

Е.А.Тихонова¹, Е.А.Котельянец², К.И.Гуров²

¹Институт биологии южных морей им.А.О.Ковалевского РАН, г.Севастополь

²Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Проведена оценка динамики загрязнения органическими веществами и тяжелыми металлами донных отложений портовой акватории на примере б.Балаклавской. Выполнен анализ гранулометрического состава донных осадков. Исследованные группы веществ распределены по акватории неравномерно: повышенное содержание как хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ), так и нефтяных углеводородов (НУ) отмечено в вершине и центральной части бухты у ее западного берега, пониженные – на выходе из неё. Повышенные концентрации тяжелых металлов (ТМ), также как и концентрации ХЭВ и НУ, в основном зафиксированы в вершине (по данным 2018 г.) и в центральной части вдоль западного берега акватории (данные 2005 и 2018 гг.). Максимальная концентрация цинка в донных осадках в 2018 г. в два с половиной раза выше показателей 2005 г. Данные концентрации значительно превышают его среднее содержание в мелководных осадках Чёрного моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *загрязнение, донные отложения, гранулометрический состав, хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, тяжёлые металлы, Балаклавская бухта, Чёрное море*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-3-82-89

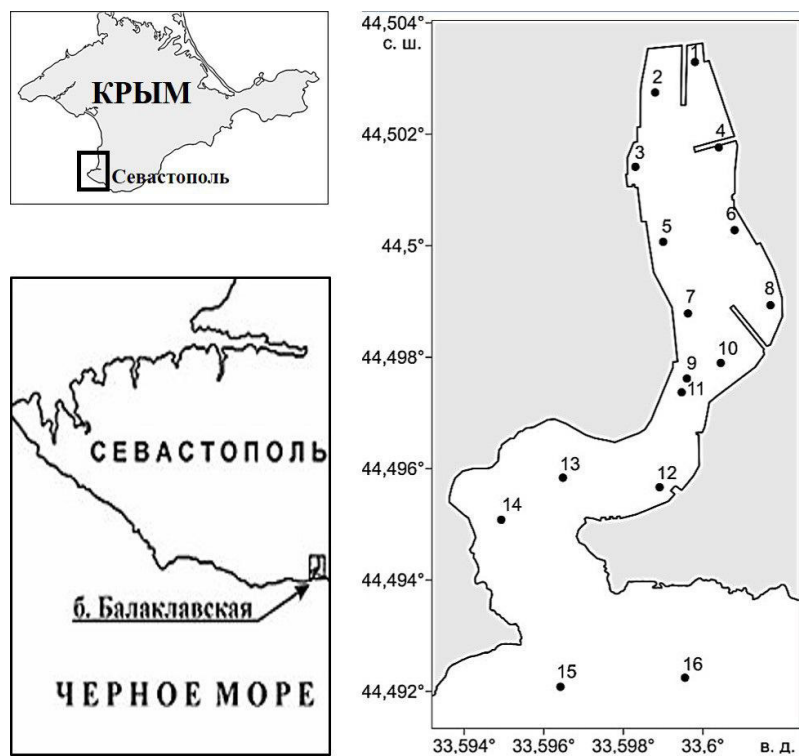
Особенностью Балаклавской бухты является её полузамкнутость и ограниченная связь с открытой частью Чёрного моря. Конфигурация береговой черты разделяет бухту на две части – южную глубоководную, сообщающуюся с открытой частью моря, и северную мелководную, практически застойную часть, более загрязнённую [1].

С одной стороны, бухта эксплуатируется маломерными судами, с другой, по ее берегам расположено большое количество объектов хозяйственной инфраструктуры. Эти объекты могут служить источниками загрязнения различной природы, как органическими (в том числе нефтяными), так и тяжёлыми металлами [2, 3]. С учётом эксплуатационной особенности бухты данные поллютанты систематически попадают в акваторию и, соответственно, со временем накапливаются в донных отложениях [4]. По этой причине, донные осадки являются наиболее информативным объектом для экологической оценки качества прибрежных акваторий.

Целью работы является оценка степени загрязнения органическими веществами и тяжёлыми металлами донных отложений б.Балаклавской, особенностей их пространственного распределения, с учётом естественных и антропогенных факторов, анализ происходящих изменений во времени (сравнение данных 2005 и 2018 гг.).

© Е.А.Тихонова, Е.А.Котельянец, К.И.Гуров, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.3. С.82-89.



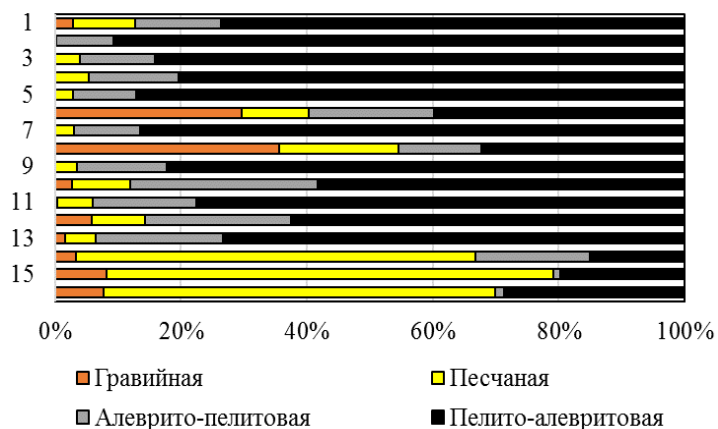
Р и с . 1 . Карта-схема отбора проб донных отложений в б.Балаклавской.

Материал и методика исследований. Пробы донных отложений отбирали в октябре 2018 г. на 16-ти станциях (рис.1) в б.Балаклавской из верхнего слоя (0 – 5 см). Пробы отбирались в кутовой и мелководной (глубина до 4 м) частях бухты (ст.1, 2), где до августа 2018 г. находились суда пограничной службы Севастополя. В центральной части (ст.5 – 8) глубина составляла до 9 м, в наиболее узкой части (ст.9 – 12) – до 22 м, в южной части (ст.13 – 14) и на выходе из бухты (ст.15 – 16) – до 20 м.

Отбор и подготовка проб донных осадков выполнялись в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 17.1.5.01-80; ISO 5667-12:1995; ISO 5667-19:2001). Гранулометрический состав определялся методом декантации и рассеивания с использованием стандартных сит согласно ГОСТ 12536-2014 (введен с 01.07.2015 г.) с рекомендациями [5].

В воздушно-сухих пробах донных осадков определяли количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) весовым методом, нефтяных углеводородов (НУ) – методом ИК-спектроскопии на спектрофотометре «ФСМ-1201» [6], тяжелых металлов (ТМ) – согласно [7].

Результаты и обсуждение. Как было показано ранее в работах [1, 4, 8], гранулометрический состав донных отложений Балаклавской бухты неоднороден. Анализ данных 2018 г. показал, что поверхностный слой представлен преимущественно тонкозернистыми илами с включениями песчаного материала и отдельных раковин (рис.2). В среднем доля мелкодисперсного материала составила 75,8 %, из которого 14,2 % приходится на алевритово-



Р и с . 2 . Гранулометрический состав поверхностного слоя донных отложений Балаклавской бухты, 2018 г.

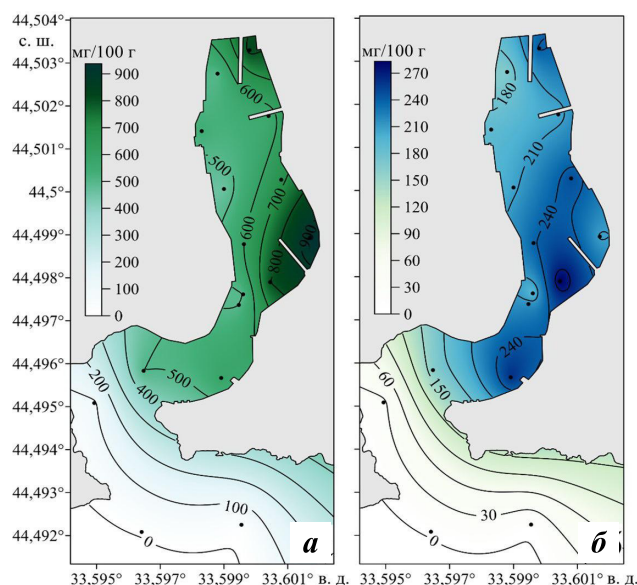
пелитовую фракцию и 61,7 % – на пелито-алевритовую. Отмечено, что повышенное содержание илистого материала (> 90 %) наблюдается в кутовой северной части бухты, также вдоль западного берега бухты и по фарватеру. Минимальные концентрации у восточного берега центральной части и на выходе из бухты объясняются расположением в этих местах городских пляжей и особенностями орографии берега.

Содержание песчаного материала изменяется от 0,2 % в кутовой северной части до 68,8 % на выходе из бухты, средняя величина составила 17 %.

Крупнодисперсный материал в поверхностном слое донных отложений кутовой части бухты представлен фрагментарно, в виде отдельных раковин и ракушечного детрита вблизи берега. Максимальная доля гравийной фракции (30 – 36 %) отмечается у восточного берега центральной части, в районе городского пляжа. В южном бассейне ее содержание изменяется от 1,6 до 8 % и определяется поступлением терригенного материала в результате абразионных процессов.

ХЭВ распределены в донных отложениях исследованной акватории неравномерно: от 8 до 940 мг/100 г (рис.3). Полученные в 2018 г. значения в среднем составляют: 660 мг/100 г – в кутовой части, 630 мг/100 г – в центральной, 576 мг/100 г – в узкой, 37 мг/100 г – в южной и на выходе из бухты. То есть наблюдается чёткая тенденция уменьшения средних показателей концентрации ХЭВ от вершины к выходу из бухты. Максимальные значения ХЭВ в осадках кутовой (ст.1) и в центральной (ст.8) частей акватории в 2018 г. составили 820 и 940 мг/100 г возд.-сух. д. о. соответственно.

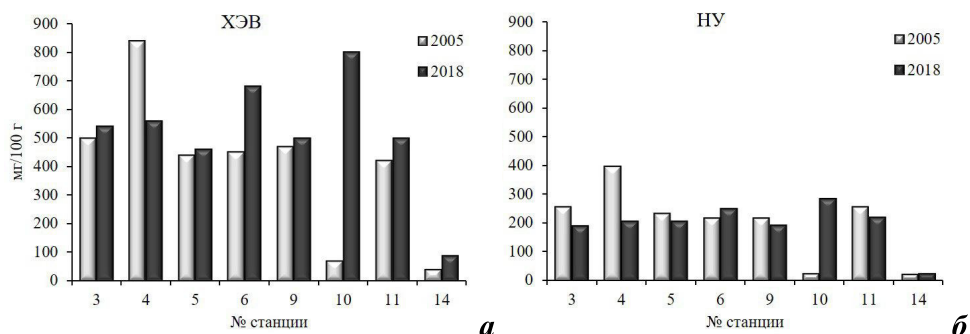
Полученные результаты по содержанию ХЭВ в донных отложениях Балаклавской бухты указывают на высокий IV-й уровень (из V-ти описанных в [9]) их загрязнения по всей акватории, за исключением участков на выходе из неё, где уровень соответствует I – II. Максимальные показатели отмечены в акватории вдоль западного побережья. Повышенное содержание органических веществ связано, возможно, с большей эксплуатацией этого берега, на котором расположены объекты хозяйственной инфраструктуры, включая муниципальные и ливневые стоки [1].



Р и с . 3 . Распределение хлороформ-экстрагируемых веществ (а) и нефтяных углеводородов (б) в донных отложениях Балаклавской бухты в 2018 г.

Интенсивность накопления органических веществ связана, в том числе, и с гранулометрическим составом донных отложений. Илистый материал сохранился в большом количестве в вершине и центральной части (вдоль западного берега), где и были отмечены максимальные показатели ХЭВ. Прямая корреляционная зависимость выявлена между содержанием ХЭВ и долей илистой фракции ($r = 0,6$); обратная – для песчаной ($r = - 0,8$). Для гравийной фракции такого рода зависимость не отмечена ($r = 0,3$). Таким образом, в исследованных донных отложениях с ростом доли илистой фракции и уменьшением песчаной повышается концентрация ХЭВ.

Если сравнивать полученные величины по концентрации ХЭВ с данными предыдущих лет, то средние показатели по акватории в 2018 г. больше аналогичных в 2005 г., но уровень загрязнения соответствует IV-ому во все



Р и с . 4 . Концентрация хлороформ-экстрагируемых веществ (а) и нефтяных углеводородов (б) (мг/100 г возд.-сух. в-ва) в донных отложениях Балаклавской бухты в 2005 и 2018 гг.

периоды исследования (рис.4, а). Полученные результаты свидетельствуют о том, что поступление органических веществ в донные отложения увеличилось не только за счёт природных факторов, но и антропогенного воздействия. Максимальные величины, как и ранее, отмечены в вершине и центральной частях акватории, минимальные – на её выходе. Однако отмечены участки, на которых концентрация ХЭВ увеличилась в несколько раз (ст.10, рис.4, а). Данный факт может быть связан как с пятнистостью распределения поллютантов, так и с увеличением объёмов ливневых стоков и несанкционированным сбросом балластных вод.

Концентрации НУ колебалась от следовых количеств до 284 мг/100 г возд.-сух. в-ва. Максимальные концентрации как ХЭВ, так НУ приурочены к центральной части западного берега (ст.8 и 10 соответственно, рис.3). На восточном берегу отмечается чёткая тенденция увеличения концентрации НУ от кутовой части (ст.2, 165 мг/100 г) к узкой части (ст.7, 238 мг/100 г), достигая максимальных величин на самом узком участке. Данный факт может быть связан с эксплуатационными особенностями бухты и её гидродинамическим режимом. Между содержанием ХЭВ и НУ отмечена прямая корреляционная зависимость ($r = 0,98$). Концентрация НУ, так же как и ХЭВ зависит от гранулометрического состава донных отложений, но связь более тесная. Для илистой фракции коэффициент корреляции составил 0,75, для песчаной – 0,87, для гравийной связь отсутствует. Процентное содержание НУ от ХЭВ в 2018 г. составило от 22 до 45 %.

При сравнении данных, полученных в настоящей работе, с предыдущими годами исследований (рис.4, б) отмечено, что в среднем содержание НУ в донных отложениях б.Балаклавской не изменилось (202 мг/100 г в 2005 г. и 196 мг/100 г в 2018 г.). Доля НУ от ХЭВ уменьшилась. В 2005 г. она составляла от 26 до 61 %.

В целом можно сказать, что донные отложения Балаклавской бухты содержат значительное количество органических веществ, величины которых соответствуют акваториям Стрелецкой и некоторым участкам Севастопольской бухты [10]. Концентрации как ХЭВ, так и НУ остаются в тех же пределах, что свидетельствует о продолжающейся активной эксплуатации акватории.

В табл.1 приведены значения минимальных и максимальных концентраций металлов по данным 2005 и 2018 гг. Пространственное распределение исследуемых элементов весьма неоднородно по площади бухты. Повышенные концентрации в основном определялись в кутовой части (по данным

Т а б л и ц а 1. Валовое содержание металлов (массовая доля, мг/кг в донных отложениях Балаклавской бухты).

элемент, мг/кг	2005 г.		2018 г.		содержание в донных отложениях Черного моря [11]
	min	max	min	max	
Pb	28,4	504	25	560	85 [12]
Cu	25	185,8	20	483	31
Zn	94,4	359	38	869	48
Cr	41,8	86,5	37	123	31

2018 г.) и в центральной части акватории бухты (данные 2005 и 2018 гг.), которые приурочены к местам предполагаемого антропогенного загрязнения.

В 2005 г. авторам не представлялось возможным исследовать кутовую часть Балаклавской бухты. В 2018 г. данные исследования были проведены и полученные концентрации ТМ в донных отложениях были максимальными. Отмеченное в настоящее время содержание цинка в донных осадках бухты (табл.1) больше в два с половиной раза по сравнению с 2005 г. и значительно превышает среднее содержание его в мелководных осадках Чёрного моря [12].

Заключение. Исследованные группы веществ распределены по бухте неравномерно: повышенные концентрации как ХЭВ, так и НУ отмечены в вершине и центральной части акватории вдоль западного побережья, пониженные – на выходе из неё. Несмотря на некоторое увеличение содержания ХЭВ в донных отложениях, как в среднем, так и на некоторых участках бухты, максимальный уровень загрязнения б.Балаклавской остался высоким (IV-м из V-ти описанных [9]), за исключением южной части (II уровень) и её выхода (I уровень).

Повышенные концентрации ТМ, так же как и концентрации ХЭВ и НУ, в основном отмечались в кутовой (по данным 2018 г.) и центральной части исследуемой акватории (данные 2005 и 2018 гг.). Максимальное содержание цинка в 2018 г. в два с половиной раза больше чем в 2005 г. и значительно превышает его среднее содержание в мелководных осадках Чёрного моря.

Работа выполнена в рамках государственных заданий: ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ АААА-А18-118020890090-2), ФГБУН ФИЦ МГИ «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование прибрежных зон Черного и Азовского морей» (№ 0827-2019-0004), при поддержке проекта РФФИ № 18-45-920007 «Геохимия загрязняющих веществ донных отложений Балаклавской бухты (Черное море)».

Благодарности. Авторы выражают благодарность за предоставленные архивные данные (2005 г.) отдела морской санитарной гидробиологии ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им.А.О.Ковалевского РАН» ведущему научному сотруднику, к.б.н. Алёмову С.В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gurov K.I., Ovsyany E.I., Kotelyanets E.A., Konovalov S.K.* Factors of formation and features of physical and chemical characteristics of bottom sediments in the Balaklava Bay (the Black Sea) // *Physical oceanography.*– 2015.– № 4.– P.46-52.
2. *Gurov K., Kotelyanets E.* Estimation of the trace metals accumulation in bottom sediments and their connection with the granulometric composition // 18 Intern. Multidisc. Scient. GeoConf. SGEM 2018. 30 June – 9 July, 2018.– Marine and Ocean Ecosystems. [Электронный ресурс].– URL: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article12054> (дата обращения 07.08.2019).
3. *Мионов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алёмов С.В.* Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // *Экология моря.*– 1999.– вып.49.– С.16-21.

4. *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.
5. *Петелин В.П.* Гранулометрический анализ морских донных осадков.– М.: Наука, 1967.– 128 с.
6. *Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С.Г.Орадовского.*– Л.: Гидрометеиздат, 1977.– С.118-131.
7. *Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа, регламентированная в документе М049-П/02.*– СПб.: ООО «Спектрон», 2002.– 16 с.
8. *Orekhova N.A., Ovsyany E.I., Gurov K.I., Popov M.A.* Organic matter and grain-size distribution of the modern bottom sediments in the Balaklava Bay (the Black Sea) // *Physical oceanography.*– 2018.– v.25, iss.6.– P.479-488.
9. *Миронов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н.* О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Чёрного моря // Гидробиологический журнал.– 1986.– т.22, № 6.– С.76-78.
10. *Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Под ред. О.Г.Миронова, С.В.Алёмова.*– Симферополь: ИТ "АРИАЛ", 2018.– 276 с.
11. *Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И.* Геохимия Чёрного моря.– Киев: Наукова думка, 1982.– 144 с.
12. *Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Наседкин Е.И. и др.* Геоэкология Черноморского шельфа Украины.– Киев: Академперіодика, 2004.– 141 с.

Материал поступил в редакцию 31.07.2019 г.
После доработки 15.08.2019 г.

E.A.Tikhonova, E.A.Kotelyanets, K.I.Gurov

CONTENT OF ORGANIC COMPOUNDS AND TRACE METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE BALAKLAVA BAY (THE BLACK SEA)

The dynamics of pollution by organic compounds and trace metals (TM) of bottom sediments of the port water area was estimated using the Balaklava Bay as an example. The particle size distribution in bottom sediments was analysed. The investigated groups of substances are distributed along the bay unevenly: the increased content of both chloroform-extractable substances (CES) and petroleum hydrocarbons (PH) is noted at the apex and the central part of water area near west coast, lowered ones – at the outlet. High concentrations of TM, as well as the concentrations of CES and PH are mainly observed in the apex part (according to data of 2018) and in the central part of western coast (data of 2005 and 2018). It is shown, that maximum concentration of Zn in bottom sediments in 2018 is two and a half times higher than in 2005. It is noted, that the obtained values significantly exceed the average content of this element in bottom sediments of the Black Sea coastal regions.

KEYWORDS: pollution, bottom sediments, particle size distribution, chloroform-extractable substances, petroleum hydrocarbons, trace metals, the Balaklava Bay, the Black Sea