

## Влияние физико-химических характеристик донных отложений на распределение микроэлементов в прибрежных акваториях Крымского полуострова

Е. А. Котельянец\*, К. И. Гуров

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

*\*e-mail: plistus@mail.ru*

Поступила 14.08.2020 г.; принята к публикации 11.11.2020 г.; опубликована 25.12.2020 г.

Представлены результаты исследований уровня загрязнения микроэлементами и тяжелыми металлами (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, As, Sr, Ti, Fe, Mn) донных отложений Каламитского залива в сравнении с содержанием данных микроэлементов и тяжелых металлов в акватории Балаклавской бухты. Проанализированы данные, полученные в ходе экспедиционных исследований в акватории Каламитского залива в августе 2011 г. на НИС «Профессор Водяницкий» (мористая часть) и в сентябре 2012 г. на НИС «Риони» (прибрежная часть), а в Балаклавской бухте – в октябре 2018 г. Определение содержания микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях исследуемых акваторий проводилось рентгенофлуоресцентным методом с использованием прибора «Спектроскан МАКС-G». Рассмотрены особенности пространственного распределения исследуемых микроэлементов в акватории Каламитского залива, выделены группы микроэлементов, различающиеся характером пространственного распределения. Корреляционный анализ выявил влияние физико-химических характеристик осадков на распределение и накопление микроэлементов и тяжелых металлов. В акватории Каламитского залива отмечены статистически значимая корреляция содержания никеля, железа и цинка с илистой фракцией, зависимость повышенных концентраций цинка, никеля и хрома от содержания органического углерода и преобладание свинца в высококарбонатных отложениях. В акватории Балаклавской бухты максимальные положительные значения корреляций с пелито-алевритовой фракцией отмечены для железа, марганца, ванадия и хрома; органический углерод коррелирует с хромом, железом, никелем и медью, а карбонаты со стронцием. Подобные закономерности наблюдались ранее в акваториях Севастопольского региона, Феодосийского залива и Керченского пролива.

**Ключевые слова:** Каламитский залив, Балаклавская бухта, донные отложения, микроэлементы, тяжелые металлы.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2020-0004 «Прибрежные исследования», а также при поддержке гранта РФФИ № 18-45-920007.

© Котельянец Е.А., Гуров К.И., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

**Для цитирования:** Котельянец Е. А., Гуров К. И. Влияние физико-химических характеристик донных отложений на распределение микроэлементов в прибрежных акваториях Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 4. С. 117–129. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-117-129

## **Influence of Bottom Sediments Physicochemical Characteristics on Distribution of Microelements in the Crimean Shelf Water Areas**

**E. A. Kotelyanets\*, K. I. Gurov**

*Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia*

*\*e-mail: plistus@mail.ru*

Submitted 14.08.2020; revised 11.11.2020; published 25.12.2020

The paper presents the results of studies of the Kalamitsky Bay bottom sediments pollution level with microelements and heavy metals (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, As, Sr, Ti, Fe, Mn) in comparison with the content of these microelements and heavy metals in the Balaklava Bay sediments. The paper analyzes data obtained during expeditions on the R/V *Professor Vodyanitsky* in the Kalamitsky Gulf in August 2011 (seaward part) and on the R/V *Rioni* in September 2012 (coastal area) as well as in the Balaklava Bay in October 2018. Content of microelements and heavy metals in bottom sediments of the studied water areas was determined by the X-ray fluorescence method using *Spectroscan MAX-G* device. For the water area of the Kalamitsky Gulf, the features of the studied trace element spatial distribution are considered, groups of trace elements with different spatial distribution patterns are identified. The correlation analysis determined influence of physicochemical characteristics of the sediments on distribution and accumulation of trace elements. In the water area of the Kalamitsky Gulf, a statistically significant correlation was observed of nickel, iron and zinc content with the clay fraction; dependance of increased concentrations of zinc, nickel and chrome on the content of organic carbon and predominance of lead in highcarbonate sediments. For the Balaklava Bay, the maximum positive values of correlations with the pelitic-silty fraction were noted for iron, manganese, vanadium and chrome; organic carbon correlates with chrome, iron, nickel and copper, whereas carbonates correlate with strontium. Similar patterns were observed earlier in the Sevastopol region bays, Feodosiya Gulf and Kerch Strait.

**Keywords:** Kalamitsky Gulf, Balaklava Bay, bottom sediments, microelements, heavy metals.

**Acknowledgements:** the research is performed under State Order on topic “Coastal studies” no. 0827-2020-0004 and funded by the RFBR grant no. 18-45-920007.

**For citation:** Kotelyanets, E.A. and Gurov, K.I., 2020. Influence of Bottom Sediments Physicochemical Characteristics on Distribution of Microelements in the Crimean Shelf Water Areas. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 117–129. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-117-129 (in Russian).

### **Введение**

Прибрежные акватории Черного моря представляют собой центр сосредоточения жизни. В них формируются особые экосистемы, которые в настоящее время являются составляющими общей экосистемы Черного моря.

Донные отложения участвуют в изменении и образовании новых форм элементов, а также их накоплении. Поэтому изучение донных отложений является существенной составляющей мониторинга прибрежных районов Черного моря [1]. Донные отложения служат депонирующей средой, отражающей все процессы, протекающие в исследуемых акваториях, поэтому их необходимо анализировать при оценке экологического состояния акваторий. Накопившиеся в донных отложениях загрязняющие вещества могут стать источником вторичного загрязнения водной толщи. Результаты исследований донных отложений важны для оценки качества вод и установления источника вторичного загрязнения, так как донные отложения содержат «исторические записи» прошлых климатических и экологических условий на территории водосбора.

Основными характеристиками донных отложений являются содержание в них органического вещества и их гранулометрический состав. Важность этих характеристик определяется их влиянием на процессы поглощения, удержания и накопления микроэлементов и тяжелых металлов. Помимо изучения таких характеристик, как содержание  $C_{орг}$  и  $CaCO_3$ , необходим анализ их пространственного распределения и взаимосвязи с составом отложений [2].

Каламитский залив расположен между м. Лукулл на юге и м. Евпаторийским на севере отдельно от районов северо-западного шельфа (СЗШ). Он открыт влиянию глубоководной части Черного моря и является переходным звеном от открытой части моря к СЗШ, благополучно избегая таких явлений, как придонная гипоксия и последующие заморы рыбы. Отсутствие обильного пресноводного стока и значительной промышленной инфраструктуры на берегах западного Крыма, а также ничем не нарушаемый водообмен с глубоководной частью моря делают воды залива более похожими на воды открытого моря [3]. Глубины на внешней стороне Каламитского залива не превышают 30 м, изобата 20 м проходит в 7–8 км от берега (на Южном берегу Крыма это расстояние составляет около 400 м), а сам залив считается мелководным. Последнее исследование гидрохимического состава вод Каламитского залива было проведено в сентябре 1995 г., а его результаты обсуждаются в работе [4]. Поэтому в данной работе залив рассматривается как фоновая акватория с точки зрения особенностей накопления и пространственного распределения микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях в сравнении с исследованными ранее акваториями Севастопольского региона [5–7], которые позиционируются как районы с затрудненным водообменом.

Цель данной работы – определение содержания As, Ti и Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn в донных отложениях Каламитского залива, анализ уровня загрязнения и характера пространственного распределения микроэлементов на примере открытой акватории (Каламитский залив) и акватории с затрудненным водообменом (Балаклавская бухта) с учетом оценки влияния океанографических характеристик районов и геохимических характеристик донных осадков.

#### **Методы и материалы**

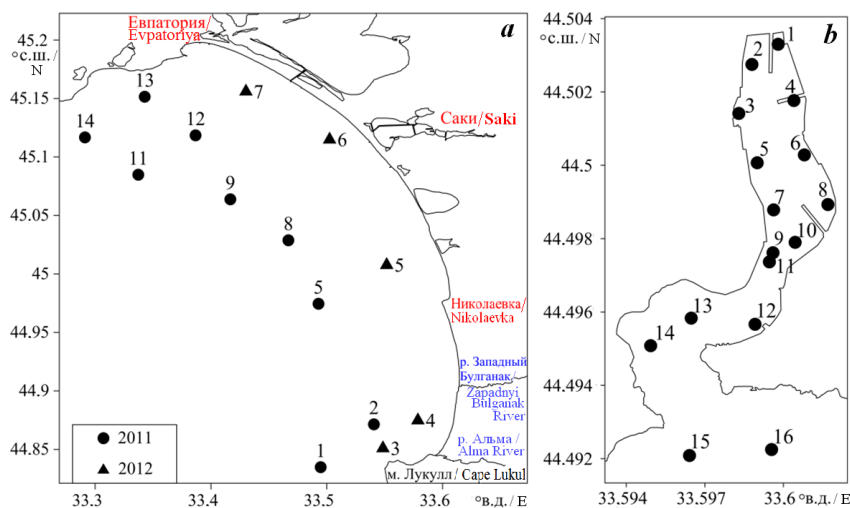
Районами, исследуемыми в данной работе, являются Каламитский залив и Балаклавская бухта. Отбор проб донных отложений выполнялся с исполь-

зованием пробоотборников Петерсона согласно нормативным документам (ГОСТ 17.1.5.01-80). Определение содержания микроэлементов и тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, As, Sr, Ti, Fe, Mn) в донных отложениях исследуемых акваторий проводилось рентгенофлуоресцентным методом с использованием прибора «Спектроскан МАКС-G» фирмы «Спектрон»<sup>1)</sup>. В работе проанализированы данные, полученные в ходе экспедиционных исследований в акватории Каламитского залива в августе 2011 г. на НИС «Профессор Водяницкий» (мористая часть) и в сентябре 2012 г. на НИС «Риони» (прибрежная часть), а в Балаклавской бухте – в октябре 2018 г. Расположение станций отбора проб представлено на рис. 1.

Полученные значения содержания микроэлементов сравнивались с фоновыми концентрациями, характерными для прибрежных районов Черного моря по данным работы [1], и кларками элементов в земной коре по А. П. Виноградову<sup>2)</sup>. Для обобщения и нивелирования типов донных отложений при анализе уровня их загрязненности было использовано значение средней характерной концентрации (СХК), полученное в работе [8] для различных типов донных отложений северо-восточной части Черного моря.

Сравнение результатов анализа в абсолютных концентрациях с СХК дает безразмерную величину – кратность СХК:

$$\text{кратность СХК} = \frac{C_i}{\text{СХК}},$$



Р и с . 1 . Схема станций отбора проб донных отложений в акватории Каламитского залива (а) и Балаклавской бухты (б)

Fig. 1. Map of bottom sediment sampling stations in the Kalamitsky Gulf (a) and Balaklava Bay (b) water areas

<sup>1)</sup> Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа М049-П/02. СПб. : ООО «Спектрон», 2002. 16 с.

<sup>2)</sup> Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

где  $C_i$  – абсолютная концентрация определяемого  $i$ -го вещества; СХК – средняя характерная концентрация  $i$ -го вещества для различных типов грунта.

Кратность СХК характеризует подверженность данного района антропогенному воздействию в исследуемый период времени. В случае если кратность СХК  $< 1$ , то в данный район моря, вне зависимости от абсолютных значений загрязненности и типа анализируемого грунта, определяемый токсикант почти не поступал. При кратности СХК  $> 1$  в данном районе содержание рассматриваемого элемента повышено и требуется более детальное исследование для установления источника загрязнения [8].

Для сравнения содержания микроэлементов с фоновыми значениями рассматривается Каламитский залив и Балаклавская бухта как акватории с разными океанологическими характеристиками.

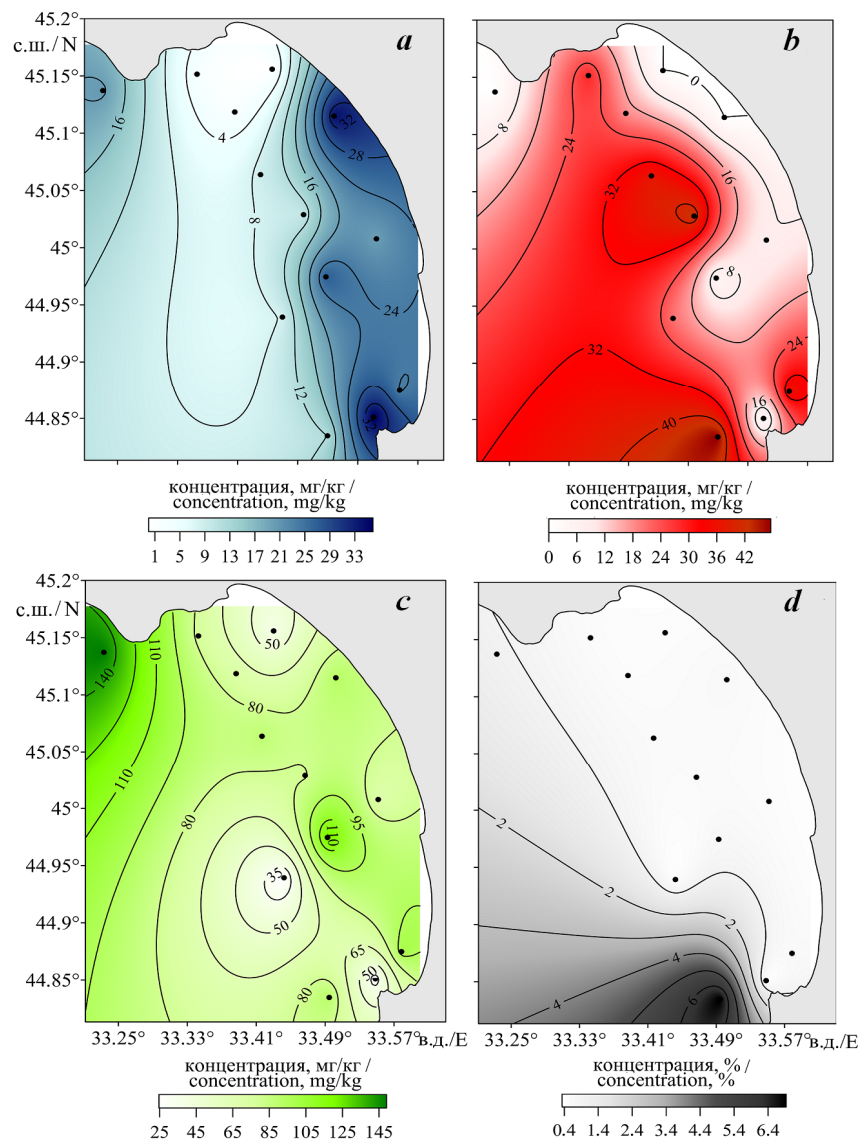
### **Результаты и обсуждение**

В опубликованной ранее работе [2] рассмотрены основные геохимические характеристики донных отложений (влажность, гранулометрический состав, содержание органического углерода, карбонатность), а также содержание некоторых микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях акватории Каламитского залива. В настоящей работе в рамках изучения особенностей пространственного распределения исследуемых микроэлементов были выделены районы максимальных и минимальных концентраций тяжелых металлов, а также получены корреляционные зависимости между накоплением различных элементов, физическими (гранулометрический состав) и химическими (содержание органического вещества, карбонатность) характеристиками донных отложений.

В результате выполненных исследований в акватории залива были выделены группы микроэлементов, различающиеся характером пространственного распределения. Первая группа включает Co, As, Pb, их распределение характеризуется максимальными концентрациями в прибрежной и южной частях Каламитского залива (рис. 2, *a*). Вторая группа включает Zn, Ni, Cr, Cu, пространственное распределение которых характеризовалось максимальными концентрациями в мористой части залива (рис. 2, *b*). Третья группа элементов представлена Sr, Ti, Fe, Mn, максимальные концентрации которых были определены в южной части залива (рис. 2, *c*). Пространственные особенности содержания V и Ni характеризовались локальными неоднородностями, максимальные концентрации элементов были определены в прибрежной и мористой частях залива (рис 2, *d*).

В качестве примера на рис. 2 показано распределение некоторых микроэлементов – представителей разных групп по особенностям пространственного распределения. Значительные концентрации этих элементов наблюдаются в прибрежной части акватории залива, а минимальные – в мористой части.

Повышенное содержание Co, As и Pb (рис. 2, *a*) отмечено в прибрежных донных отложениях центральной и северной частей залива. Среднее содержание кобальта составляет 23 мг/кг, а максимальное 40 мг/кг. Содержание свинца на многих станциях было ниже предела обнаружения метода РФА, максимальное содержание этого элемента составляет 16.5 мг/кг, что не превышает его концентрацию в донных осадках шельфа [1] и соответствует его



Р и с . 2 . Пространственное распределение в донных отложениях Каламитского залива: *a* – кобальта; *b* – цинка; *c* – ванадия; *d* – титана  
 Fig . 2 . Spatial distribution of *a*) cobalt, *b*) zinc, *c*) vanadium and *d*) titanium in bottom sediments of the Kalamitsky Gulf

содержанию в земной коре по А. П. Виноградову. Максимальное содержание мышьяка – 10 мг/кг, что не превышает концентрации данного элемента с характерными фоновыми значениями [1, 9].

Максимальные концентрации элементов второй группы наблюдались в илистых отложениях мористой части залива (рис. 2, *b*). Содержание цинка на многих станциях было ниже предела обнаружения метода РФА, максимальное содержание составило 36 мг/кг. Минимальное содержание никеля (9 мг/кг) определено в южной части залива, а максимальное (31 мг/кг) – в мористой части. Среднее содержание хрома составило 64 мг/кг, тогда как

максимальная концентрация данного элемента составила 84 мг/кг, она была определена в месте впадения р. Альмы в районе м. Лукулл. Максимальные концентрации хрома локализуются в прибрежных областях, что связано со слабой подвижностью и инертностью элемента [9], а также в мористой части залива, что связано с его повышенным накоплением в мелкозернистых отложениях. Максимальное содержание Cu составляет 26 мг/кг, что не превышает геохимического фона по данным из работ [1, 9]. Превышение фоновых значений отмечается только для Fe, Cr и V исключительно на прибрежных станциях.

Значительное превышение СХК [8] отмечено для таких элементов, как Fe, Mn, Cr и V, исключительно на прибрежных станциях. Для Cr и V, а также Cu незначительное превышение величины СХК наблюдалось на станциях в мористой части залива. Для Ni, Zn, Pb и As превышение СХК не отмечалось. Значения превышения СХК и геохимического фона показаны на рис. 3.

Исследованы особенности накопления микроэлементов для отдельных фракций донных отложений с различным содержанием органического углерода и карбоната кальция (рис. 4).

Поскольку гранулометрический состав в прибрежной и мористой частях акватории сильно отличается [2], корреляционные соотношения были получены для этих районов отдельно. Такие элементы, как Cr, Cu, Ni, Zn, накапливаются в илстой фракции прибрежных отложений, а Fe, V и As – в илах мористой части залива (рис. 4).

Установлено, что максимальные положительные значения корреляций с пелито-алевритовой фракцией отмечены для Ni (0.89), Fe (0.84) и Zn (0.67), минимальные – для V (0.36). Для Pb, As и Mn отмечена отрицательная корреляция с мелкодисперсной фракцией (рис. 3).

Из данных, представленных в таблице, видно, что максимальные концентрации Cr, Co, Ni, Zn, Pb в донных отложениях Каламитского залива ниже, чем в донных осадках Балаклавской бухты и фоновых районов черноморского шельфа [10]. Средние значения остальных элементов ниже фоновых, однако максимальные концентрации всех микроэлементов, за исключением Ti и Mn, выше.

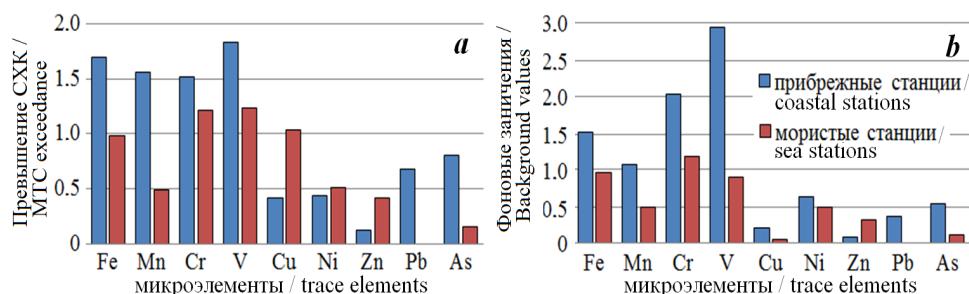


Рис. 3. Средние значения превышения СХК (а) и фоновых концентраций в осадках шельфа (b) Каламитского залива

Fig. 3. Average values of exceedance of the mean typical concentration (MTC) (a) and background values for shelf sediments (b) in the Kalamitsky Gulf

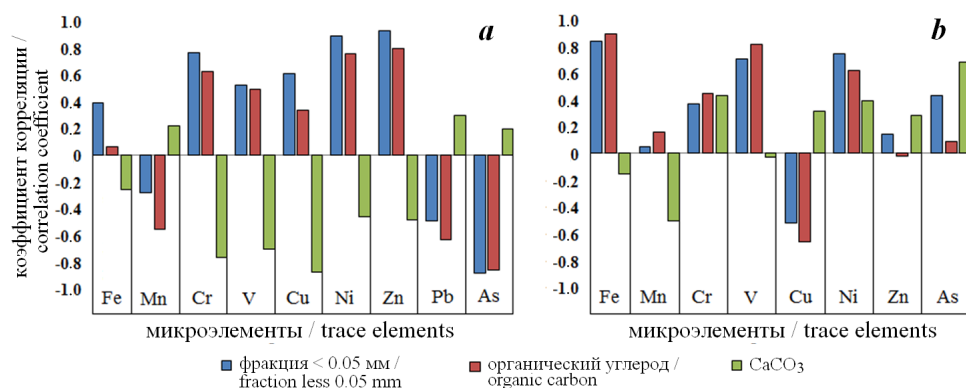


Рис. 4. Взаимосвязь концентраций исследуемых микроэлементов с фракцией пелитовых илов, содержанием органического углерода и карбоната кальция в пробах из прибрежной (а) и мористой (b) зон Каламитского залива

Fig. 4. Interrelation of concentration of microelements under study with the lutite fraction and content of organic carbon and calcium carbonate for samples taken in the coastal (a) and seaward (b) areas of the Kalamitsky Gulf

Анализ пространственного распределения микроэлементов в донных отложениях мелководных акваторий показал, что превышение геохимического фона, отмечаемое в Балаклавской бухте, наблюдается и в других акваториях Севастопольского региона с затрудненным водообменом [5–7].

Анализ пространственного распределения микроэлементов (Cr, Co, Ni, Zn, Pb, As, Sr) в Балаклавской бухте позволил оценить их содержание, установить превышение геохимического фона в отличие от отложений в Каламитском заливе, где даже максимальные концентрации исследуемых микроэлементов не превышают геохимического фона. Повышенные концентрации загрязняющих микроэлементов в акватории Балаклавской бухты определяются

Уровни накопления микроэлементов (мг/кг) в донных отложениях Каламитского залива и Балаклавской бухты по отношению к геохимическому фону

Microelement accumulation level (mg/kg) in the bottom sediments of the Kalamitsky Gulf and Balaklava Bay versus the geochemical background

Элемент / Element	Каламитский залив / Kalamitsky Gulf (2011–2012)	Балаклавская бухта / Balaklava Bay (2018)	Кларки по А. П. Виноградову / Clarkes according to Vinogradov	Среднее содержание в донных отложениях шельфа [1] / Average content in shelf bottom sediments [1]
Cr	48–90	50–125	83.0	45
Co	2–36	10–30	18.0	14
Ni	10–32	8–95	58.0	34
Zn	4–48	38–869	83.0	60
Pb	1–16	20–560	16.0	13
As	1–10	15–84	1.7	11



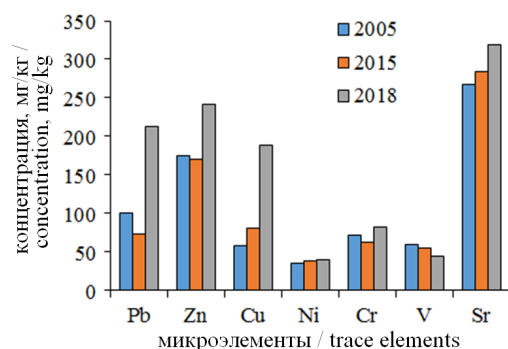


Рис. 5. Концентрации исследуемых микроэлементов в поверхностном слое донных отложений Балаклавской бухты в 2005–2018 гг.

Fig. 5. Concentrations of microelements under study in the surface layer of the Balaklava Bay bottom sediments in 2005–2018

в первую очередь орографией берега, слабым водообменом с открытыми районами, а также особенностями гранулометрического состава донных отложений. Более 75 % поверхностного слоя донных отложений здесь представлено илистой фракцией, из которых 62 % приходится на долю пелито-алевритового материала, отличающегося повышенными сорбционными свойствами. В результате в донных отложениях бухты активно накапливается органический углерод [11], а также различные загрязняющие вещества органического происхождения [12].

Сравнительный анализ средних концентраций исследуемых элементов в 2005, 2015 и 2018 гг. показал, что Pb, Zn, Cu, Cr накапливаются в поверхностном слое, концентрации Ni и As не изменились, а концентрации V, Fe и Mn уменьшились.

Максимальные положительные значения корреляций с пелито-алевритовой фракцией зафиксированы для Fe и Mn (0.74), минимальные – для Cu (0.30) и Zn (0.29). Показано, что между гравийным материалом и содержанием исследуемых микроэлементов в донных отложениях Балаклавской бухты корреляция полностью отсутствует. Исключение составляет отрицательная корреляция, отмеченная для Mn (–0.7). В песчаной фракции донных отложений микроэлементы не накапливаются, значения корреляций изменяются от –0.4 до –0.8. По результатам анализа для всех исследуемых микроэлементов, за исключением Mn, характерна высокая положительная корреляционная связь с содержанием органического углерода. Для содержания карбоната кальция отмечается обратная закономерность (рис. 6).

Установлено, что значительное превышение фоновых концентраций, полученных в работе [1], отмечается только для Pb, Cu, Zn и Cr, а для Mn, Fe, Ni и V превышение фоновых значений фиксируется только на отдельных станциях. Концентрации таких элементов, как Cu, Zn и Pb, в поверхностном слое донных отложений, особенно в кутовой северной части бухты, превышают фоновые в 2–30 раз. В песчано-гравийных отложениях южного бассейна и на выходе из бухты превышения фоновых характеристик не наблюдается. Для таких элементов, как Cu, Zn и Pb, отмечено значительное превышение содержания относительно состава верхней части земной коры (по А. П. Виноградову). Превышение СХК [8] на всех станциях отмечено для Cr, Cu, Zn, и Pb. Такие элементы, как Fe, Ni, V и Mn, превышают СХК только на отдельных станциях. Оценки, полученные разными методами, показали хорошую сходимость (от 0.7 для Fe до 0.95 для Pb).

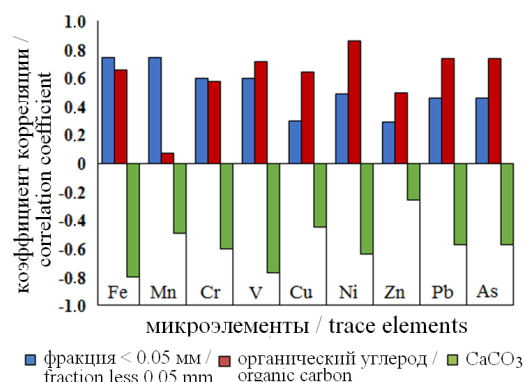


Рис. 6. Взаимосвязь концентраций исследуемых микроэлементов с фракцией пелитовых илов, содержанием органического углерода и карбоната кальция в донных отложениях Балаклавской бухты, 2018 г.

Fig. 6. Interrelation of concentration of microelements under study with the lutite fraction and content of organic carbon and calcium carbonate in the bottom sediments of the Balaklava Bay, 2018

В ранее опубликованных нами работах были установлены закономерности распределения микроэлементов в Балаклавской [5], Севастопольской [6], Казачьей [7] бухтах, а также Феодосийском заливе [14] и Керченском проливе [12, 13]. По результатам предыдущих исследований были выделены элементы Zn, Ni, Cr, максимальные концентрации которых во всех исследуемых ранее акваториях были выше фоновых концентраций данных элементов [1, 9]. Была выявлена статистически значимая корреляция исследуемых элементов с содержанием органического углерода как в Каламитском заливе, так и в бухтах Севастопольского региона, Феодосийском заливе и Керченском проливе.

### Выводы

Исследованы уровни загрязнения донных отложений Каламитского залива Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe и Mn в сравнении с содержанием данных микроэлементов в Балаклавской бухте. Выделен ряд элементов, концентрации которых превышали геохимический фон. В акватории Каламитского залива это кобальт, хром, никель, в Балаклавской бухте – хром, кобальт, никель, цинк, свинец, мышьяк.

Рассмотрены особенности пространственного распределения исследуемых микроэлементов в Каламитском заливе. Выделены группы микроэлементов, различающиеся характером пространственного распределения. Полученные результаты показывают, что в акватории Каламитского залива увеличение концентраций исследуемых микроэлементов и тяжелых металлов наблюдается в южной прибрежной части залива. В центральной мористой и северной частях, зафиксировано значительное уменьшение концентраций исследуемых металлов. Для Fe, Mn, Cr и V превышение средней характерной концентрации отмечено на прибрежных станциях, а для Cr, V и Cu – на станциях в мористой части залива. Для Ni, Zn, Pb и As превышение СХК не выявлено. В целом донные отложения Каламитского залива являются слабозагрязненными.

В акватории Балаклавской бухты превышение СХК отмечено для Cr, Cu, Zn и Pb, а такие элементы, как Fe, Ni, V и Mn, превышают СХК только на отдельных станциях.

Корреляционный анализ выявил влияние физико-химических характеристик осадков на распределение и накопление микроэлементов и тяжелых

металлов. В акватории Каламитского залива отмечена статистически значимая корреляция содержания никеля, железа и цинка с илистой фракцией; концентрации цинка, никеля и хрома зависят от содержания органического углерода, а свинец преобладает в высококарбонатных отложениях. В акватории Балаклавской бухты максимальные положительные значения корреляций с пелито-алевритовой фракцией отмечены для железа, марганца, ванадия и хрома; органический углерод коррелирует с содержанием хрома, железа, никеля и меди, а карбонаты с содержанием стронция. Подобные закономерности наблюдались ранее для акваторий Севастопольской бухты, Феодосийского залива и Керченского пролива.

В результате выполненного исследования определены элементы (Zn, Ni, Cr), максимальные концентрации которых во всех исследуемых ранее акваториях были выше фоновых значений и имели статистически значимую корреляцию с содержанием органического углерода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Митропольский А. Ю., Безбородов А. А., Овсяный Е. И.* Геохимия Черного моря. Киев : Наукова думка, 1982. 144 с.
2. Геохимические характеристики донных отложений акватории Каламитского залива Черного моря / К. И. Гуров [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2014. № 5. С. 69–80.
3. *Кондратьев С. И.* Гидрохимия северо-западного шельфа Черного моря в современный период // *Система Черного моря*. М. : Научный мир, 2018. С. 119–145. doi:10.29006/978-5-91522-473-4.2018.119
4. *Кондратьев С. И.* Особенности вертикального распределения элементов главного биогенного цикла в водах северо-западного шельфа Черного моря // *Морской гидрофизический журнал*. 2009. № 2. Р. 37–51. doi:10.1007/s11110-009-9040-z
5. 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
6. Accumulations of trace metals in bottom sediments of the Sevastopol bay (Black Sea) / K. Gurov [et al.] // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019: Conference proceedings. SGEM, 2019. Vol. 19, book 3(1). P. 649–656. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.1/S15.083>
7. Некоторые геохимические показатели донных отложений прибрежной акватории под влиянием антропогенного фактора (на примере бухты Казачья, г. Севастополь) / Е. А. Котельянец [и др.] // *Вестник Удмуртского Университета. Серия Биология. Науки о земле*. 2017. Т. 27, вып. 1. С. 5–13.
8. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение / А. А. Клёнкин [и др.]. Краснодар : ООО «Просвещение Юг», 2007. 324 с. URL: <http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/1656> (дата обращения: 17.11.2020).
9. Геоэкология Черноморского шельфа Украины / В. А. Емельянов [и др.]. Киев : Академперіодика, 2004. 296 с.
10. 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

11. Тихонова Е. А., Котельянец Е. А., Гуров К. И. Содержание органических веществ и тяжелых металлов в донных отложениях Балаклавской бухты (Чёрное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 3. С. 82–89. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-82-89
12. Котельянец Е. А., Коновалов С. К. Тяжелые металлы в донных отложениях Керченского пролива // Морской гидрофизический журнал. 2012. № 4. С. 50–60.
13. Organic carbon and carbonates in the recent bottom sediments of the Kerch Strait / E. I. Ovsyanyi [et al.] // *Geochemistry International*. 2015. Vol. 53, iss. 12. P. 1123–1133. <https://doi.org/10.1134/S0016702915120071>
14. Котельянец Е. А., Коновалов С. К. Распределение тяжелых металлов в донных отложениях Феодосийского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. Вып. 17. С. 171–175.

*Об авторах:*

**Котельянец Екатерина Александровна**, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **WoS ResearcherID: AAA-8699-2019**, [plistus@mail.ru](mailto:plistus@mail.ru)

**Гуров Константин Игоревич**, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650**, **ResearcherID: L-7895-2017**, [gurovki@gmail.com](mailto:gurovki@gmail.com)

*Заявленный вклад авторов:*

**Котельянец Екатерина Александровна** – формулировка целей и задач исследования, обработка и описание результатов исследования; подготовка первоначальной версии текста статьи, формулирование выводов

**Гуров Константин Игоревич** – анализ литературных данных, обработка и описание результатов исследования, построение таблиц, графиков, диаграмм; подготовка текста статьи

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

#### REFERENCES

1. Mitropolskiy, A.Yu., Bezborodov, A.A. and Ovsyany, E.I., 1982. [*Geochemistry of the Black Sea*]. Kiev: Naukova Dumka, 144 p. (in Russian).
2. Gurov, K.I., Ovsyany, E.I., Kotelyanets, E.A. and Konovalov, S.K., 2014. [Geochemical Characteristics of Bottom Sediments in the Kalamita Bay Water Area of the Black Sea]. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, (5), pp. 69–80 (in Russian).
3. Kondratiev, S.I., 2018. Hydrochemistry of the North-Western shelf of the Black Sea in the modern period. In: A. P. Lisitzin, ed., 2018. *The Black Sea System*. Moscow: Nauchny Mir, pp. 119–145. doi:10.29006/978-5-91522-473-4.2018.119 (in Russian).
4. Kondrat'ev, S.I., 2009. Specific Features of the Vertical Distribution of Elements of the Main Biogenic Cycles in Waters of the North West Shelf of the Black Sea. *Physical Oceanography*, 19(2), pp. 96–110. <https://doi.org/10.1007/s11110-009-9040-z>
5. 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*, 26(5), pp. 414–424. doi:10.22449/1573-160X-2019-5-414-424

6. Gurov, K., Kotelyanets, E., Tikhonova, E. and Kondratev, S., 2019. Accumulations of Trace Metals in Bottom Sediments of the Sevastopol Bay (Black Sea). In: SGEM, 2019. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference proceedings*. Vol. 19, book 3(1), pp. 649–656. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.1/S15.083>
7. Kotelyanets, E.A., Gurov, K.I., Tikhonova, E.A. and Solov'eva, O.V., 2017. Some Geochemical Indicators of Sea Bottom Sediments in Coastal Waters under the Influence of an Thropogenous Factor (Using Kazachya Bay, Sevastopol, as an Example). *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 27(1), pp. 5–13 (in Russian).
8. Klyonkin, A.A., Korpakova, I.G., Pavlenko, L.F. and Temerdashev, Z.A., 2007. [*Ecosystem of the Sea of Azov: Anthropogenic Pollution*]. Krasnodar: OOO «Prosveshchenie Yug», 323 p. (in Russian).
9. Emelyanov, V.A., Mitropolskiy, A.Yu., Nasedkin, E.I., Pasynkov, A.A., Stepanyak, Yu.D. and Shnyukova, E.E., 2004. [*Geoecology of the Ukrainian Black Sea Shelf*]. Kyiv: Akademperiodika, 293 p. (in Russian).
10. 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). *Physical Oceanography*, 25(6), pp. 479–488. doi:10.22449/1573-160X-2018-6-479-488
11. Tikhonova, E.A., Kotelyanets, E.A. and Gurov, K.I., 2019. Content of Organic Compounds and Trace Metals in Bottom Sediments of the Balaklava Bay (the Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 82–89. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-82-89 (in Russian).
12. Kotelyanets, E.A. and Konovalov, S.K., 2012. [Heavy Metals in Bottom Sediments of the Kerch Strait]. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, (4), pp. 50–60 (in Russian).
13. Ovsyanyi, E.I., Konovalov, S.K., Mitropol'skii, A.Yu. and Kotel'yanets, E.A., 2015. Organic Carbon and Carbonates in the Recent Bottom Sediments of the Kerch Strait. *Geochemistry International*, 53(12), pp. 1123–1133. <https://doi.org/10.1134/S0016702915120071>
14. Kotelyanets, E.A. and Konovalov, S.K., 2008. Distribution of Heavy Metals in Bottom Sediments of Feodosiya Bay. In: MHI, 2008. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 17, pp. 171–175 (in Russian).

*About the authors:*

**Ekaterina A. Kotelyanets**, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **WoS ResearchID: AAA-8699-2019**, [plistus@mail.ru](mailto:plistus@mail.ru)

**Konstantin I. Gurov**, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650**, **ResearchID: L-7895-2017**, [gurovki@gmail.com](mailto:gurovki@gmail.com)

*Contribution of the authors:*

**Ekaterina A. Kotelyanets** – study task and objective setting, study results processing and description, preparation of the initial paper version, conclusion drawing

**Konstantin I. Gurov** – literature data analysis, study results processing and description, construction of tables, charts, diagrams, paper text preparation

*The authors have read and approved the final manuscript.*