

## Экологические проблемы и природопользование

УДК 574 (262.5)

*Е.А. Котельянец, К.И. Гуров, Е.А. Тихонова, О.В. Соловьёва*

### НЕКОТОРЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА (НА ПРИМЕРЕ БУХТЫ КАЗАЧЬЯ, г. СЕВАСТОПОЛЬ)<sup>1</sup>

Казачья бухта (г. Севастополь) является примером черноморской акватории, которая, с одной стороны, на протяжении десятилетий рассматривалась как эталон для региональной характеристики, с другой – уровень антропогенного пресса на неё за последние годы увеличился, что повлекло за собой и увеличение количества загрязняющих веществ, попадающих в водоём. Цель данной работы – оценка экологического благополучия и загрязнения донных отложений б. Казачья на основании данных об их гранулометрическом составе, физико-химических показателях (рН, Eh, натуральная влажность), некоторых элементах химического состава (величины карбонатности, органического углерода, концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ, нефтяных углеводородов, микроэлементов (As, Ti, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn), характеризующих антропогенный пресс на акваторию. Установлено, что отложения, покрывающие дно исследуемой полузамкнутой акватории, разнообразны по фазовому и гранулометрическому составу. Особенности их распределения обуславливаются морфометрией бухты, с одной стороны, и хозяйственной деятельностью – с другой. В результате интенсификации различных природных и антропогенных процессов в акватории б. Казачья за многолетний период (2003–2015 гг.) в отдельных её частях значительно изменилось соотношение важных геохимических параметров. Дальнейшее увеличение доли мелкодисперсных фракций, обладающих повышенным сорбционным потенциалом, в конечном счёте может привести к накоплению в донных осадках различных загрязняющих элементов. Об интенсификации данного процесса свидетельствуют повышенные по сравнению с данными 2003 г. концентрации как хлороформ-экстрагируемых веществ, так и нефтяных углеводородов, а также некоторых металлов.

*Ключевые слова:* прибрежная акватория, донные отложения, органический углерод, карбонат кальция, тяжёлые металлы, хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды.

Казачья бухта (г. Севастополь) является примером черноморской акватории, которая, с одной стороны, на протяжении десятилетий рассматривалась как эталон для региональной характеристики, с другой – уровень антропогенного пресса на неё за последние годы увеличился, что повлекло за собой и увеличение количества загрязняющих веществ, попадающих в водоём. Для прибрежных акваторий с ограниченным водообменом и высоким уровнем антропогенной нагрузки донные отложения в силу своей консервативности могут быть индикатором экологического состояния региона. Поэтому представляет интерес оценка изменения качества донных осадков и уровня их загрязнения во времени (сравнение физико-химических параметров среды в 2015 г. с данными 2003 г.). В данном регионе именно после 2003 г. рядом исследователей отмечено ухудшение качества донных отложений [1].

Естественно предположить, что увеличение антропогенного воздействия на прибрежно-морскую экосистему б. Казачья, сопровождающееся накоплением органических веществ в донных отложениях, может привести к нарушению устойчивости процессов самоочищения морской среды и интенсификации процессов аккумуляции в них загрязняющих веществ, в том числе тяжёлых металлов, тем самым способствуя формированию устойчивых техногенных аномалий. Объёмы накопления поллютантов в донных осадках зависят от их гранулометрического состава, а содержание органического углерода в антропогенно нагруженной прибрежной акватории является одним из геохимических показателей, характеризующих состояние экосистемы [2]. То есть, размеры частиц морского грунта являются одним из важных факторов, влияющих на их адсорбционную и десорбционную способность. Илистая фракция отличается от карбонатных минералов большей подвижностью, а также состоянием неустойчивого равновесия, при незначительных изменениях гидродинамических условий она может переходить в воду в виде взвеси, тем самым являясь источником загрязнения [3].

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН МГИ по теме №0827-2014-0010, ФГБУН ИМБИ в рамках государственного задания «Создание методов и технологий оперативного контроля экологического состояния биоты, оценки и прогноза качества морской среды» (№ 1001-2014-0016).

Не менее важным показателем загрязнённости является содержание тяжёлых металлов, которые могут характеризовать уровень антропогенной нагрузки, с одной стороны, и стабильность работы системы – с другой. Кроме того, при выполнении анализа содержания металлов в донных отложениях различных участков акватории можно определить районы, которые различаются по антропогенной нагрузке, установить характерные особенности распределения металлов-токсикантов в зависимости от природных геохимических процессов и влияния человека.

С учётом вышеизложенного, целью данной работы стала оценка экологического благополучия и загрязнения донных отложений б. Казачья путём исследования их физических (гранулометрический состав, натуральная влажность) характеристик и некоторых элементов химического состава (Ph, Eh, карбонатность, органический углерод, концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ, нефтяных углеводородов, микроэлементов (As, Ti, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn), характеризующих в том числе и антропогенный пресс на акваторию.

### Материалы и методика исследований

Пробы донных отложений отбирались с помощью дночерпателя Петерсона в летний период 2003 и 2015 гг. (рис. 1) на 6-ти станциях в рамках многолетнего мониторинга отдела морской санитарной гидробиологии ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН» (ФГБУН ИМБИ). В свежееотобранных пробах определяли рН и Eh, натуральную влажность, в воздушно-сухих – количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) весовым методом и нефтяных углеводородов (НУ) методом ИК-спектрометрии.

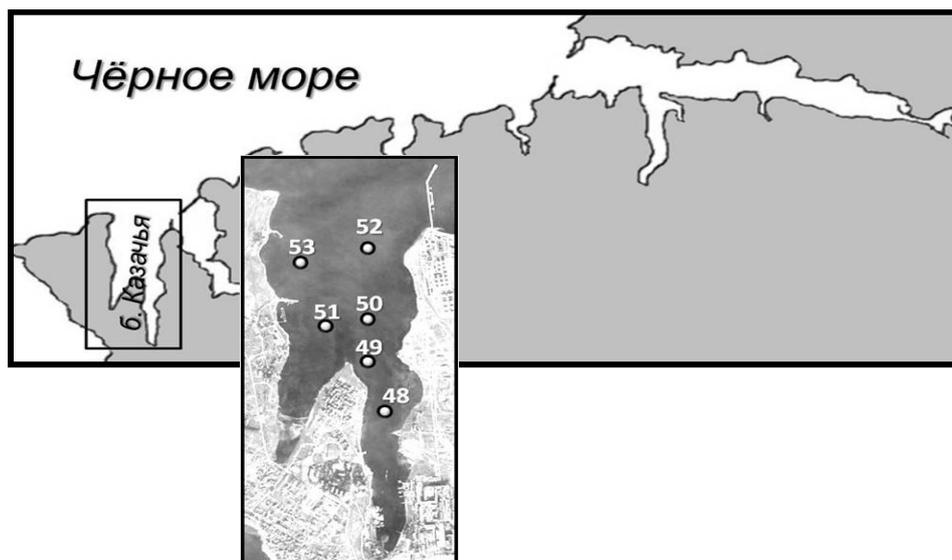


Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений в бухте Казачья

Для определения гранулометрического состава применялся комбинированный ситовой анализ (метод декантации и рассеивания)<sup>2</sup>. Содержание неорганического углерода (карбонатность) в пробе находили весообъёмным методом после разложения карбонатов соляной кислотой<sup>3</sup>. Концентрацию органического углерода в пробе определяли спектрофотометрическим методом после окисления органического вещества сульфохромной смесью<sup>4</sup>.

Содержание тяжёлых металлов (ТМ) (As, Ti, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn) определялось рентгенофлуоресцентным методом на приборе «Спектроскан МАКС –G» [4]. Так как для их содержания в морских донных отложениях в настоящее время не существует предельно допустимых концентраций

<sup>2</sup> ГОСТ 12536–2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2015. 19 с.

<sup>3</sup> ДСТУ ISO 10693–2001. Качество грунта. Определение содержания карбонатов. Объёмный метод (ISO 10693:1995, IDT). Киев: Держспоживстандарт Украины, 2002. 7 с.

<sup>4</sup> ДСТУ ISO 14235–2005. Качество грунта. Определение органического углерода сульфохромным окислением (ISO 14235:1998, IDT). Киев: Держспоживстандарт Украины, 2007. 10 с.

(ПДК), полученные значения принято сравнивать либо с величинами среднего содержания элементов в мелководных осадках Чёрного моря [5], либо с фоновыми значениями для изучаемых морских систем [6]. За период исследований было отобрано 12 проб, каждая в 3-х повторностях. Из отобранного материала сделано всего 240 определений. Каждый из исследуемых параметров в пробе определялся в одной повторности.

### Результаты и их обсуждение

В работе [1] показано, что в 2003 г. донные отложения исследуемой акватории представлены чёрными илами с большим количеством гниющей органики и запахом сероводорода, и илами с примесью песка. В дальнейшем состав морского осадка несколько изменился. В пробах, отобранных в 2015 г., отмечено резкое изменение органолептических свойств морского грунта, а именно нехарактерный запах и большое количество перегнившей органики. Данный факт вызвал интерес к более детальному исследованию как гранулометрического состава, так и физико-химических характеристик. Ранее [3] донные осадки б. Казачьей были представлены в основном мелкодисперсными илистыми фракциями. Отличительной особенностью эволюции гранулометрического состава донных отложений акватории за последние десятилетия является накопление истых фракций в кутовой части. Здесь в настоящее время содержание мелкозернистого материала достигает максимальных значений (60–63 %) (рис. 2, а). В центральной части бухты донные осадки представлены песчаными илами с включениями раковин и раковинного детрита (рис. 2, б), а отложения северного бассейна – песками.

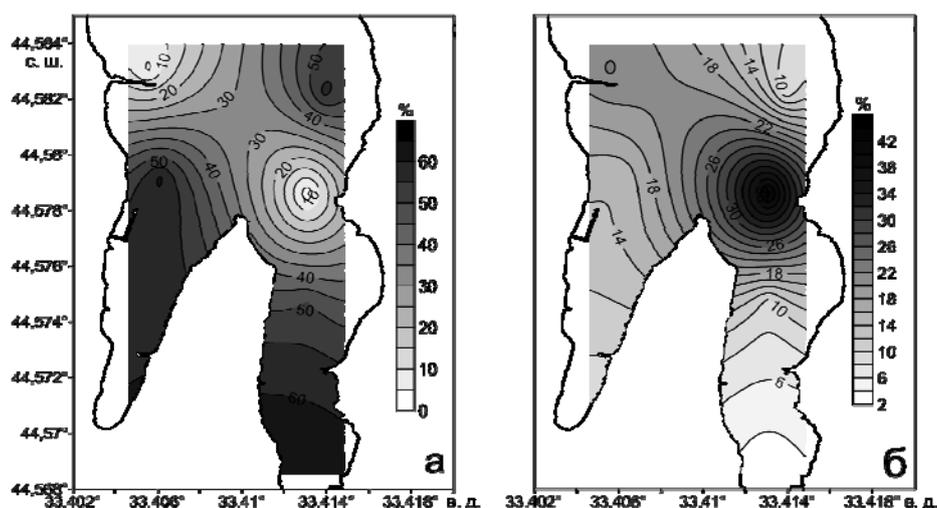


Рис. 2. Пространственное распределение истой (а) и гравийной (б) фракций в поверхностном слое донных отложений Казачьей бухты, 2015 г.

Физико-химические параметры, такие, как натуральная влажность, рН и Eh донных осадков акватории бухты в исследуемом временном промежутке оставались в среднем неизменными. Так, натуральная влажность соответствовала типу отложений: в илах в 2003 и в 2015 гг. составляла в среднем 76 %, в илах с примесью песка в 2003 г. – 48 %, в 2015 г. – 52 %. Eh в донных осадках в 2003 г., также как и в 2015 г., был в основном отрицательным (от –89 до –124 и от –159 до –223 мВ, соответственно), что характерно для истых отложений, за исключением ст. 52 в 2003 г. (+41 мВ) и ст. 53 (+9 мВ). В общем, в 2015 г. редокс-потенциал был несколько ниже, что может также свидетельствовать об увеличении доли истых фракций и изменении соотношения между окисленной минеральной составляющей донных отложений и органической, выступающей в роли восстановителя [7].

В истых донных осадках в 2015 г. по сравнению с 2003 г. был несколько заниженный рН 7,3–7,4, что может свидетельствовать о поступлении хозяйственно-бытовых стоков [8]. В песках и ракушняках исследуемой акватории он колебался в пределах 8–8,1.

Отмеченное ранее интенсивное накопление алевроито-пелитовых илов в последнее десятилетие (особенно в южной части бухты) также привело к повышению содержания органического углерода в осадках. Так, в исследуемой акватории концентрации данного параметра в настоящее время изменяют-

ся от 0,39 % в биогенных карбонатных осадках в северной части бассейна, прилегающей к открытой части моря, до 6,08 % в мелкозернистых алеврито-пелитовых илах в южной кутовой части (рис. 3, а).

Сравнительный анализ содержания  $C_{\text{орг}}$  в 2002 г. [3] с данными 2015 г. показал увеличение средних значений по акватории с 2,1 до 2,74 %, а в южной части с 0,8 до 6 % соответственно. То есть за последние 13 лет средние его концентрации на всём полигоне возросли в 1,5 раза, а в южной части бассейна – в 7,5 раз. Столь значительное увеличение доли органического вещества может определяться в том числе ростом антропогенной нагрузки на акваторию.

Для содержания карбоната кальция в донных отложениях бухты наоборот отмечается тенденция к уменьшению. В среднем по всей акватории его концентрация немного сократилась с 76,2 до 72,2 %, а в южном бассейне до 69,0 %, однако данные показатели не влияют на характеристику грунта (рис. 3, б). Известно [3], что повышенные значения карбонатности хорошо соотносятся с долей крупнозернистых фракций, представленными раковинами и раковинным детритом. Содержание же таких фракций в отобранных пробах 2015 г. крайне мало. Возможно, именно сокращение доли гравийного материала привело к некоторым изменениям концентрации  $\text{CaCO}_3$  в донных осадках бухты. Наиболее чётко данная зависимость прослеживается в илстой кутовой части акватории, где по сравнению с данными 2002 г. содержание  $\text{CaCO}_3$  уменьшилось в 1,5–2 раза.

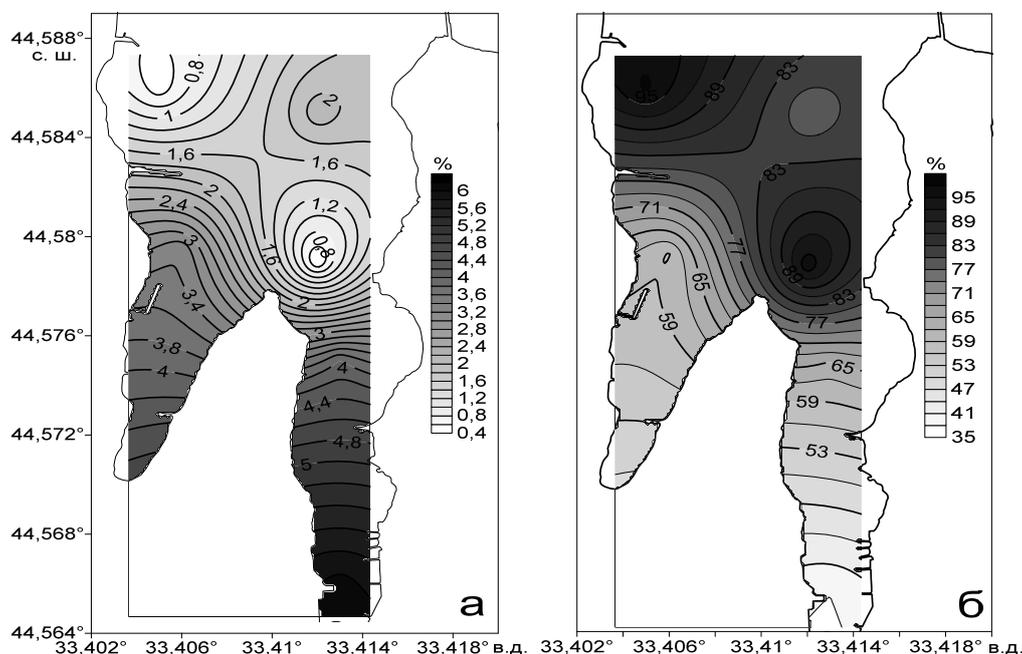


Рис. 3. Пространственное распределение содержания органического углерода (а) и карбоната кальция (б) в поверхностном слое донных отложений Казачьей бухты, 2015 г.

Таким образом, полученные результаты показали, что распределение  $C_{\text{орг}}$  (рис. 3) в поверхностном слое донных отложений определяется совместным влиянием как естественных (морфометрия бухты, гидродинамический режим, гидролого-гидрохимический режим, гранулометрический состав), так и антропогенных факторов (расширение селитебной зоны, увеличившаяся рекреационная активность на побережье). В свою очередь, в результате интенсификации антропогенного воздействия на акваторию бухты на протяжении последних 13 лет, в отдельных её частях значительно изменилось соотношение важных геохимических параметров. Дальнейшее накопление мелкодисперсных фракций, обладающих повышенным сорбционным потенциалом, и увеличение объёмов поступающих загрязняющих веществ в результате привели к накоплению в донных отложениях различных поллютантов, таких как хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды и тяжёлые металлы.

Загрязняющие вещества (ХЭВ, НУ, ТМ) распределены в донных отложениях бухты неравномерно. Достаточно высокие количества ХЭВ отмечены в осадках её вершины – ст. 48, 49 (рис. 4).

Концентрации ХЭВ в 2015 г. в донных отложениях б. Казачья колебались в широких пределах: в илах – от 108 до 560 мг/100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д.о.), в песках – от 60 мг/100 г до следовых количеств, что на некоторых участках превышало почти в 2 раза показатели 2003 г.

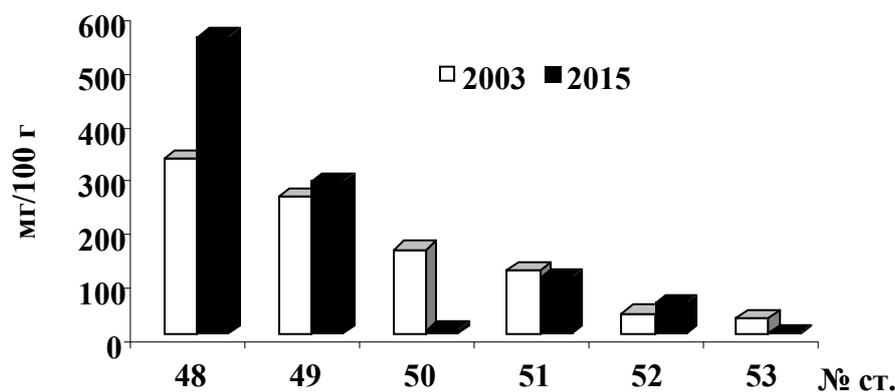


Рис. 4. Концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ, мг/100 г возд.-сух. д.о.) в донных отложениях б. Казачья в 2003 и 2015 гг.

Ранее нами было отмечено постепенное увеличение концентрации ХЭВ относительно показателей 2009 г. [1]. В настоящее время данная тенденция сохраняется для илистых отложений. Кроме того, если в 2003 г. максимальный зафиксированный уровень загрязнения морских грунтов Казачьей бухты по данному показателю [8] соответствовал III-му (ст. 48), то с 2009 г. и по сей день – IV-му (ст. 48). По остальной акватории он относился к I-III уровням. Исключение по сравнению с данными 2003 г. составила ст. 50 в середине исследуемой бухты, что связано с типом донных отложений. В данной точке в 2015 г. был отобран ракушняк с примесью гравия, что также затруднило определение ТМ в нём.

Распределение НУ соответствовало таковому для ХЭВ, где максимальные величины накапливаются в илах вершины бухты (рис. 5). При этом их концентрация в данном месте возросла в среднем в 1,8 раз по сравнению с данными 2003 г., что свидетельствует об усилении антропогенного воздействия на акваторию бухты и наличии постоянного источника органического загрязнения в этой её части.

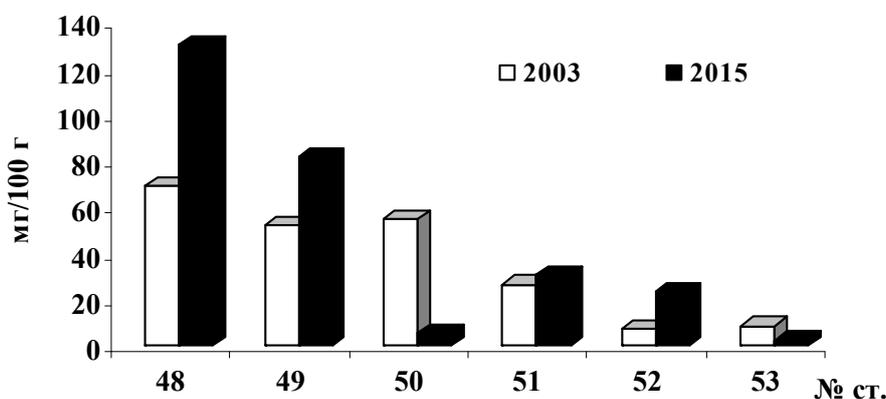


Рис. 5. Концентрации нефтяных углеводородов (НУ, мг/100 г возд.-сух. д.о.) в донных отложениях б. Казачья в 2003 и 2015 гг.

На центральных участках (ст. 50) и районе устья бухты (ст. 53) наибольшие концентрации НУ отмечены в 2003 г. В последующие годы их значения сократились. Это, вероятно, связано в первом случае с типом донных отложений, имеющих низкую сорбционную способность, а во втором – с местом расположения станции отбора проб. Данные станции находятся ближе к выходу из бухты, что увеличивает возможность рассеивания нефтепродуктов в открытое море и соответственно меньшее их количество осаждается на дно. На оставшихся участках (ст. 51, 52) содержание несколько увеличилось – со следовых количеств до 30,6 мг/100 г, что, с одной стороны, указывает на увеличение доли НУ, поступающих в акваторию бухты, с другой, – данный уровень соответствует I-му и не вызывает необратимых изменений в экосистеме.

Процентное соотношение НУ от ХЭВ в 2015 г. по сравнению с данными 2003 г. несколько увеличилось: в илистых донных отложениях с 21 % до 26 %, в песках – с 23 % до 34 %, что также указывает на увеличение доли НУ в общем объёме органического загрязнения.

Анализ полученных данных по содержанию ТМ в донных отложениях исследуемой акватории показывает, что загрязнение ими поверхностного слоя носит поэлементный характер и формируется, прежде всего, такими элементами, как мышьяк, цинк, кобальт (рис. 6).

Распределение цинка соотносится с распределением ХЭВ, что возможно связано с типом источника загрязнения, а именно увеличением как доли органических веществ, так и цинка за счёт неочищенных канализационных вод. Максимальное содержание цинка (176 мг/кг) в вершине бухты (ст. 48) в 3,5 раза превышает среднее содержание данного элемента в мелководных осадках Чёрного моря (табл.). Несмотря на существование естественных причин его поступления, таких как разложение отмирающих организмов (животные и растения), полученные результаты и отмеченное характерное распределение всё-таки указывают на преобладание антропогенного фактора.

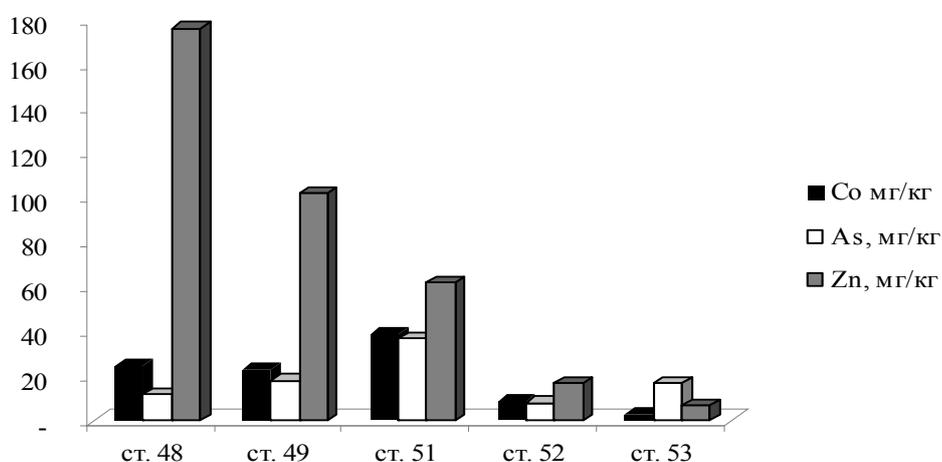


Рис. 6. Содержание мышьяка, кобальта, цинка в донных отложениях б. Казачья в 2015 г.

Концентрации мышьяка и кобальта в вершине бухты были достаточно высокими, но не максимальными. Максимальные же величины обоих металлов отмечены на ст. 51, находящейся ближе всего к побережью, которое в последнее время интенсивно эксплуатируется в качестве баз отдыха. На данном участке максимальное содержание мышьяка незначительно превышает среднее содержание в мелководных осадках Чёрного моря и составляет 37 мг/кг [5]. Его накопление может также происходить за счёт химических процессов в воде и осаждения с тонкопелитовыми частицами взвеси [6]. А вот максимальное содержание кобальта (39 мг/кг) превышает почти в 2,5 раза среднее содержание [6].

#### Содержание в донных отложениях некоторых металлов в прибрежных загрязнённых акваториях Севастопольского региона

Металл, мг/кг	Район				Содержание в осадках шельфа [5]
	б. Севастопольская, 2009 г. [3]	б. Казачья, 2003 г. [9]	б. Казачья, 2015 г.	б. Балаклавская, 2005 г. [3]	
Cr	47,3–121,6	44,7–105,3	48–95	41,7–87,2	45-90
Co	4,7–39,3	9,2–24,3	9–39	2,5–20,4	14,0
Ni	20,9–63,2	4,6–47,5	13–35,5	15,4–43,3	42,0
Zn	46,9–578,8	16,3–171,4	17–176	29,2–359,1	48,0
Pb	1,4–500,6	19,8–20,0	9	15,8–504	–
As	0,02–105,7	0,0–7,6	8–37	2,5–98,4	36,0
Sr	113–617	598–2152	462–2677	117–1214	–

Сравнительный анализ данных, полученных в 2002–2003 и 2015 гг. (табл.) показал, что содержание тяжёлых металлов в донных отложениях бухты Казачья практически не отличается [9]. Исключение составляет мышьяк. Сопоставление содержания As (2015 г.) в донных отложениях с данными, полученными в 2002–2003 гг., что за последние 13 лет максимальная концентрация данного микроэлемента увеличилась в 4,5 раза (табл.). При этом его содержание мало по сравнению со средним в донных осадках Чёрного моря. Поэтому такие малые концентрации являются фоновыми для исследуемого региона и накапливаются вследствие естественных процессов. Например, при разложении живых организмов. Известно, что As может усваиваться гидробионтами, что особенно интенсивно отмечалось в период бурного развития планктона.

## Выводы

1. В результате интенсификации различных природных и антропогенных процессов в акватории б. Казачьей за многолетний период (2003–2015 гг.) в отдельных её частях значительно изменилось соотношение важных геохимических параметров. Дальнейшее увеличение доли мелкодисперсных фракций, обладающих повышенным сорбционным потенциалом, в конечном счёте может привести к накоплению в донных осадках различных загрязняющих элементов. Об интенсификации данного процесса свидетельствуют повышенные по сравнению с данными 2003 г. концентрации как ХЭВ, так и НУ, а также некоторых металлов.

2. Отложения, покрывающие дно исследуемой полузамкнутой акватории, разнообразны по фракционному и гранулометрическому составу. Особенности их распределения обуславливаются морфометрией бухты с одной стороны и хозяйственной деятельностью – с другой.

3. По всей акватории исследуемой бухты происходит перераспределение концентраций исследуемых микроэлементов в донных отложениях, обусловленное изменением гидродинамического режима водоёма и геохимическими условиями района исследования. Изменение состава осадка, возможно, связано с влиянием таких процессов как заморы, цветение воды и т. д., а также деятельностью человека, в результате которой непосредственно без очистки в окружающую среду поступают органические стоки. Характерным источником загрязнения по берегам бухты является малоэтажная застройка, как правило, не имеющая санитарно-гигиенического обустройства, централизованной системы канализации и очистных сооружений.

4. Формирование зон максимального накопления в кутовой части бухты тонкодисперсного органо-минерального материала и связанных с ним микроэлементов обусловлено как спецификой гидродинамического режима, определяющего особенности условий распространения и трансформации потоков осаждающихся веществ, так и наличием постоянно действующего источника органического загрязнения.

## Благодарность

Авторы выражают глубокую благодарность научному сотруднику отдела биогеохимии моря ФГБУН МГИ, Е.И. Овсяному, оказавшему содействие в проведении исследований и подготовке статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёмов С.В., Тихонова Е.А. Характеристика донных осадков и макрозообентоса б. Казачья в первой декаде XXI века // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. Т. 1. Вып. 26. С. 38-50.
2. Орехова Н.А., Коновалов С.К., Овсяный Е.И. Изменение геохимических характеристик в донных осадках крымского побережья // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 27. С. 284-288.
3. Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Чёрное море) / А.С. Романов, Н.А. Орехова, О.Г. Игнатьева и др. // Экология моря. 2007. Вып. 73. С. 85-90.
4. 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.
5. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И. Геохимия Чёрного моря. Киев: Наукова думка, 1982. 114 с.

6. Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Наседкин Е.И. и др. Геоэкология Черноморского шельфа Украины. Киев: Академперіодика, 2004. 143 с.
7. Белкина Н.А. Изменение процессов окислительно-восстановительного диагенеза донных отложений Онежского и Ладожского озёр под воздействием антропогенных факторов: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Петрозаводск, 2003. 20 с.
8. Миронов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Чёрного моря // Гидробиол. журн. 1986. Т. 22, № 6. С. 76-78.
9. Игнатъева О.Г., Орехова Н.А., Романов А.С., Котельянец Е.А. Физико-химические характеристики донных отложений бухты Казачьей (Черное море) как показатели ее экологического состояния // Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2005. Т. 18 (58), №2. С. 43-48.

Поступила в редакцию 31.01.2017

*E.A. Kotelyanets, K.I. Gurov, E.A. Tikhonova, O.V. Solov'eva*

**SOME GEOCHEMICAL INDICATORS OF SEA BOTTOM SEDIMENTS IN COASTAL WATERS UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENOUS FACTOR (USING KAZACHYA BAY, SEVASTOPOL, AS AN EXAMPLE)**

Kazachya bay (Sevastopol, Black sea) is an example of a water area which, on the one hand, has been considered to be a standard for the regional characteristics for decades, on the other hand, in recent years the level of anthropogenic pressure has increased, which entailed an extension in the amount of pollutants getting into the water body. The aim of this work is to evaluate the ecological well-being and dynamics of pollution in sediments of Kazachya bay on the basis of the particle size distribution of the bottom sediments, physical and chemical parameters (pH, Eh, natural moisture), some elements of the chemical composition (amount of carbonate, organic carbon concentration, chloroform-extracted substances, petroleum hydrocarbons, trace elements (As, Ti, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn)), which characterize the anthropogenic pressure on the water area. It was found that the sediments covering the bottom of the studied semi-closed water area, varied in phase and particle size distribution. Features of distribution are caused by morphometry of the bay, on the one hand, and by economic activity, on the other. As a result of the intensification of various natural and anthropogenic processes in the water area of Kazachya bay in a long-term period (2003–2015), the ratio of important geochemical parameters has changed significantly in the individual parts of the water body. A further increase in the share of fine fractions having high sorption capacity, ultimately, can lead to accumulation of various pollutants in the sediments. The fact that the concentrations of chloroform-extracted substances, petroleum hydrocarbons and some metals have increased as compared with those in 2003 is indicative of an intensification of this process.

*Keywords:* coastal waters, sediments, organic carbon, calcium carbonate, heavy metals, chloroform-extractable substance, petroleum hydrocarbons.

REFERENCE

1. Aljomov S.V. and Tihonova E.A. [Characteristics of bottom sediments and macrozoobenthos of the Kazachya bay in the first decade of the XXI century], in *Ekologicheskaja bezopasnostj pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, 2012, iss. 26, vol. 1, pp. 38-50 (in Russ).
2. Orehova N.A., Konovalov S.K. and Ovsjanyj E.I. [Changes of the Crimean coast bottom sediments geochemical characteristics], in *Ekologicheskaja bezopasnostj pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopolj: EKOSI-Gidrofizika, 2013, iss. 27, pp. 284-288 (in Russ).
3. Romanov A.S., Orehova N.A., Ignat'eva O.G. i dr. [Influence of physical and chemical characteristics of sediments to the distribution of trace elements on the example of the Sevastopol bays of (Black Sea)], in *Ekologija morja*, 2007, iss. 73, pp. 85-90 (in Russ).
4. *Metodika vypolnenija izmerenij massovoj doli metallov i oksidov metallov v poroshkovyh probah pochv metodom rentgenofluorescentnogo analiza, reglamentirovannaja v dokumente M049-P/02* [Methodic of the mass fraction of metals and metal oxides in powder soil samples measurement by means of X-ray fluorescence analysis, regulated in the document M049-P / 02], SPb.: OOO "Spektron", 2002, 16 p. (in Russ).
5. Mitropol'skij A.Ju., Bezborodov A.A. and Ovsjanyj E.I. *Geohimija Chjornogo morja* [Geochemistry of the Black Sea], Kiev: Naukova dumka, 1982, 114 p. (in Russ).
6. Emel'janov V.A., Mitropol'skij A.Ju., Nasedkin E.I. i dr. *Geoekologija Chernomorskogo shel'fa Ukrainy* [Geoecology of the Ukrainian Black Sea shelf], Kiev: Akademperіodika, 2004, 143 p. (in Russ).
7. Belkina N.A. [Change in sediments redox diagenesis process of Onega and Ladoga lakes under the influence of anthropogenic factors], Abstract of diss. Cand. Biol. sci., Petrozavodsk, 2008, 20 p. (in Russ).
8. Mironov O.G., Milovidova N.Ju. and Kirjuhina L.N. [About the maximum permissible concentrations of oil in the bottom sediments of the Black Sea coastal zone], in *Gidrobiol. zhurnal*, 1986, vol. 22, no. 6, pp. 76-78 (in Russ).

9. Ignat'eva O.G., Orehova N.A., Romanov A.S. and Kotel'janec E.A. [Physico-chemical characteristics of seabed sediments of Kazachya Bay (Black Sea) as indicators of its ecological status], in *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Ser. biologija, himija*, 2005, vol. 18 (58), no.2, pp. 43-48 (in Russ).

Котельянец Екатерина Александровна,  
младший научный сотрудник отдела гидрофизики шельфа  
E-mail: plistus@mail.ru

Гуров Константин Игоревич,  
инженер-исследователь отдела биогеохимии моря  
E-mail: kostya-gurow@mail.ru

Морской гидрофизический институт РАН  
2990011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Тихонова Елена Андреевна,  
кандидат биологических наук, старший научный  
сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии  
E-mail: tihonoval@mail.ru

Соловьёва Ольга Викторовна,  
кандидат биологических наук, старший научный  
сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии  
E-mail: kozl\_ya\_oly@mail.ru

Институт морских биологических исследований  
имени А.О. Ковалевского РАН  
299011, Россия, г. Севастополь, ул. Проспект Нахимова, 2

Kotelyanets E.A.,  
junior researcher of Department of shelf hydrophysics  
E-mail: plistus@mail.ru

Gurov K.I., research engineer  
of Department of marine biogeochemistry  
E-mail: kostya-gurow@mail.ru

Marine hydrophysical institute RAS  
Kapitanskaya st. 2, Sevastopol, Russia, 299011

Tikhonova E.A.,  
Candidate of Biology, senior researcher  
at Department of marine sanitary hydrobiology  
E-mail: tihonoval@mail.ru

Soloveva O.V.,  
Candidate of Biology, senior researcher  
at Department of marine sanitary hydrobiology  
E-mail: kozl\_ya\_oly@mail.ru

The A.O. Kovalevsky Institute  
of Marine Biological Research of RAS  
Nakhimova ave., 2, Sevastopol, Russia, 299011