982–1985 гг./ Streletskaaya Bay, 1982–1985	8	3,02	0,27–5,42	Нет свед./ No data	Нет свед./ No data	[19]
То же, 2015 г./The same, 2015	5	4,29	3,00–6,36	57,8	51,4–61,6	Данная работа/ Present paper
Казачья бухта, 2002 г./Kazachia Bay, 2002	12	1,80	0,11–4,55	78,0	44,1–99,9	[20]
То же, 2015 г./The same, 2015	6	2,74	0,39–6,08	54,2	38,0–98,5	Данная работа/ Present paper
Лименский залив (ЮБК), 2012 г./ Limenskiy Gulf (SCC), 2012	12	0,51	0,23–1,08	38,8	20,1–47,7	[21]

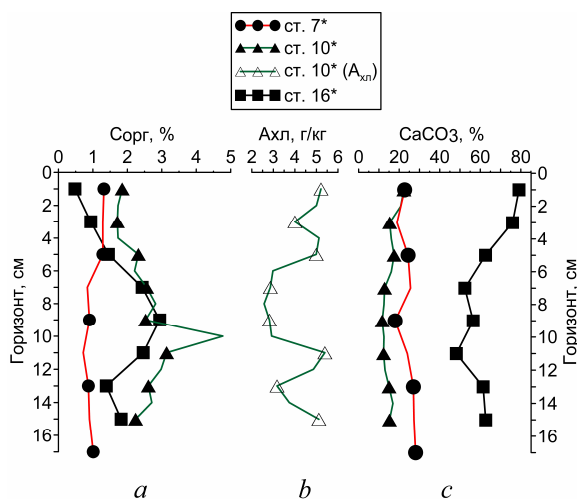
Минимальные значения $C_{\text{орг}} (\leq 1,5\%)$, наблюдаемые в кутовой части, являются результатом «разбавления» донных отложений при поступлении рыхлых известняковых пород в процессе их добычи. Раздельный анализ темных и светлых прослоек показал различия в концентрациях $C_{\text{орг}}$ и CaCO_3 : в известняковой породе светлых прослоек содержание $C_{\text{орг}}$ на 1–2 порядка ниже, а карбонатность в два раза выше, чем в донных отложениях бухты. Такое же обогащение карбонатом характерно и для речного аллювия устья р. Балаклавка (Таврическая набережная) по сравнению с осадками, взятыми выше по течению реки.

Интенсивное накопление биогенных карбонатов характерно для южного бассейна в части, сопредельной с открытым морем, где обнаруживаются осадки, сформированные ракушечным материалом. Массовая доля CaCO_3 здесь достигает 99% (рис. 3, *b*).

В морских донных отложениях общий характер вертикального распределения ОВ определяется процессами его накопления и деструкции и выражается последовательным уменьшением содержания $C_{\text{орг}}$ от верхних горизонтов к нижним [22]. Но такой «классический» характер вертикального распределения не всегда наблюдается в бухтах вследствие влияния определенных естественных факторов и антропогенного воздействия.

Для оценки особенностей вертикального распределения ОВ выполнен анализ трех колонок донных отложений из кутовой части (ст. 7*), центральной части северного бассейна (ст. 10*) и из южного бассейна (ст. 16*) (рис. 1, 4). Вертикальное распределение $C_{\text{орг}}$ на всех исследованных станциях сходно (рис. 4, *a*). Его общая направленность в слое донных отложений 15–17 см (рис. 4, *a*) подобна «классическому» распределению – понижение концентрации от верхних слоев к нижним, что особенно четко проявляется на глубоководных станциях 10* и 16*. Однако в сегменте 5–13 см отмечается заметный рост концентраций $C_{\text{орг}}$ с промежуточными флуктуациями и максимумом в слое 10–11 см. Очевидно, что это явление техногенного характера – длительное и интенсивное загрязнение донных отложений нефтепродуктами. На это указывают как отмеченные выше визуальные признаки (явно выраженный специфический запах и характер осадков), так и максимальные концентрации хлороформного битумоида ($A_{\text{хл}}$). При этом распределение карбонатности антибатно: при максимальных значениях $C_{\text{орг}}$ карбонатность осадков снижается, что закономерно при углеводородном загрязнении. Поэтому считать такой рост концентраций $C_{\text{орг}}$ только лишь следствием увеличения продуктивности вряд ли возможно, хотя данная область бухты отличается повышенным уровнем первичной продукции [18].

Исходя из скорости осадконакопления в Балаклавской бухте ($5,3 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$) [23], на качественном уровне можно оценить временной период роста концентраций $C_{\text{орг}}$ в толще осадков для сегмента 5–16 см за период 1950–1990 гг. Так как это был период активного техногенного загрязнения, а также исходя из описанного выше состояния донных отложений в этом сегменте, можно утверждать, что накопление $C_{\text{орг}}$ в данный период обусловлено прежде всего нефтяными загрязнениями, что подтверждается особенностями распределения битумоидов (рис. 4, *b*).



Р и с. 4. Вертикальное распределение органического углерода – *a*, хлороформного битумоида – *b* и неорганического углерода (карбонатность) – *c* в Балаклавской бухте (2015 г.)

F i g. 4. Vertical distribution of the organic carbon – *a*, the chloroform bitumoid – *b* and the inorganic carbon (content) – *c* (Balaklava Bay, 2015)

Несмотря на снижение в последнее 10-летие общего уровня обогащения $S_{\text{орг}}$ донных отложений бухты, локальные накопления ОВ могут оказывать существенное влияние на донные биологические сообщества.

Исходя из оценок порогового уровня, достижение которого оказывает негативное воздействие на состояние макрофауны, вызывая структурные изменения [2, 3], можно сделать вывод, что наблюдаемый уровень накопления ОВ ($S_{\text{орг}} > 2,5\%$) привел к изменению структуры бентосного сообщества в бухте. Доминирующими являются виды макрозообентоса, устойчивые к воздействию загрязняющих веществ. При этом низкая численность и биомасса отмечаются в наиболее загрязненных частях бухты – в устьевом участке южного бассейна и в центральном участке северного бассейна [24].

Заклучение

По результатам сравнительного анализа данных о содержании $S_{\text{орг}}$ в современных донных отложениях Балаклавской бухты за период 2005–2015 гг. установлена тенденция к снижению содержания органического вещества. Причиной служат как изменение уровня и характера антропогенной нагрузки, так и особенности гидрофизических процессов, формирующих облик морской среды Балаклавской бухты. В отличие от Севастопольской бухты, где явления гипоксии и аноксии проявляются регулярно, случаев обнаружения низких концентраций кислорода ($< 2 \text{ мл} \cdot \text{дм}^{-3}$) в бухте не отмечалось, что является следствием отсутствия значительного накопления и захоронения органического вещества в донных отложениях. Не исключается и влияние гидродинамического режима и апвеллинга, способствующих вентиляции придонных вод и поддержанию уровня концентраций кислорода в придонной зоне выше критического, что обеспечивает окислительную деструкцию вновь образованного органического вещества.

Однако поступление в бухту неочищенных коммунальных, ливневых и промышленных сточных вод приводит к формированию в донных отложениях повышенных концентраций ОБ и к негативному воздействию на состояние макрофауны, вызывая структурные перестройки в сообществе бентоса. Поэтому без реализации системных природоохранных мероприятий по устранению основных источников загрязнения Балаклавской бухты опасность эвтрофикации и накопления органического вещества сохраняется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заика В. Е., Коновалов С. К., Сергеева Н. Г.* Локальные и сезонные явления гипоксии на дне севастопольских бухт и их влияние на макробентос // *Морской экологический журнал*. 2011. Т. X, № 3. С. 15–25.
2. *Петров А. Н.* Реакция прибрежных макробентосных сообществ Черного моря на органическое обогащение донных отложений // *Экология моря*. 2000. Вып. 51. С. 45–51.
3. Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos / J. Hyl-and [et al.] // *Marine Ecology Progress Series*. 2005. Vol. 295. P. 91–103. doi:10.3354/meps295091
4. Organic carbon and oil hydrocarbons in bottom sediments of Sevastopol bay (the Black Sea) / T. S. Osadchaya [et al.] // *Морський екологічний журнал*. 2003. Т. II, № 2. P. 94–101.
5. Карбонатная система вод и содержание органического углерода в донных осадках Севастопольской бухты (Черное море) по данным наблюдений с 1998 по 2005 годы / О. Г. Игнатъева [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2008. № 2. С. 57–67.
6. *Моисеенко О. Г., Орехова Н. А.* Исследование механизма многолетней эволюции цикла углерода в экосистеме Севастопольской бухты // *Морской гидрофизический журнал*. 2011. № 2. С. 72–83.
7. *Ломакин П. Д., Попов М. А.* Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 184 с.
8. *Ломакин П. Д., Попов М. А.* Оценка степени загрязнения и перспектива экологических исследований вод Балаклавской бухты // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 28. С. 195–213.
9. *Вериго А. А.* Исследование целебной грязи из мелководья Балаклавской бухты // *Отчеты о деятельности Одесского бальнеологического общества с 1883 по 1887 г.* Одесса, 1888. Вып. 3. С. 22–26.
10. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В.* Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // *Экология моря*. 1999. Вып. 49. С. 16–21.
11. *Овсяный Е. И., Котельянец Е. А., Орехова Н. А.* Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) // *Морской гидрофизический журнал*. 2009. № 4. С. 67–80.
12. Concentration and distribution of hydrophobic organic contaminants and metals in the estuaries of Ukraine / R. M. Burgess [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. 2009. Vol. 58, iss. 8. P. 1103–1115. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.013>
13. Гражданское развитие Балаклавской бухты города Севастополя как международного центра туризма: [электронный ресурс]. URL: <https://sevastopol.gov.ru/government/priorities/43405/> (дата обращения: 29.05.2018).
14. *Стокосов Н. А.* Морфометрические характеристики Севастопольской и Балаклавской бухт // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. № 23. С. 198–208.

15. *Корчмит Ю. В., Леонов А. А.* Загрязнение природной среды города Севастополя. Ч. 1. Севастополь, 2009. 172 с.
16. UNEP/IOC/IAEA. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter // UNEP. 1995. No. 63. 74 p.
17. *Корчмит Ю. В., Корчмит А. Ю.* Охрана природной среды. Механизмы государственного регулирования. Киев : Центр учебной литературы, 2014. 416 с.
18. Продукционные характеристики биотического компонента природной взвеси в системе экологического мониторинга акватории Балаклавской бухты в 2012 г. / В. Н. Поповичев [и др.] // Материалы научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых ЧФ МГУ «Ломоносовские чтения-2013». Севастополь : Экспресс-печать, 2013. С. 45–46.
19. *Мионов О. Г., Кириухина Л. Н., Дивавин И. А.* Санитарно-биологические исследования в Черном море. Спб. : Гидрометеиздат, 1992. 115 с.
20. Физико-химические характеристики донных отложений бухты Казачьей (Черное море), как показатели ее экологического состояния. / О. Г. Игнатьева [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». Симферополь : Изд-во ТНУ, 2005. Т. 18, № 2. С. 43–49.
21. *Овсяный Е. И., Гуров К. И.* Исследование органического углерода и карбонатности в донных осадках шельфа южного побережья Крыма // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 1. С. 62–72.
22. *Бордовский О. К.* Накопление и преобразование органического вещества в морских осадках. М. : Недра, 1964. 128 с.
23. Потоки миграции и депонирования послеаварийных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в различных районах Черного моря (элементы биогеохимических циклов) / Н. Ю. Мирзоева [и др.] // Наукові праці. Техногенна безпека. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. Т. 210, вип. 198. С. 45–51.
24. *Алёмов С. В.* Многолетние изменения макрозообентоса Балаклавской бухты // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: біологія. 2010. № S3(44). С. 6–9.

Об авторах:

Орехова Наталья Александровна, зав. отделом биогеохимии моря, ФГБУН МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **SPIN-код: 9050-4772, ORCID ID: 0000-0002-1387-970X, ResearcherID: I-1755-2017**, natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Овсяный Евгений Иванович, научный сотрудник, отдел биогеохимии моря, ФГБУН МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0002-6093-5102**, EugeneOvsyany@yandex.ru

Гуров Константин Игоревич, старший инженер-исследователь, отдел биогеохимии моря, ФГБУН МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650, ResearcherID: L-7895-2017**, gurovki@gmail.com

Попов Марк Александрович, научный сотрудник, отдел аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ИМБИ (299011, Россия, г. Севастополь, проспект Нахимова, д. 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0003-0220-1298**, markp@bigmir.net