

Е. А. Тихонова¹, Е. А. Котельянец², Н. Г. Волков¹

¹*Институт морских биологических исследований
им. А. О. Ковалевского РАН, г. Севастополь*

²*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ НА ПРИМЕРЕ СТРЕЛЕЦКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Проведена оценка динамики загрязнения донных отложений портовой акватории за многолетний период (2003 – 2015 гг.) по основным классам загрязняющих веществ: концентраций хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ), нефтяных углеводородов (НУ) и тяжёлых металлов (ТМ). Исследованные группы веществ распределены по бухте неравномерно: повышенное содержание как ХЭВ, так и НУ отмечено в вершине и центральной части акватории, пониженные – на выходе из неё. Выявлена достоверная зависимость снижения концентраций НУ в донных отложениях с 2003 г., для ХЭВ подобная связь отсутствует. Загрязнение морских грунтов ТМ бух. Стрелецкой носит поэлементный характер.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *загрязнение, донные отложения, хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, тяжёлые металлы, бух. Стрелецкая, Чёрное море*

doi:10.22449/2413-5577-2018-1-74-80

Известно, что акватории бухт и эстуариев являются зонами устойчивого загрязнения морских экосистем [1]. В них загрязняющие вещества также распределяются неравномерно, образуя зоны повышенных уровней загрязнения: в эвфотическом слое, фронтальных зонах и поверхностном слое донных осадков [1].

Накопление токсичных металлов в донных отложениях осуществляется за счет седиментации взвешенных веществ (гравитационного осаждения), сорбционных процессов на границе раздела вода – осадок и биогенной седиментации. Таким образом, донные отложения служат своеобразным отражением процессов, протекающих в водной толще акватории. Донные отложения являются также средой обитания бентосных организмов, благополучие которых характеризует экосистему акватории. Исключением не являются и портовые акватории севастопольского региона. Так, бухта Стрелецкая, которая располагается в юго-западном районе Севастополя и глубоко вдаётся в береговую линию, эксплуатируется в качестве причала маломерных судов и порта. Также на её берегах размещается большое количество новостроек, жилых домов и эллингов, а в вершинной части располагается источник пресной воды. Общая протяжённость бухты составляет 2,2 км, ширина на выходе – 420 м. Антропогенная нагрузка на данную бухту, в сравнении с центральной Севастопольской, невелика, но всё же она характеризуется как сильнозагрязнённая [3]. Кроме того, на усиление действия человеческого фактора на акваторию бух. Стрелецкая в последнее десятилетие

тия, по мнению тех же авторов [3], указывает отсутствие осколков раковин в верхних горизонтах донных отложений. То есть вследствие загрязнения бентосные сообщества претерпевали ряд изменений. Наши исследования показывают, что данная бухта занимает лидирующее место по загрязнению донных отложений органическими веществами, в том числе нефтяными углеводородами, в системе портовых акваторий региона, уступая бухтам Севастопольская и Южная [4, 5]. Если рассматривать исследованную акваторию во временном аспекте, как отмечено в [6], в 80-х гг. (особенно в 1988 г.) выявлены самые высокие концентрации НУ в морских грунтах. В период с 90-х по 2000-е гг. данные показатели снизились, что автор связывает с экономическим спадом в стране и соответственно снижением активности портов. В период с 2003 по 2009 гг. содержание НУ в донных отложениях превышает данные 90-х гг. в 1,2 – 1,5 раза [6] и до настоящего времени остаётся стабильным. Но в последнее время происходит перераспределение антропогенной нагрузки и её источников в акватории бухты. Интенсивно происходит застройка берегов, активнее эксплуатируется дорога, расположенная вдоль берегов, в большей степени используется маломерный флот, а портовая нагрузка несколько снижена.

Кроме описанных выше поллютантов, в донных отложениях аккумулируются и тяжелые металлы, большинство из которых активны, обладают высокой токсичностью и способны к накоплению [7]. Они могут оказывать влияние не только на отдельную особь в частности, но и на бентосную популяцию в целом [4]. Поэтому необходимым в экологической характеристике загрязнения донных отложений является определение концентраций тяжёлых металлов (ТМ) и их распределения.

С учётом вышеописанного, целью работы стала оценка степени загрязнения донных отложений бух.Стрелецкой по основным классам загрязняющих веществ: концентрации ХЭВ, НУ и ТМ (*As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Sr, Fe, Mn*) и анализ многолетней динамики (в период с 2003 по 2015 гг.).

Материал и методика исследований. Пробы донных отложений отбирали на пяти станциях (ст.27 – 30, рис.1) в бух.Стрелецкой с помощью дно-

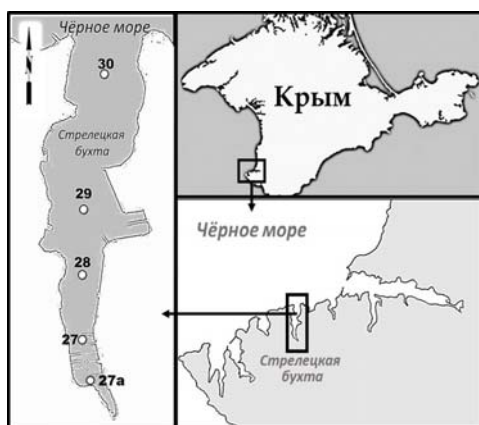


Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений в бух.Стрелецкой.

черпателя Петерсона в рамках многолетнего мониторинга отдела морской санитарной гидробиологии ФГБУН Института морских биологических исследований РАН (2003 – 2015 гг.).

В 2014 г. дополнительно проводился отбор в вершине бухты на малых глубинах, где в большей степени концентрируются загрязняющие вещества (ст.27а). В свежееотобранных пробах проводили определение рН, Eh с помощью рН-метра-термометра «Нитрон-рН». В лабораторных условиях определяли натуральную влажность весовым методом.

В соответственно подготовленных воздушно-сухих пробах донных осадков определяли количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) весовым методом и нефтяных углеводородов (НУ) методом ИК-спектрометрии на спектрофотометре «ФСМ-1201» [8].

Содержание тяжёлых металлов (ТМ) (*As, Ti, Zn, Ni, Cr, Sr, Fe, Mn*) определялось рентгенофлуоресцентным методом на приборе «Спектроскан МАКС-G» [9]. Так как для их содержания в морских донных отложениях в настоящее время не существует предельно допустимых концентраций (ПДК), полученные значения принято сравнивать либо с величинами среднего содержания элементов в мелководных осадках Чёрного моря [10], либо с фоновыми значениями для изучаемых морских систем [11].

Результаты и обсуждение. Донные отложения в 2015 г. в вершине и центральной части бухты представлены чёрными или тёмно-серыми илами с большим количеством гниющей органики (ст.29), запахом сероводорода (ст.27а – 30) и/или с примесью песка. Сопряжённая с гранулометрическим составом натуральная влажность увеличивалась с 48,7 % в илах с примесью песка до 68,2 % в илах, рН колебался от 7,58 до 7,79. Илы были восстановленными в вершине и центральной части бухты (от – 61 до – 141 мВ) и снижались до – 186 мВ на выходе из неё. То есть в иловых отложениях сформировались резко восстановительные условия, благоприятные для анаэробных микробиальных процессов и препятствующие разложению органического вещества [12].

Загрязняющие вещества распределены в донных осадках исследованной акватории неравномерно. Достаточно высокие количества ХЭВ отмечаются в осадках вершины бухты (ст.27а), где их концентрация в 2014 г. составляла 2300 мг/100 г возд.-сух. д. о. В разные периоды данный показатель колебался в более широких пределах нежели НУ, что говорит об интенсивном поступлении органических веществ. Этот факт также подтверждается изменением физико-химических показателей, которые благоприятствуют накоплению ХЭВ в донных осадках. Данный факт может быть связан как с сезоном отбора проб (увеличение массы макрофитов, цветение воды и т.д.), так и с усилением антропогенной нагрузки в исследуемом районе города, в частности, – интенсификацией застройки береговой полосы коммунальными и гостинично-туристическими комплексами.

Т а б л и ц а 1. Многолетние данные по концентрации ХЭВ и НУ в донных отложениях бух.Стрелецкой (2003 – 2015 гг.).

год	содержание ХЭВ, мг/100 г		содержание НУ, мг/100 г		процентное отношение НУ от ХЭВ, %	
	пределы колебаний	среднее значение	пределы колебаний	среднее значение	пределы колебаний	среднее значение
2003	640 – 1960	1283	160 – 1170	705	25 – 62	51
2006	380 – 2020	1425	130 – 970	741	34 – 58	49
2009	93 – 2900	1493	36 – 876	557	30 – 49	40
2012	116 – 2300	1349	38 – 881	560	33 – 49	40
2015	200 – 1560	975	105 – 700	360	28 – 53	40

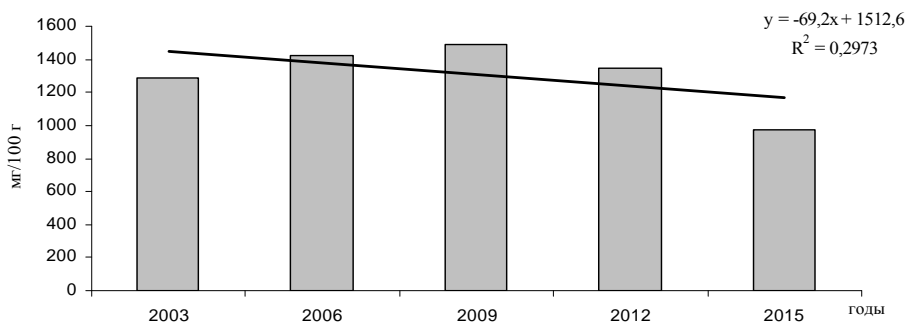


Рис. 2. Многолетний тренд содержания хлороформ-экстрагируемых веществ (мг/100 г возд.-сух. в-ва) в донных отложениях Стрелецкой бухты (2003 – 2015 гг.).

В среднем по бухте концентрация ХЭВ в 2015 г. составляла 975 мг/100 гвозд.-сух. д. о., что ниже ранее полученных показателей (табл.1). Можно говорить о некотором уменьшении количества ХЭВ по сравнению с 2009 г., однако четкой тенденции за весь период исследований не отмечено (рис.2). Отсутствие явной зависимости может свидетельствовать о том, что поступление органических веществ в донные отложения в большей степени является следствием естественных причин, нежели антропогенного воздействия. Максимальные величины, как и ранее, отмечены в вершине и центральной частях акватории, минимальные – на её выходе.

Не смотря на некоторое снижение ХЭВ в донных отложениях, максимальный уровень загрязнения Стрелецкой бухты остался, как и в более ранних исследованиях (VI-ом из V-ти описанных [13]).

Концентрации НУ колебалась в меньших пределах и составляли в 2015 г. в среднем 360 мг/100 г возд.-сух. в-ва. В период с 2003 г. до настоящего времени выявлено достоверное снижение их содержания в морских грунтах бух.Стрелецкая (рис.3). Так, если ранее, до 2012 г. на некоторых станциях отмечалось увеличение доли НУ [14], а в 2000 – 2003 гг. загрязнённость нефтепродуктами акватории прослеживалась визуально в виде радужных пятен [4], то при последнем отборе проб данные факты не выявлены.

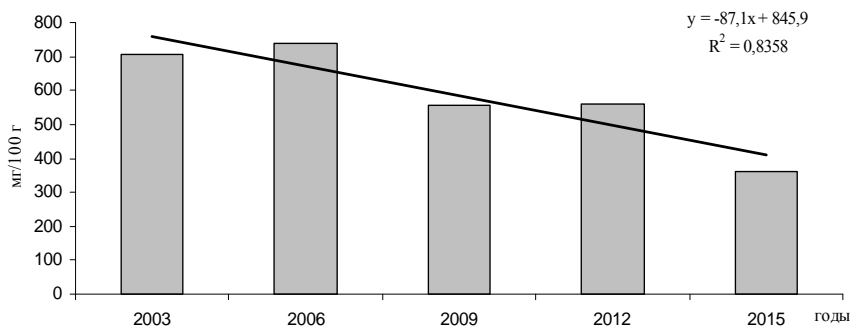


Рис. 3. Многолетний тренд содержания нефтяных углеводородов (мг/100 г возд.-сух. в-ва) в донных отложениях Стрелецкой бухты (2003 – 2015 гг.).

Таблица 2. Валовое содержание тяжёлых металлов (массовая доля, мг/кг) в донных отложениях Стрелецкой бухты в 2015 г.

элемент	пределы колебаний		средние значения	содержание в осадках шельфа [10]
	минимум	максимум		
<i>Zn</i> , мг/кг	51	122	84	48
<i>Ni</i> , мг/кг	26	32	28	42
<i>Cr</i> , мг/кг	49	63,4	58	45 – 90
<i>As</i> , мг/кг	4	50	17	36
<i>Sr</i> , мг/кг	120	309	236	–
<i>TiO</i> , %	0,127	0,197	0,168	0,6 – 0,8
<i>Fe₂O₃</i> , %	0,747	1,357	1,023	5,08
<i>MnO</i> , %	0,012	0,017	0,015	0,38

Средние величины доли НУ от ХЭВ с 2009 г. остаются постоянными и составляют 40 % (табл.1). Полученные результаты, возможно, связаны с уменьшением количества активно эксплуатируемых судов в акватории бухты и с увеличением требований экологической безопасности к их владельцам.

Результаты определения валового содержания тяжёлых металлов в поверхностном слое донных отложений исследованной бухты представлены в табл.2. Анализ полученных данных показывает, что загрязнение донных осадков ТМ носит поэлементный характер. Оно формируется, прежде всего, такими металлами как мышьяк, цинк.

В донных отложениях были отмечены повышенные содержания цинка (табл.2). Известно [11], цинк является «универсальным загрязнителем», входящим в состав техногенных потоков почти всех источников. Вследствие данного факта, полученные результаты и отмеченное характерное распределение исследуемого элемента, скорее всего, связано с антропогенным фактором.

Повышение содержаний мышьяка имеет фрагментарный характер и его максимальные концентрации составляют 50 мг/кг на выходе из бухты (ст.30), что в 1,5 раза превышает содержание данного элемента в мелководных осадках Чёрного моря [11].

Сравнительный анализ данных показывает, что содержание остальных исследуемых микроэлементов (*Pb*, *Ni*, *Cr*, *Sr*, *TiO*, *Fe₂O₃*, *MnO*) в донных отложениях бух.Стрелецкая не превышают концентрации данных элементов в донных осадках бухт Севастопольская [15], Казачья [16] и Балаклавская [15].

Закключение. Исследованные группы веществ распределены по бухте неравномерно: повышенное содержание как ХЭВ, так и НУ отмечено в вершине и центральной части акватории, пониженные – на выходе из неё. Выявлена достоверная тенденция снижения концентраций НУ в донных отложениях с 2003 г., для ХЭВ подобная связь отсутствует, однако с 2009 г. также прослеживается некоторое их уменьшение. Но максимальный уровень загрязнения донных осадков соответствует ранее зафиксированному VI-ому уровню, за исключением вершинной части акватории. В первой по-

ловине исследованного временного периода отмечено снижение средних показателей доли НУ от ХЭВ, тогда как с 2009 г. они остаются постоянными и составляют 40 %.

Выявленное содержание ТМ в морских грунтах бух. Стрелецкой носит поэлементный характер и формируется, прежде всего, такими металлами как мышьяк и цинк. Однако, полученные показатели по содержанию микроэлементов в бух. Стрелецкой не превышают аналогичных показателей для других портовых акваторий севастопольского региона.

Работа выполнена в рамках государственных заданий: ФГБУН ИМБИ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ АААА-А18-118020890090-2.) и ФГБУН МГИ «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование прибрежных зон Черного и Азовского морей» (№ 0827-2018-0004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов А.С., Орехова Н.А., Игнатъева О.Г., Коновалов С.К., Овсянный Е.И. Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Чёрное море) // Экология моря.– 2007.– т.73.– С.85-90.
2. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Дивавин И.А. Санитарно-биологические исследования в Чёрном море.– СПб.: Гидрометеиздат, 1992.– 115 с.
3. Пименов Н.В., Егоров В.Н., Канапацкий Т.А., Малахова Т.В., Артемов Ю.Г., Сигалевич П.А., Малахова Л.В. Микробные процессы цикла метана и сульфатредукция в осадках акватории севастопольских бухт // Микробиология.– 2013. – т.82, № 5.– С.614-624.
4. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алёмов С.В. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– 185 с.
5. Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / Под общей ред. О.Г.Миронова.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– 192 с.
6. Осадчая Т.С. Нефтяные углеводороды в донных осадках прибрежных акваторий г.Севастополя (Чёрное море) // Scientificworld [Электронный ресурс], 2013. <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/biology-313/ecology-and-biotechnology-313/18546-313-0419>
7. Кадошников В.М., Шкапенко В.В., Горлицкий Б.А., Писанская И.Р., Смирнова Ю.Д. Тяжёлые металлы в донных отложениях Севастопольской бухты // Минералогический журнал.– 2011.– 33, № 4.– С.73-79.
8. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С.Г.Ордовского.– Л.: Гидрометеиздат, 1977.– С.118-131.
9. 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.
10. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсянный Е.И. Геохимия Чёрного моря.– Киев: Наукова думка, 1982.– 144 с.
11. Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Наседкин Е.И. и др. Геоэкология Черноморского шельфа Украины.– Киев: Академперіодика, 2004.– 141 с.

12. *Даувальтер В.А.* Исследование физического и химического состава донных отложений при оценке экологического состояния водоёмов: Учеб. пособие по дисциплине «Геохимия окружающей среды» для направления 511100 «Экология и природопользование» и специальности 013600 «Геоэкология». – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2006. – 84 с.
13. *Мионов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н.* О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Чёрного моря // Гидробиологический журнал. – 1986. – т.22. № 6. – С.76-78.
14. *Дорошенко Ю.В., Тихонова Е.А.* Анализ химико-микробиологических показателей донных осадков прибрежных акваторий Севастополя (на примере Стрелецкой бухты) // Междунар. научн. конф. «Современное состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России». пгт. Кацивели, 15-18 сентября 2014 г. – Севастополь: МГИ, 2014. – С.119-121.
15. *Романов А.С., Орехова Н.А., Игнатъева О.Г. и др.* Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Чёрное море) // Экология моря. – 2007. – вып.73. – С.85-90.
16. *Игнатъева О.Г., Орехова Н.А., Романов А.С., Котельянец Е.А.* Физико-химические характеристики донных отложений бухты Казачьей (Чёрное море) как показатели ее экологического состояния // Учен. зап. Таврического нац. ун-та им. В.И.Вернадского. Сер. Биология, химия. – 2005. – т.18 (58), № 2. – С.43-48.

Материал поступил в редакцию 30.01.2018г.
После доработки 20.02.2018г.

E.A.Tikhonova, E.A.Kotelyanets, N.V.Volkov

CHARACTERISTIC OF POLLUTION OF THE BOTTOM DEPOSITS IN THE COASTAL AREA OF SEVASTOPOL ON THE EXAMPLE OF THE STRELETSKAYA BAY (THE BLACK SEA)

For a long period (2003 – 2015) the dynamics of pollution of the bottom sediments in the port water area is assessed for the main classes of pollutants: concentrations of chloroform-extractable substances (CES), petroleum hydrocarbons (PH) and heavy metals (HM). The investigated groups of substances are distributed unevenly along the bay: the increased content of both CES and PH is noted at the apex and central part of the water area, lowered ones – at the outlet. A reliable dependence of the PH concentration decrease in bottom sediments has been revealed since 2003, for CES such connection is absent. Pollution of marine soils by HM in the Streletskaia Bay has element character.

KEYWORDS: pollution, bottom sediments, chloroform-extractable substances, petroleum hydrocarbons, heavy metals, the Streletskaia Bay, the Black Sea