



УДК 628.193:665.61:551.35(262.5)

Е. А. Тихонова, канд. биол. наук, н. с.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ДОННЫХ ОСАДКОВ БУХТЫ КРУГЛАЯ (СЕВАСТОПОЛЬ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Актуальность исследования загрязнения бухты Круглая обусловлена неблагоприятной обстановкой в её акватории в сезоны с усиленным антропогенным прессом и условиями среды, благоприятными для активизации процессов роста биологических объектов. Особенно это касается загрязнения органическими веществами, как от аварийных источников, так и при естественных процессах жизнедеятельности населяющих биотопы организмов. Конечным пунктом миграции и осаждения этих веществ являются донные осадки, анализ которых даёт возможность представить устойчивую картину загрязнения. Поэтому целью работы стала оценка многолетних изменений состояния донных осадков в бухте Круглая. Материалом для исследования послужили пробы донных осадков, отобранные в бухте Круглая дночерпателем Петерсена. В подготовленном соответствующим образом воздушно-сухих пробах находили общее количество хлороформ-экстрагируемых веществ – весовым методом, нефтяных углеводородов – методом инфракрасной спектроскопии. В результате анализа многолетней динамики загрязнения органическими веществами донных осадков бухты Круглая (Севастополь, Чёрное море) в период 2006–2015 гг. выявлены его неравномерное распределение по акватории бухты и явная приуроченность к источникам загрязнения. Наиболее чистой является центральная часть акватории, а наиболее загрязнённой – вершина бухты, где на отдельных точках степень загрязнения достигает IV уровня. Об интенсивном накоплении загрязняющих веществ на станции 01 свидетельствуют высокие концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ (на самой станции – 900, в прибрежных наносах вблизи станции – $620 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ воздушно-сухого донного осадка). Таким образом, отмечено общее снижение концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ за весь период исследований, за исключением станции 02, но доля нефтяных углеводородов выше по всей акватории вершины б. Круглой.

Ключевые слова: хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, донные осадки, бухта Круглая, Чёрное море.

Бухта Круглая, или как ее часто называют, бухта Омега, – одна из небольших мелководных полузамкнутых бухт, которая непосредственно соприкасается с городскими массивами г. Севастополя и является наиболее эксплуатируемой рекреационной зоной (здесь находится второй по посещаемости городской пляж). Из-за интенсивной застройки антропогенная нагрузка на бухту из года в год возрастает. Кроме того, в мелководную кутовую часть бухты со всей водосборной площади, составляющей

примерно около 500 га, в период дождей и таяния снега поступают поверхностные воды, загрязняя её значительную часть [1]. Кроме того, в бухту выведен аварийный сток канализационных вод, в связи с чем пляж часто закрывают по санитарно-эпидемиологическим показателям.

Качество исследуемого объекта постоянно анализируется специалистами по различным критериям. Так, по [1], за последние периоды исследований отмечено в целом увеличение численности и

снижение биомассы макрозообентоса как на участках с илистым, так и песчаным морским грунтом. Исследователи связывают данный факт с увеличением количества мелкого брюхоногого моллюска *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), доля которого в 1992 – 1997 гг. составляла 16 – 41% общей численности макрозообентоса, в 2009 – 2012 гг. достигла 84 – 85%. Кроме того, доминирующими являлись устойчивые к загрязнению виды: моллюски – *Abra segmentum* (Récluz, 1843), *Cerastoderma glaucum* (Bruguère, 1789), *Hydrobia acuta*, и полихеты – *Capitella capitata* (Fabricius, 1780) и *Hediste diversicolor* (O. F. Müller, 1776), что свидетельствует о хроническом загрязнении донных осадков вершины бухты.

Важную роль в формировании качества акватории бухты играют макрофиты, особенно в вершине на малых глубинах, где отмечается систематическое цветение воды. По мнению авторов [4], в некоторые годы зафиксировано снижение запасов цистозеры, что сказалось на коэффициенте её эпифитирования (K_3 – отношение массы эпифитов к массе цистозеры), который увеличился с 0.5 до 0.85, несмотря на то, что абсолютные величины запасов эпифитов за 19 лет не изменились. Если учесть, что обычно при прочих равных условиях увеличение значения K_3 косвенно свидетельствует о повышении трофности, то снижение запасов цистозеры в 2008 г. могло явиться результатом повышения антропогенной нагрузки.

Не менее важным показателем экологического состояния исследуемой акватории является состояние мейобентоса зарослей цистозеры, который показал [5], что его структура и доля основных таксонов в нём остаются неизменными в точках, удаленных от прибрежной полосы, тогда как в соотношении доли таксономических групп в точке в районе пляжа, наиболее подверженной антропогенной нагрузке, отмечено изменение.

В общем, можно говорить о неблагоприятной обстановке в акватории бухты Круглая в сезоны с усиленным антропогенным прессом и условиями среды, благоприятными для активизации процессов роста биологических объектов. Особенно это касается загрязнения органическими веществами, как от аварийных источников, так и при естественных процессах жизнедеятельности населяющих биотопы организмов. Конечным пунктом миграции и осаждения этих веществ являются донные осадки, анализ которых даёт возможность представить устойчивую картину загрязнения.

Таким образом, учитывая всё вышесказанное, целью работы стала оценка многолетних изменений состояния донных осадков в бухте Круглая.

Материал и методы. Материалом для исследования послужили пробы донных осадков, отобранные в бухте дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.038 м² в трёх повторностях на каждой станции в рамках проведения многолетнего мониторинга отделом морской санитарной гидробиологии Института морских биологических исследований (ИМБИ) в летний период 2006 – 2015 гг. Материал отбирали по стандартной сетке станций: с глубин от 4 до 8 м (станции 31–34) – с борта мотобота, на глубине 1–1.5 м (ст. 01–05 м) – ручным пробоотборником (рис. 1).

В свежееотобранных пробах донных отложений определяли окислительно-восстановительный потенциал (Eh), pH, натуральную влажность и гранулометрический состав [3]. В подготовленных соответствующим образом воздушно-сухих пробах находили общее количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) – весовым методом, нефтяных углеводов (НУ) – методом инфракрасной спектроскопии [7]. Все полученные результаты пересчитаны на 100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д. о.).

Результаты и обсуждение. Известно [8], что донные осадки устьевой части бухты (ст. 31 и 33) и на выходе из неё (ст. 32 и 34) загрязнены незначительно: концентрации ХЭВ примерно одинаковы на всех станциях и во все исследованные годы не превышали 15 мг·100 г⁻¹ возд.-сух. д. о., а количество НУ имело следовые значения (зафиксированный максимум составил в 2012 г. 1.8 мг·100 г⁻¹ на ст. 32 и 34). В 2015 г. ситуация не изменилась, за исключением того, что донные отложения в большей степени были представлены ракушняком и/или песком с примесью ракуши. При этом был несколько завышен pH – до 8.04 и занижен Eh (от –91 до +39 мВ). Более интересна для экологического исследования вершина бухты. Как уже сказано, она испытывает наибольшую антропогенную нагрузку, и к тому же имеет глубины менее 1 м. Поэтому донные осадки данной части акватории представлены тёмно-серыми/чёрными илами или песками с примесью ила, большим количеством разложившейся

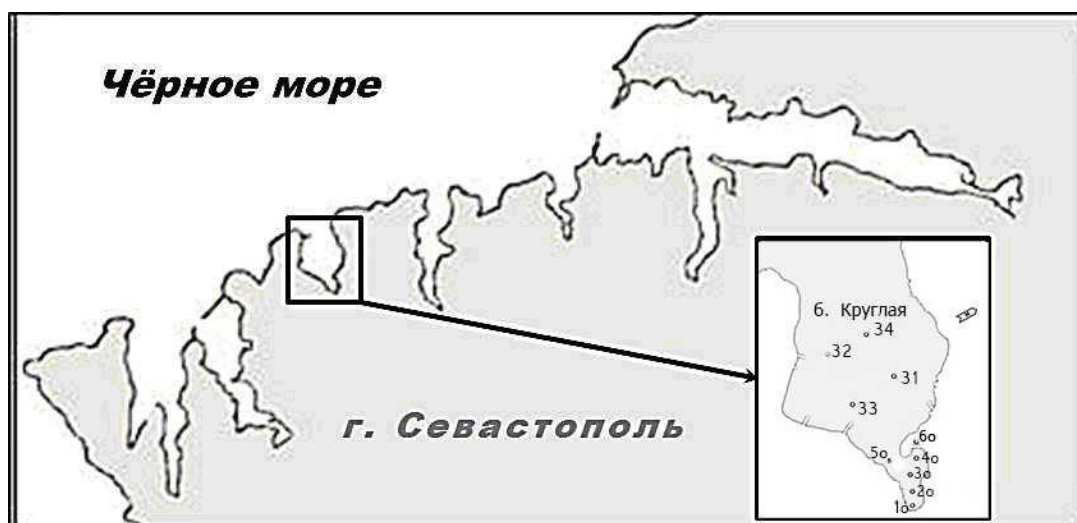


Рис. 1 Схема отбора проб донных осадков в бухте Круглая (Севастополь, Чёрное море)

Fig. 1 The scheme of sampling of the sea bottom sediments of the Kruglaya bay (Sevastopol, Black Sea)

органики и запахом сероводорода. В исследуемой акватории в 2015 г. натуральная влажность варьировала от 28.3 (ст. 04) до 63.2 % (ст. 03), что несколько выше, чем в центральной части бухты. Окислительно-восстановительный потенциал занижен по сравнению с предыдущими годами и составлял до -190 мВ на всех исследуемых станциях, тогда как ранее показатели не опускались ниже -134 мВ, а на ст. 05 за-

фиксировано $+21$ мВ [8]; рН также занижен ($7.29-7.69$), что может свидетельствовать о попадании в акваторию бухты хозяйственно-бытовых стоков.

Об органическом загрязнении можно судить по концентрациям ХЭВ, которые в 2015 г. составили от 900 (ст. 01) до 11 (ст. 05) $\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о. (рис. 2).

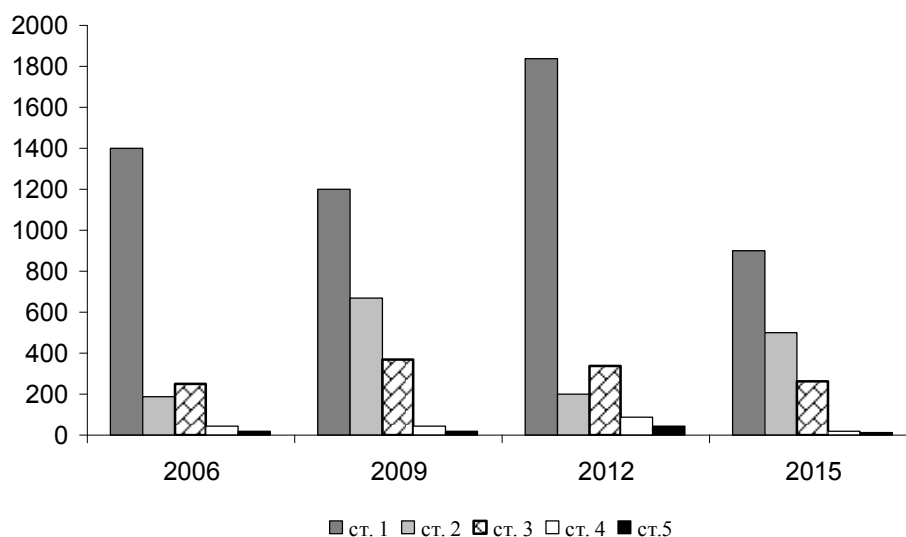


Рис. 2 Концентрации ХЭВ ($\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о.) в донных осадках на исследуемых станциях (б. Круглая)

Fig. 2 The concentrations of chloroform-extracted substances ($\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ air-dry b. s.) in the sea bottom sediments at the studied stations (the Kruglaya bay)

Как видно из рис. 2, на протяжении периода исследования концентрации ХЭВ на ст. 03–05 находятся на постоянном уровне, изменяясь в пределах погрешности метода исследования, тогда как на ст. 02 отмечено увеличение в 2.5 раза по сравнению с 2012 г., а на ст. 01 – общее уменьшение по всему периоду. Однако даже при изменении данных параметров уровень загрязнения на ст. 01 не изменился и соответствует IV [2]. Кроме того, в 2015 г. в результате анализа прибрежных наносов б. Круглой выяснилось, что количество ХЭВ в прибрежных наносах, соответствующих ст. 01, имело самые максимальные значения и составило $620 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ [9], тогда как на самой ст. 01 – $900 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$. Данная точка находится вблизи источника аварийного выпуска сточных вод. Можно предположить, что загрязняющие вещества из стока попадают в таком объёме, переработать который местное биологическое сообщество не успевает, в результате чего, с учётом малых глубин, они осаждаются на дно. Кроме того, в 2015 г. была отобрана проба донных осадков вблизи стоянки маломерных

судов (ст. 06, рис. 1), результаты исследования которой показали, что загрязнение на данной станции высокое, по сравнению с рядом находящимися ст. 04 и 05, и составляет $460 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$. Таким образом, загрязнение органическими веществами по акватории вершины бухты Круглая распространено неравномерно и чётко соответствует уровню антропогенной нагрузки на ту или иную её часть.

Несколько иначе выглядит нефтяное загрязнение исследуемой акватории. Концентрации НУ (рис. 3) на ст. 04 и 05 приближены к следовым значениям, за исключением 2012 г., но, тем не менее, уровень остаётся низким. На ст. 01 отмечено увеличение данного параметра по сравнению с результатами 2012 г., тогда как на ст. 02 – относительно всего периода исследования. Данный факт, возможно, связан с тем, что в летний период возрастает интенсивность эксплуатации водного транспорта, а на протяжении всего года НУ постоянно поступает с водами из ливневой канализации с близлежащей трассы.

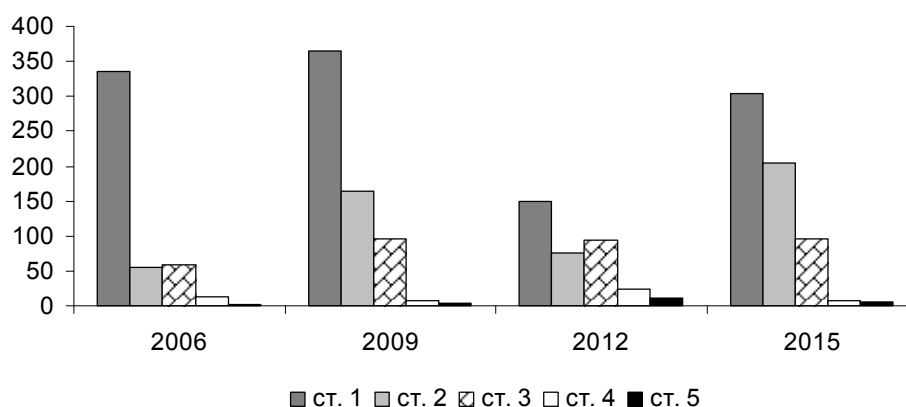


Рис. 3 Концентрации НУ ($\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о.) в донных осадках на исследуемых станциях (б. Круглая)
 Fig. 3 The concentrations of oil hydrocarbons ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ air-dry b. s.) in the sea bottom sediments at the studied stations (the Kruglaya bay)

В бухте Круглая на всех исследованных станциях отмечено увеличение доли НУ от ХЭВ, максимальный рост произошёл на ст. 01 с 8 % в 2012 г. до 34 % в 2015 г., т.е. при общем уменьшении содержания ХЭВ, доля НУ

возросла в 4 раза. В 2015 г. данный параметр составил: на ст. 02 – 41 %, ст. 03 – 37 %, ст. 04 – 31 %, ст. 05 – 45 %. Следует отметить, что уровень органического загрязнения на ст. 04 и 05 низкий и основную долю в нём составляют

НУ. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении антропогенной нагрузки на экосистему данной акватории.

Выводы. 1. Загрязнение органическими веществами в акватории бухты Круглая неравномерно и приурочено к его источникам: центральная часть бухты является чистой, тогда как загрязнение её вершины в некоторых точках достигает IV уровня. **2.** На ст. 01 на-

блюдается интенсивное накопление загрязняющих веществ, о чём свидетельствуют показатели концентрации ХЭВ (на самой ст. – 900 мг · 100 г⁻¹, тогда как в прибрежных наносах вблизи станции 620 мг · 100 г⁻¹). **3.** За весь период исследований отмечено снижение концентрации ХЭВ, за исключением ст. 02, но доля НУ выше по всей акватории вершины б. Круглой.

1. Алёмов С.В., Витер Т.В. Сообщества макрозообентоса вершины б. Круглая (Севастополь, Чёрное море) // *Экологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление прибрежной зоной: материалы молодёж. науч.-практ. конф.* (г. Севастополь, 29 сент. – 05 окт. 2014 г.). Севастополь, 2014. С. 176–180. [Alyomov S.V., Viter T.V. Macrozoobentos communities of Kruglaya bay head (Sevastopol, Black Sea). In: *Ecological problems of the Azov-Black sea region and integrated coastal management: materials of youth scientific-practical conference* (Sevastopol, 29 Sept.-05 Oct. 2014). Sevastopol, 2014, pp. 176-180. (in Russ.)]
2. Кирюхина Л.Н. Влияние гранулометрического состава донных осадков на накопление аллохтонных углеводородов // *Экология моря*. 1982. Вып. 10. С. 36–39. [Kiryukhina L.N. The influence granulometric composition of bottom sediments on allochthonic hydrocarbon accumulation. *Ekologiya morya*, 1982, iss. 10, pp. 36-39. (in Russ.)]
3. Кирюхина Л.Н., Миронов О.Г. Химическая и микробиологическая характеристика донных осадков севастопольских бухт в 2003 г. // *Экология моря*. 2004. Вып. 66. С. 53–58. [Kiryukhina L.N., Mironov O.G. Chemical and bacterial characteristics on marine bottom sediments in Sevastopol bays in 2003. *Ekologiya morya*, 2004, iss. 66, pp. 53-58. (in Russ.)]
4. Ковардаков С.А., Празукин А.В. Структурно-функциональные характеристики донного фитопленки бухты Круглой (Севастополь) // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2012. Вып. 7. С. 138–148. [Kovardakov S.A., Prazukin A.V. Structural and functional characteristics of the bottom seaweeds community in Kruglaya bay (Sevastopol). *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, 2012, iss. 7, pp. 138-148. (in Russ.)]
5. Колесникова Е.А., Мазлумян С.А. Сезонная динамика мейобентоса зарослей цистозир в бухте Круглая // *Проблемы устойчивого развития приморских городов*. Севастополь: Аквавита. 2002. С. 192–203. [Kolesnikova E.A., Mazlumjan S.A. An ecological and geochemical state of coastal marine and terrestrial landscapes as a criterion of sustainable development of coastal territories. In: *Problems of sustainable development of coastal cities and towns*. Sevastopol: Aquavita, 2002, pp. 192-203. (in Russ.)]
6. Куфтаркова Е.А., Родионова Н.Ю., Губанов В.И., Бобко Н.И. Гидрохимическая характеристика отдельных бухт Севастопольского взморья // *Труды ЮЗНИРО*. 2008. Т. 46. С. 110–111. [Kuftarkova E. A., Rodionova N. Yu., Goubanov V. I., Bobko N. I. Hydrochemical characteristics of several bays of Sevastopol coast. *Trudy YugNIRO*, 2008, vol. 46, pp. 110-111. (in Russ.)]
7. *Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. Методические указания*. Москва: ФСР по гидромет. и мониторинг. окр. среды. 1996. 46 с. [Opređenjele zagrjazyajuushchikh veshchestv v probakh morskikh donnykh otlozhenii i vzvesi. *Metodicheskie ukazaniya*. Moscow: FSR po gidromet. i monitor. okr. sredy. 1996. 46 p.]
8. Рубцова С.И., Тихонова Е.А., Бурдиян Н.В., Дорошенко Ю. В. Оценка экологического состояния Севастопольских бухт Чёрного моря по основным химическим и микробиологическим критериям // *Морской экологический журнал*. 2013. Т. 12, №2. С. 38–50. [Rubtsova S.I., Tikhonova E.A., Burdiyan N.V., Doroshenko Yu.V. The estimation of the ecological state of Sevastopol bays on basic chemical and microbiological criteria. *Morskoi ekologicheskii zhurnal*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 38-50. (in Russ.)]
9. Тихонова Е.А., Шалыгина А.С. Экологическое состояние бухты Круглой (Чёрное море) в 2015 году // «Pontus Euxinus 2015»: тезисы IX Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (с международным участием) по проблемам водных экосистем (Севастополь, 17-20 ноября 2015 г.). Севастополь, 2015. С. 172–173.

[Tikhonova E.A., Shalygina A.S. Ekologicheskoe sostoyanie bukhty Krugloi (Chernoe more) v 2015 godu. In: «Pontus Euxinus 2015»: tezis IX Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchennykh (s mezhdunarodnym uchastiem) po problemam

vodnykh ekosistem (Sevastopol, 17-20 Nov. 2015). Sevastopol, 2015, pp. 172–173.]

Поступила 9 декабря 2015 г.

The long-term dynamics of the sea bottom sediments pollution of the Kruglaya bay (Black sea). E. A. Tikhonova. The relevance of the Kruglaya bay's pollution research is specified due to adverse situation in its water areas during the seasons with increased anthropogenic pressure and environmental conditions favorable for the activation of biological growth. This is especially true for the organic pollution, originating both from emergency sources, and from the metabolites of the organisms. Sea bottom sediments are the final destination of the migration and deposition of these substances, analysis of which gives the opportunity to present a stable picture of the contamination. Therefore, the aim of the work was to evaluate the long-term changes in the state of the sea bottom sediments of the bay. The material for the study is based on the samples of sea bottom sediments, collected in the Kruglaya bay by Petersen bottom sampler. The total amount of chloroform-extractable substances was determined by gravimetric method in properly prepared air-dried samples, while the amount of oil hydrocarbons was determined by infrared spectrometry. The analysis of long-term dynamics of the sea bottom sediments pollution in the Kruglaya bay in period of 2006–2012 was conducted. The results showed that pollution by the organic substances in the water area of the Kruglaya bay was unevenly distributed and was confined to its sources: the central part of the bay is clean, while the level of pollution of its highest peaks reaches the degree of contamination of the IV level. There is an intense accumulation of pollutants at st. 01, as evidenced by the results of concentrations chloroform-extractable substances (at this st. – $900 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, while the littoral deposits near the station contained $620 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Thus, the common concentration of chloroform-extractable substances is decreased for the entire study period, with the exception of st. 02, but the proportion of oil hydrocarbons is higher at the whole water area of the Kruglaya bay's top.

Keywords: chloroform-extractable substances, oil hydrocarbons, sea bottom sediments, Kruglaya bay, Black Sea.