

Загрязняющие вещества в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море)

Е. А. Котельянец^{1,*}, К. И. Гуров¹, Е. А. Тихонова²,
С. И. Кондратьев¹

¹ *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

² *Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия*

*E-mail: plistus@mail.ru

Поступила в редакцию 22.01.2019 г., после доработки – 29.05.2019 г.

Цель. Исследован уровень загрязнения и характер пространственного распределения микроэлементов и тяжелых металлов, хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов, дана оценка особенностям их накопления в поверхностном слое донных отложений Балаклавской бухты в зависимости от природных и антропогенных источников их поступления.

Методы и результаты. Пробы донных отложений отбирались в Балаклавской бухте из верхнего слоя (0–5 см) дночерпателем Петерсона в феврале 2015 г. Местоположение станций для отбора проб выбиралось, исходя из особенностей морфометрии бухты, гидролого-гидрохимической структуры вод, источников загрязнения и характера процессов седиментации. Отбор, подготовка и анализ проб выполнялись стандартными методами в соответствии с нормативными документами. Выявлены изменения в соотношении илстых фракций и в вещественном составе гравийного материала. Рассчитана корреляционная зависимость между содержанием хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов. Получены особенности пространственного распределения содержания металлов в зависимости от природных геохимических процессов в донных отложениях. Выделены районы с наиболее интенсивной антропогенной нагрузкой на исследуемую акваторию.

Выводы. Отмечено, что содержание илистого материала в отложениях Балаклавской бухты во всех образцах в среднем увеличилось с 58,2 до 65,9 %, его максимальные значения наблюдаются в западной и северо-западной частях исследуемой акватории. За последние десять лет увеличилась доля пелито-алевритового материала, при этом участки его накопления расположены в местах активной антропогенной деятельности. Концентрация хлороформ-экстрагируемых веществ в донных отложениях Балаклавской бухты колебалась в широких пределах. За исследуемый период их содержание в среднем снизилось, тогда как концентрация нефтяных углеводородов осталась неизменной. Установлено, что загрязнение металлами донных отложений бухты носит полиэлементный характер и определяется в первую очередь такими металлами, как Pb, Cr, Zn, Cu, Sr. Увеличение концентраций микроэлементов отмечается в кутовой северо-восточной и центральной частях акватории, а в кутовой северо-западной и восточной ее частях – значительное уменьшение концентраций исследуемых металлов.

Ключевые слова: Черное море, Балаклавская бухта, донные отложения, гранулометрический состав, тяжелые металлы, хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды.

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

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

Для цитирования: Загрязняющие вещества в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) / Е. А. Котельянец [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 5. С. 469–480. doi:10.22449/0233-7584-2019-5-469-480

Pollutants in Bottom Sediments in the Balaklava Bay (the Black Sea)

E. A. Kotelyanets^{1,*}, K. I. Gurov¹, E. A. Tikhonova², S. I. Kondratev¹

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

²A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences,
Sevastopol, Russia

*e-mail: plistus@mail.ru

Purpose. The purpose of the paper consists in studying the pollution level, and the character of spatial distribution of microelements and trace metals, the chlorophorm-extractable substances and petroleum hydrocarbons and in evaluating the features of their accumulation in the upper layer of bottom sediments in the Balaklava Bay depending on the natural and anthropogenic sources of pollutants.

Methods and Results. The samples were taken from the bottom sediments upper layer (0–5 cm) in the Balaklava Bay by the Peterson grabber in February, 2015. Location of the sampling stations was chosen proceeding from the features of the bay morphometry, hydrological and hydrochemical water structure, pollution sources and the character of the sedimentation processes. The samples were selected, preprocessed and analyzed by the standard methods according to the regulatory documents. Some changes in relation between the clay fractions and the gravel material composition were revealed. The correlation dependence between the contents of chlorophorm-extractable substances and petroleum hydrocarbons was calculated. The features of spatial distribution of the metals' content depending on the natural geochemical processes in the bottom sediments are revealed. The regions subjected to the most intensive anthropogenic load within the region under study are distinguished.

Conclusions. The content of clay material in all the samples taken in the Balaklava Bay on the average increased from 58.2 to 65.9 % and its maximum values are still concentrated in the western and northwestern parts of the water area under study. During last ten years, growth of the portion of a fine-grained material in the bottom fractions has been noted; at that the places where it accumulates are located in the areas of intense anthropogenic activity. The chlorophorm-extractable substances concentration in the Balaklava Bay bottom sediments varied within a wide range. On the whole, in course of the investigated period their content decreased, whereas the petroleum hydrocarbons concentration remained unchanged. It is found that pollution of the bottom sediments by metals is of a polyelemental nature and is characterized primarily by such metals as Pb, Cr, Zn, Cu and Sr. The increased microelements concentrations are observed in the northeastern and central parts of the water area, whereas the decreased metal concentrations – in its northwestern and eastern parts.

Keywords: Black Sea, Balaklava Bay, bottom sediments, granulometric composition, trace metals, chlorophorm-extractable substances, petroleum hydrocarbons.

Acknowledgements: the investigation was carried out within the framework of state task on the theme No. 0827-2019-0004 “Complex interdisciplinary investigations of the oceanologic processes conditioning functioning and evolution of the Black and Azov seas' ecosystems of the coastal zones” and State assignment of the IMBR RAS on theme “Molismological and biogeochemical foundations of the marine ecosystems homeostasis” No. AAAA-A18-118020890090-2 with support of the RFBR project No. 18-45-920007 “Geochemistry of bottom sediments pollutants of the Balaklava Bay (the Black Sea)”.

For citation: Kotelyanets, E.A., Gurov, K.I., Tikhonova, E.A. and Kondratev, S.I., 2019. Pollutants in Bottom Sediments in the Balaklava Bay (the Black Sea). *Physical Oceanography*, [e-journal] 26(5), pp. 414-424. doi:10.22449/1573-160X-2019-5-414-424

Введение

В настоящее время все больше внимания уделяется проблеме загрязнения прибрежных акваторий такими поллютантами, как тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты. Наиболее подвержены загрязнению акватории прибрежной полосы, которые интенсивно эксплуатируются в качестве стоянок судов или на берегах которых находятся промышленные предприятия. Важным источником загрязнения акватории является речной и ливневый сток. Поступившие в морскую воду загрязняющие вещества попадают на дно и откладываются в донных отложениях. Таким образом, донные отложения являются важным звеном в цепи экологического равновесия и служат индикаторами интенсивности техногенных воздействий.

Загрязняющие вещества распределяются в водных объектах неравномерно, образуя области повышенного загрязнения в эвфотическом слое, фронтальных зонах и поверхностном слое донных осадков [1, 2]. Устойчивым загрязнением характеризуются акватории бухт и эстуариев, в которых сходятся разнородные водные массы [2, 3]. Содержание и распределение загрязняющих веществ в донных осадках зависят от места расположения источников загрязнения, а также от океанографических характеристик акватории.

Балаклавская бухта представляет собой акваторию с ограниченным водообменом, активно эксплуатируемую человеком. За длительный период интенсивной техногенной нагрузки в ее донных отложениях накопилось значительное количество загрязняющих веществ. Исходя из морфометрии дна и конфигурации берегов, Балаклавская бухта разделяется на мелководную часть в вершине, центральную часть, южное глубоководное расширение и коленообразную уозсть, соединяющую две последние части [4].

В ходе исследований, проведенных в 2005 г. [5], был оценен уровень загрязнения донных отложений некоторыми микроэлементами и нефтяными углеводородами. Показано, что донные отложения в вершине бухты и в центральной ее части представлены типично техногенными илами, отличающимися от природных осадков геохимическими и литодинамическими показателями. Максимальные концентрации тяжелых металлов и органических веществ-ксенобиотиков превышали фоновое содержание металлов на шельфе Крымского п-ова [1, 2]. В Балаклавской бухте суммарное содержание тяжелых металлов (Cd, Cu, Ni, Pb, Ag, Zn) в донных отложениях (521 мг/кг) было выше, чем в Севастопольской бухте (371 мг/кг) [6]. Для сравнения: в некоторых районах сопредельных прибрежных акваторий Мирового океана суммарное загрязнение тяжелыми металлами донных отложений составляет, например, 52–16400 мг/кг в портовых акваториях Средиземноморского региона [7], 2710 мг/кг в гавани Нью-Бедфорда (New Bedford Harbor), США [8] и 51,5–400 мг/кг в районе Турецкого побережья [9].

В работах по мониторингу Черного моря и его северо-западного шельфа [10–12] показано, что интенсивность накопления микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях зависит от их гранулометрического состава.

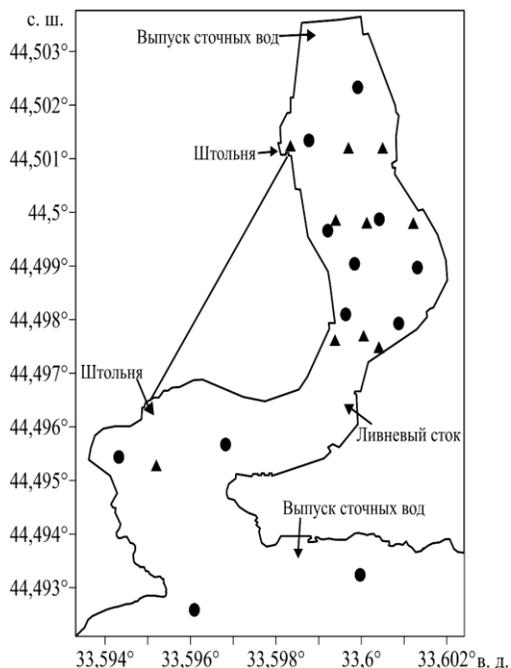
Цель настоящей работы – исследовать уровень загрязнения и характер пространственного распределения микроэлементов и тяжелых металлов, хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) и нефтяных углеводородов (НУ), оценить особенности их накопления в поверхностном слое донных отложе-

ний Балаклавской бухты в зависимости от природных (гранулометрический состав) и антропогенных источников поступления.

Полученные данные сравнивались с результатами наблюдений в 2005 г. [5]. Были рассчитаны коэффициенты корреляции между содержанием микроэлементов, тяжелых металлов и гранулометрическим составом.

Районы работ, материалы и методы исследования

Пробы донных отложений отбирались в Балаклавской бухте из верхнего слоя осадков (0–5 см) дночерпателем Петерсона в феврале 2015 г. Местоположение станций, на которых отбирались пробы, выбиралось, исходя из особенностей морфометрии бухты, гидролого-гидрохимической структуры вод, потенциальных источников загрязнения и характера процессов седиментации (рис. 1).



Р и с. 1. Схема станций отбора проб донных отложений для анализа валового содержания металлов и особенностей пространственного распределения фракций осадка (●); для определения хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) и нефтяных углеводородов (НУ) (▲)

F i g. 1. Scheme of the stations of bottom sediments sampling for analyzing the metals bulk content and the features of the sediment fractions spatial distribution (●); for determining chlorophorm-extractable substances (CES) and petroleum hydrocarbons (PH) (▲)

Валовое содержание металлов Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr и оксидов металлов TiO₂, MnO, Fe₂O₃ в донных отложениях определялось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с применением спектрометра «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» НПО «СПЕКТРОН» (Россия)¹.

¹ Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. М049-П/02. Свидетельство Госстандарта РФ № 2420/53-2002. СПб. : ООО «Спектрон», 2002. 16 с.

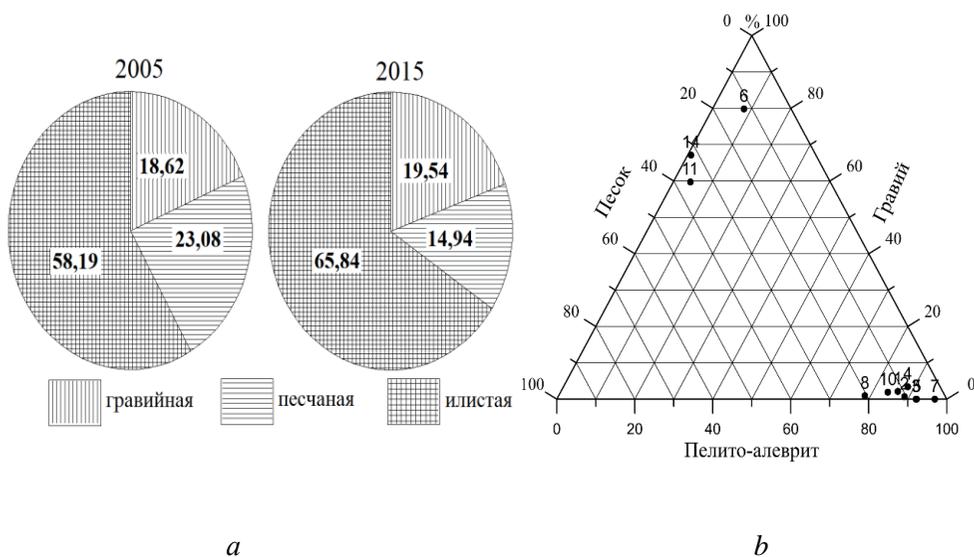
Отделение алеврито-пелитовой фракции ($\leq 0,05$ мм) выполнялось мокрым просеиванием с последующим определением сухой массы гравиметрически. Крупнозернистые фракции ($> 0,05$ мм) разделялись ситовым методом сухого просеивания² с использованием стандартных сит (ГОСТ 12536-2014).

Для определения хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) и нефтяных углеводородов (НУ) отбор проб донных отложений выполнялся в летний период 2005 г. (рис. 1) сотрудниками отдела морской санитарной гидробиологии ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН». В подготовленных соответствующим образом воздушно-сухих пробах определяли количество ХЭВ весовым методом и НУ методом ИК-спектроскопии³.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно работам [1, 5, 13, 14], донные осадки бухты представлены преимущественно мелкодисперсными илами и заиленными песками с включениями отдельных раковин и ракушечного детрита, вблизи берега отмечается увеличение доли крупнозернистого каменного гравия.

Исследования гранулометрического состава донных осадков, отобранных в 2015 г., показали, что вещественный состав и особенности пространственного распределения отдельных фракций по сравнению с данными 2005 г. претерпели некоторые изменения (рис. 2, b).



Р и с. 2. Особенности гранулометрического состава донных отложений Балаклавской бухты: круговые диаграммы за 2005 и 2015 гг. (a); трехкомпонентная диаграмма за 2015 г. (b)

F i g. 2. Features of granulometric composition of the Balaklava Bay bottom sediments: circular graphs – for 2005 and 2015 (a); three-component graph – for 2015 (b)

² Петелин В. П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М. : Наука, 1967. 128 с.

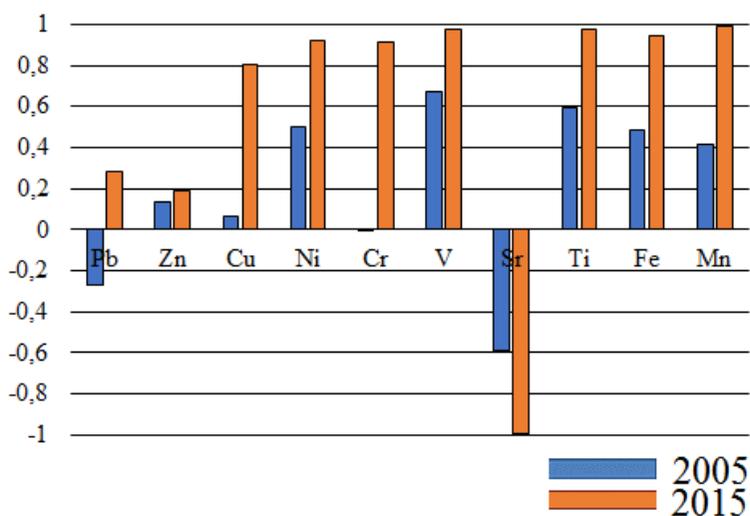
³ Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С. 118–131.

В пробах, отобранных в 2005 г., содержание пелито-алевритовой фракции ($< 0,05$ мм) в среднем составило около 13 %, а в пробах 2015 г. достигло 50 %. Изменение соотношения илистых фракций отразилось на значении медианного диаметра, который уменьшился до 0,06 мм. В северо-восточной кутовой части содержание илистого материала возросло с 55 до 86 %, в северо-западной кутовой части – с 72 до 90 %. В центральной части акватории доля пелито-алевритового материала увеличилась на 15 %.

Выявлены изменения и в вещественном составе гравийного материала. В пробах 2015 г. преобладает крупнозернистый и мелкозернистый ракушечный материал, а среднее значение медианного диаметра для гравийной фракции составило 2,68. Что касается особенностей пространственного распределения, то доля крупнозернистого материала в прибрежной восточной части акватории сократилась с 84 до 78 %, а доля илов в этой же части возросла с 1,3 до 8 %. Фракция илистых песков в поверхностном слое донных отложений уменьшилась с 23,08 до 14,9 %.

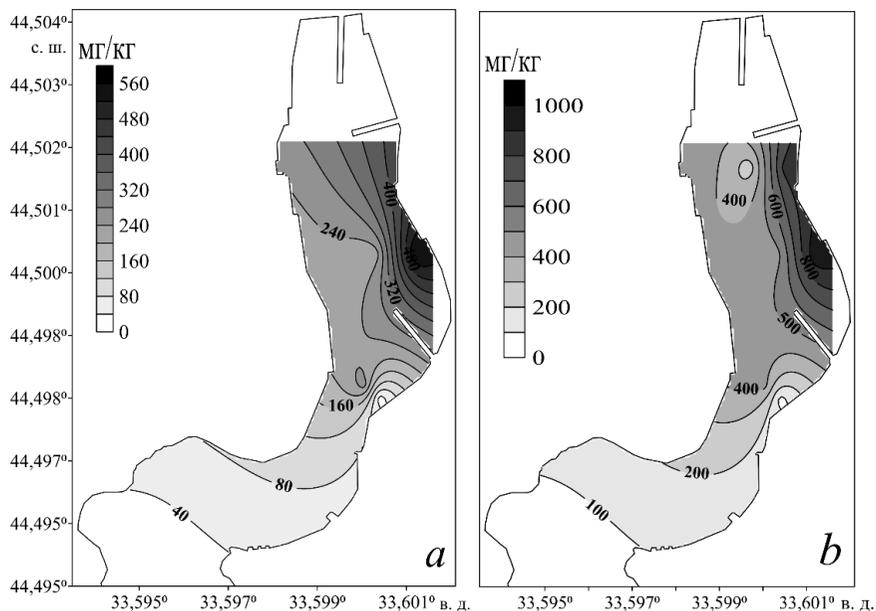
Отмечено, что для повышенных концентраций таких микроэлементов, как медь, никель, хром, ванадий, титан, железо и марганец, в поверхностном слое донных отложений Балаклавской бухты наблюдается высокая положительная корреляция с илистой фракцией (рис. 3).

Анализ полученных результатов показал (рис. 4), что концентрации ХЭВ в донных отложениях Балаклавской бухты в 2005 г. колебались в широких пределах от 39 до 970 мг/100 г воздушно-сухого вещества (возд.-сух. в-ва). Эти значения соответствуют I–III уровням загрязнения донных отложений согласно работе [1].



Р и с. 3. Коэффициенты корреляции между содержанием илистой фракции и содержанием металлов в донных осадках Балаклавской бухты

F i g. 3. Correlation coefficients between the contents of the clay fraction and the metals in the Balaklava Bay bottom sediments



Р и с. 4. Пространственное распределение нефтяных углеводородов (а) и хлороформ-экстрагируемых веществ (б) в донных отложениях Балаклавской бухты
Fig. 4. Spatial distribution of petroleum hydrocarbons (a) and chlorophorm-extractable substances (b) in the Balaklava Bay bottom sediments

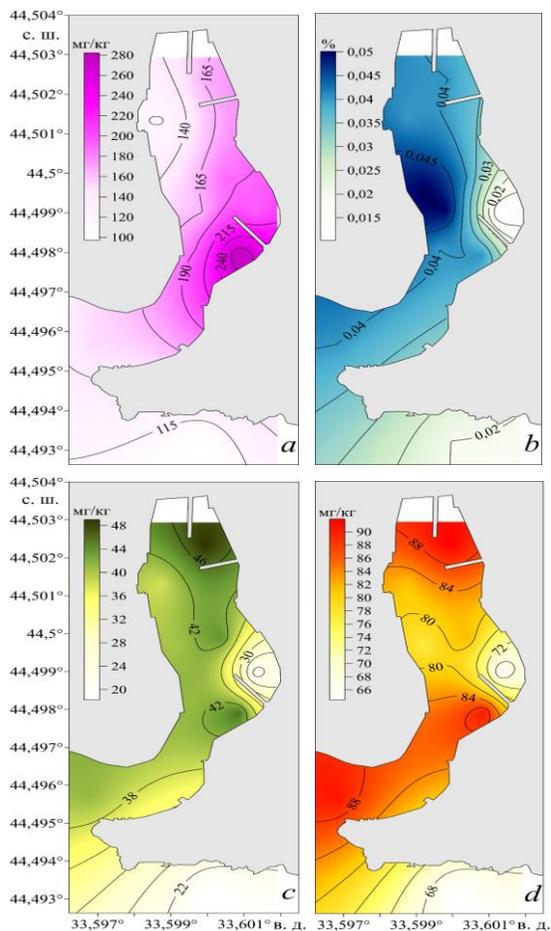
Ранее (в работе [1]) в исследуемой акватории были отмечены III–IV уровни. Данное деление на уровни (с I по V) проведено в соответствии с содержанием ХЭВ в донных отложениях и реакцией бентосного сообщества на него. Первому уровню соответствуют природно-чистые морские осадки с высокими показателями биоразнообразия, пятому – практически безжизненные донные отложения [15].

Содержание ХЭВ в 2005 г. снизилось по сравнению с 1992 г. (190–2690 мг/100 г), что, возможно, связано со снижением нагрузки на бухту в 90-е гг. Тогда как содержание НУ осталось на том же, ранее зафиксированном уровне (в 2005 г. – от 44 до 582 мг/100 г возд.-сух. в-ва, в 1992 г. – от 21 до 562 мг/100 г возд.-сух. в-ва). Процентное соотношение НУ от ХЭВ в 2005 г. составило 32–61 % против 17–28 % в 1992 г. Полученные показатели свидетельствуют об углеводородном характере сырого органического вещества.

При этом отмечена прямая корреляционная зависимость между содержанием ХЭВ и НУ ($r = 0,98$), а распределения хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов аналогичны: максимальные значения концентрации отмечаются в центральной части бухты, минимальные – на выходе из нее. В районах повышенного содержания НУ в 2005 г. отмечено повышенное содержание металлов (таких, как Pb, Zn, Cr). Полученное распределение загрязняющих веществ может быть обусловлено рядом причин: особенностями гидрологического режима бухты (течения, замкнутости акватории и т. д.), гранулометрическим составом донных отложений (в илистой фракции концентрирование загрязняющих веществ происходит интенсивнее), ис-

точником их поступления (повышенные концентрации отмеченных элементов наблюдаются в районе выхода ливневого стока г. Балаклавы) [5, 16, 17].

С 1992 по 2005 гг. отмечена тенденция к уменьшению ХЭВ в донных отложениях Балаклавской бухты. Известно также, что в илистых морских осадках накопление загрязняющих веществ происходит интенсивнее. В связи с тем, что, по нашим данным, гранулометрический состав донных отложений за последнее десятилетие изменился в сторону увеличения илистых фракций, можно предположить более высокий уровень загрязнения акватории, чем отмеченный ранее.



Р и с. 5. Пространственное распределение содержания цинка (*a*), оксида марганца (*b*), никеля (*c*) и меди (*d*) в донных отложениях Балаклавской бухты (2015 г.)

Fig. 5. Spatial distribution of contents of zink (*a*), manganous oxide (*b*), nickel (*c*) and black copper (*d*) in the Balaklava Bay bottom sediments (2015)

Выделены группы микроэлементов, различающиеся особенностями пространственного распределения. Первая группа включает в себя Zn, Co, Cr, Fe, Sr (рис. 5, *a*), распределение этих металлов характеризуется максимальными концентрациями в центральной части бухты. Их локализация на этом участке

наблюдается у восточного и западного берегов. Повышенные концентрации данных элементов определяются в районе исследуемой акватории, где расположен ливневый сток г. Балаклавы [4], тогда как на стрежне акватории значения концентрации существенно меньше. Такое пространственное распределение характерно для акватории в 2005 г. Вторая группа микроэлементов включает V, Ti, Mn (рис. 5, b). Их пространственное распределение имеет обратную зависимость: максимальные концентрации наблюдались ближе к береговой линии бухты.

Третья группа элементов представлена Pb, Ni, Sr (рис. 5, c), их распределение отличается локальной неоднородностью. Максимальные концентрации наблюдались как в прибрежной зоне, так и в центральной части Балаклавской бухты.

Пространственное распределение Cu (рис. 5, c) характеризуется максимальными концентрациями в мелководной части в вершине бухты (49 мг/кг) и на выходе из коленообразной узости исследуемой акватории (90,6 мг/кг).

Результаты определения валового содержания металлов в поверхностном слое донных отложений бухты представлены в таблице.

Т а б л и ц а
T a b l e

Максимальные (C_{max}) и минимальные (C_{min}) значения валового содержания металлов (мг/кг) в донных отложениях Балаклавской бухты
Maximum (C_{max}) and minimum (C_{min}) values of the metals bulk content (mg/kg) in the Balaklava Bay bottom sediments

| Элемент / Element | 2015 | | 2005 | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | C_{min} | C_{max} | C_{min} | C_{max} |
| Pb | 18,04 | 188,62 | 28,41 | 504 |
| Zn | 97,12 | 283,16 | 94,4 | 359,10 |
| Cr | 26,06 | 87,19 | 57,54 | 86,43 |

Распределение в поверхностном слое донных отложений никеля, кобальта, ванадия, титана, железа и марганца определяется сорбционными свойствами мелкодисперсных пелито-алевритовых илов, что подтверждает полученные ранее сведения для других акваторий севастопольского региона [3].

Отмечена отрицательная корреляционная зависимость между мелкозернистыми осадками и такими элементами, как Pb и Sr, и положительная – между Sr и содержанием гравийного материала.

Анализ полученных результатов показал, что среднее содержание кобальта, меди, стронция незначительно уменьшилось по сравнению с содержанием этих элементов в 2005 г. [5].

Содержание свинца, который является техногенным загрязнителем [18], в донных отложениях Балаклавской бухты носит локальный характер и часто зависит от источника поступления. Значительные градиенты концентрации Pb (188,62 мг/кг) были определены в центральной части бухты, что характерно для высококарбонатных илов [2] и крупнопелитовой и алевритовой фрак-

ций. Средняя концентрация Pb в бухте уменьшилась по сравнению с данными 2005 г. и составила 73,14 мг/кг.

Повышенное содержание хрома выявляется в местах скопления плавсредств и в акваториях портов [18]. Хром в исследуемую акваторию поступает с речными водами. Отмечено, что среднее содержание Cr в донных осадках реки Балаклавки, которая впадает в Балаклавскую бухту, составило 66,13 мг/кг. Поступая с речным стоком, Cr накапливается в верховье бухты и в центральной части акватории, максимальные его концентрации изменяются в диапазоне 70,25–87,19 мг/кг. В целом содержание данного элемента в донных осадках бухты не превышает средних величин, полученных для осадков шельфа Черного моря [2].

Пространственное распределение Zn аналогично пространственному распределению Cr. Отмечено, что максимальная концентрация цинка составляет 283,15 мг/кг, это почти в шесть раз превышает его среднее содержание в осадках шельфа Черного моря [2].

Заключение

Полученные результаты показали, что за последние 10 лет изменилось соотношение фракций гранулометрического состава донных отложений. В первую очередь это касается илистого материала, содержание которого в поверхностном слое увеличилось в среднем с 58 до 66 %, в особенности за счет увеличения доли пелито-алевритовой фракции с 13 % в 2005 г. до 50 % в 2015 г. Содержание крупнозернистого материала возросло, однако уменьшился средний медианный диаметр частиц гравийной фракции. Показано, что доля заиленных песков в осадках Балаклавской бухты уменьшилась с 25,4 до 12,8 %.

Выполнен корреляционный анализ связи содержания микроэлементов и тяжелых металлов с гранулометрическим составом. Выделены металлы (Ni, Cr, V, Ti, Fe, Mn), которые в 2005 и 2015 гг. проявили статистически значимую корреляцию с илистой фракцией исследуемых донных отложений. Эта связь прослеживалась в акватории и Севастопольской бухты, и Керченского пролива [19, 20].

Концентрация ХЭВ в донных отложениях Балаклавской бухты колебалась в широких пределах. В 2005 г. их содержание снизилось по сравнению с 1992 г., что, возможно, связано с уменьшением антропогенной нагрузки на бухту в 90-е гг. Содержание НУ в 2005 г. (от 44 до 582 мг/100 г возд.-сух. в-ва) осталось на уровне, зафиксированном в 1992 г. (от 21 до 562 мг/100 г возд.-сух. в-ва). Отмечена прямая корреляционная зависимость между содержанием ХЭВ и НУ ($r = 0,98$).

Распределение ХЭВ в донных отложениях исследуемой акватории соответствует распределению НУ: максимальные показатели зафиксированы в центральной части, а минимальные – на выходе из нее. В районах повышенного содержания НУ в 2005 г. отмечено повышенное содержание таких металлов, как свинец, цинк, хром.

Анализ полученных данных показывает, что в пробах, отобранных и в 2005 г., и в 2015 г., преобладают такие металлы, как свинец, хром, цинк, медь, стронций. Среднее содержание кобальта, меди, стронция незначительно

увеличилось по сравнению с содержанием данных элементов в 2005 г. В то же время среднее содержание свинца в пробах 2015 г. (73,14 мг/кг) уменьшилось почти в 1,5 раза по сравнению с 2005 г. (125 мг/кг). Максимальные концентрации металлов (Cr, Cu, Pb, Zn) наблюдаются в центральной части Балаклавской бухты. Их локализация наблюдается у восточного и западного берегов акватории.

Показано, что увеличение концентраций микроэлементов отмечается в кутовой северо-восточной и в западной частях акватории. В кутовой северо-западной и центральной частях наблюдается значительное уменьшение концентраций исследуемых металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алемов С. В.* Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // *Экология моря*. 1999. Вып. 49. С. 16–21.
2. *Митропольский А. Ю., Безбородов А. А., Овсяный Е. И.* Геохимия Черного моря. К. : Наукова думка, 1982. 144 с.
3. Тяжелые металлы в донных отложениях Севастопольской бухты / В. М. Кадошников [и др.] // *Мінералогічний журнал*. 2011. Т. 33, № 4. С. 73–79.
4. *Ломакин П. Д., Попов М. А.* Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 184 с.
5. *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.
6. 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>
7. Heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in surface sediments of the Naples harbour (southern Italy) / M. Sprovieri [et al.] // *Chemosphere*. 2007. Vol. 67, iss. 5. P. 998–1009. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.10.055>
8. An overview of toxicant identification in sediments and dredged materials / K. T. Ho [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. 2002. Vol. 44, iss. 4. P. 286–293. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00251-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00251-X)
9. Heavy metals in organisms and sediments from Turkish Coast of the Black Sea, 1997–1998 / S. Topçuoğlu [et al.] // *Environment International*. 2002. Vol. 27, iss. 7. P. 521–526. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00099-X](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00099-X)
10. *Bat L., Yesim Özkan E., Can Öztekin H.* The contamination status of trace metals in Sinop coast of the Black Sea, Turkey // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2015. Vol. 13, iss. 1. P. 1–10. URL: https://cjes.guilan.ac.ir/article_112_4a666ae9d2870de30036717ef4f9a5d0.pdf (date of access: 01.10.2019).
11. *Eckert S., Schnetger B., Brumsack H.-J.* Trace metal patterns in Black Sea sapropels as a chemostratigraphic tool // *Geophysical Research Abstracts*. 2009. Vol. 11. EGU2009-9371. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-9371.pdf> (date of access: 01.10.2019).
12. Trace metal distributions in shelf waters of the northwestern Black Sea / P. C. Tankéré [et al.] // *Continental Shelf Research*. 2001. Vol. 21, iss. 13–14. P. 1501–1532. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00013-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00013-9)
13. Факторы формирования и отличительные особенности физико-химических характеристик донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / К. И. Гуров [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2015. № 4. С. 51–58.

14. 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
15. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиологический журнал. 1986. Т. 22, № 6. С. 76–78.
16. Мезенцева И. В., Чайкина А. В., Клименко Н. П. Современный уровень загрязнения вод акватории Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2003. Вып. 8. С. 115–118.
17. Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Родионова Н. Ю. Гидрохимическая характеристика вод Балаклавской бухты и прилегающей к ней прибрежной части Черного моря // Гидробиологический журнал. 1999. Т. 35, № 3. С. 88–99.
18. Геоэкология Черноморского шельфа Украины / В. А. Емельянов [и др.]. К. : Академприодика, 2004. 141 с.
19. Котельянец Е. А., Коновалов С. К. Тяжелые металлы в донных отложениях Керченского пролива // Морской гидрофизический журнал. 2012. № 4. С. 50–60.
20. Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Черное море) / А. С. Романов [и др.] // Экология моря. 2007. Вып. 73. С. 85–90.

Об авторах:

Котельянец Екатерина Александровна, младший научный сотрудник, отдел гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **WoS ResearcherID: AAA-8699-2019**, plistus@mail.ru

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

Кондратьев Сергей Иванович, старший научный сотрудник, отдел биогеохимии моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат химических наук, **ResearcherID: F-8972-2019**, skondratt@mail.ru

Тихонова Елена Андреевна, старший научный сотрудник, отдел морской санитарной гидробиологии, ФИЦ ИнБЮМ (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-9137-087X**, **Scopus Author ID: 57208495804**, **WoS ResearcherID: X-8524-2019**, tihonoval@mail.ru