

Научная статья
УДК [594.124-15:[57.044:665.7]](262.5)
EDN YFOTIP

Динамика поселения моллюсков *Mytilaster lineatus* в черноморской акватории с различной степенью нефтяного загрязнения

Ю. С. Ткаченко *, Е. А. Тихонова, Т. В. Витер

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

* e-mail: yulechkatkachenko.90@mail.ru

Аннотация

Оценена динамика поселения митилястеров в прибрежной акватории с различной степенью нефтяного загрязнения на примере бухт Севастопольской (высокий уровень антропогенной нагрузки) и Ласпи (условно чистая акватория). Для оценки качества морской среды в местах отбора обрастаний митилястеров в бухтах Севастопольской и Ласпи проанализировали данные о содержании нефтяных углеводородов в воде (2012, 2015 и 2018 гг.). Материалом для исследования послужили пробы моллюсков *Mytilaster lineatus* и донных осадков, отобранные в Севастопольской бухте с 2012 по 2018 г. с глубин от 7 до 17 м в рамках трех санитарно-биологических съемок. Проанализировано обилие митилястеров на различных естественных и искусственных субстратах б. Севастопольской в 2012, 2015 и 2018 гг. в условиях хронического нефтяного загрязнения. Выявлено, что на обилие митилястеров на твердых субстратах в первую очередь влияет не загрязнение морской среды, а температура воды и прибойно-волновые явления. Значения индекса функционального обилия показывают, что в условиях хронического нефтяного загрязнения митилястеры, обитающие на искусственных субстратах б. Севастопольской, вносят более значимый вклад в преобразование вещества и энергии. При этом энергетическая значимость исследуемых моллюсков в грунтах б. Севастопольской значительно ниже, чем в условно чистой акватории (б. Ласпи). Анализ средних значений численности и биомассы моллюсков в 2012, 2015 и 2018 гг. показал, что обилие митилястеров в морских грунтах б. Севастопольской увеличилось. Установлено, что на качество жизни сообщества оказывают влияние физико-химические показатели донных осадков, которые либо ускоряют, либо замедляют процессы окисления, изменяя тем самым содержание кислорода в донных отложениях. По результатам корреляционного анализа наблюдается прямая взаимосвязь между численностью, биомассой моллюсков и концентрациями хлороформ-экстрагируемых веществ, нефтяных углеводородов, а также окислительно-восстановительным потенциалом. Выявлено, что в грунтах б. Ласпи количественные показатели митилястеров в четыре раза выше, чем в б. Севастопольской.

Ключевые слова: прибрежная акватория, митилястеры, искусственные субстраты, естественные субстраты, нефтяные углеводороды, Черное море

© Ткаченко Ю. С., Тихонова Е. А., Витер Т. В., 2025



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

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемо-экологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Для цитирования: Ткаченко Ю. С., Тихонова Е. А., Витер Т. В. Динамика поселения моллюсков *Mytilaster lineatus* в черноморской акватории с различной степенью нефтяного загрязнения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 1. С. 137–154. EDN YFOTIP.

The Dynamics of the Mollusks *Mytilaster lineatus* Settlement in the Black Sea Waters with Different Degrees of Petroleum Pollution

Yu. S. Tkachenko *, E. A. Tikhonova, T. V. Viter

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

* e-mail: yulechkatkachenko.90@mail.ru

Abstract

The paper estimates the dynamics of the settlement of mytilasters in the coastal water area with different degrees of petroleum pollution using the example of Sevastopol Bay (high level of anthropogenic load) and Laspi Bay (conditionally clean water area). To assess the marine environment quality at the sites of mytilaster fouling in the mentioned bays, data on the petroleum hydrocarbons content in the water was analysed (2012, 2015, 2018). The study material was samples of *Mytilaster lineatus* mollusks and bottom sediments taken in Sevastopol Bay from 2012 to 2018 at depths from 7 to 17 m during three sanitary and biological surveys. The abundance of mytilasters on various natural and artificial substrates of Sevastopol Bay in 2012, 2015 and 2018 under conditions of chronic oil pollution was analysed. It was revealed that the abundance of mytilasters on solid substrates was primarily influenced not by pollution of the marine environment but by water temperature and surf-wave phenomena. The values of the index of functional abundance show that under chronic petroleum pollution, mytilasters, inhabiting artificial substrates of Sevastopol Bay, make a more significant contribution to transformation of matter and energy. At the same time, the energy significance of the studied mollusks in the soils of Sevastopol Bay is considerably lower than that in the conditionally clean water area (Laspi Bay). An analysis of average abundance and biomass of mollusks for 2012, 2015 and 2018 showed that the number of mytilasters in the marine soils of Sevastopol Bay increased. It was established that the quality of life of the community was influenced by the physical and chemical parameters of bottom sediments, which either accelerate or slow down the oxidation processes, thereby changing the oxygen level in the bottom sediments. According to the correlation analysis results, there is a direct relationship between the abundance, biomass of mollusks and concentrations of chloroform-extractable substances, petroleum hydrocarbons and redox potential. It was revealed that in the soils of Laspi Bay, the quantitative indicators of mytilasters were four times higher than in Sevastopol Bay.

Keywords: coastal waters, Mytilaster, artificial substrates, natural substrates, petroleum hydrocarbons, Black Sea

Acknowledgments: This work was carried out under IBSS state research assignment “Study of biogeochemical patterns of radioecological and chemoecological processes in the ecosystems of water bodies of the Sea of Azov-Black Sea Basin in comparison with other areas of the World Ocean and individual aquatic ecosystems of their drainage basins to ensure sustainable development in the southern seas of Russia” (No. 124030100127-7).

For citation: Tkachenko, Yu.S., Tikhonova, E.A. and Viter, T.V., 2025. The Dynamics of the Mollusks *Mytilaster lineatus* Settlement in the Black Sea Waters with Different Degrees of Petroleum Pollution. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 137–154.

Введение

Митилястер (*Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791)) является массовым и широко распространенным черноморским видом прибрежных сообществ, образующим поселения на различных естественных и искусственных субстратах. Эти моллюски вносят значительный вклад в фильтрационную деятельность митилидных поселений [1, 2], выполняя функцию мощного природного био-фильтра [3]. Известно, что митилястеры фильтруют воду 18 ч/сут¹⁾, извлекая из нее бактериальную взвесь [4]. Они способны существенно снижать уровень органического загрязнения акватории, в том числе концентрацию нефтепродуктов [5].

Исследуемые моллюски распространены довольно широко: они встречаются на атлантическом побережье Южной Европы, а также во всех морях Средиземноморского бассейна [3]. Они были завезены в Каспийское море, где получили широкое распространение²⁾. Митилястеры преобладают в большинстве районов Азовского моря [6], при этом они образуют поселения в илах в условиях гипоксии и повышенных температур, а также при повышенном содержании нефтепродуктов в донных отложениях [7].

Митилястеры в Черном море встречаются от уреза воды до глубин 50–70 м. Но постоянные размножающиеся поселения они образуют лишь на малых глубинах (3–8 м), в основном в прибрежной зоне. В прибрежье митилястеры встречаются на скалах среди зарослей цистозеры (естественный субстрат) и на гидротехнических сооружениях (искусственный субстрат) [8, 9]. Моллюски также образуют иловые сообщества, но менее многочисленные, чем на твердых субстратах [3]. Рост численности и биомассы митилястеров наблюдается в защищенных частях бухт, где действие прибоя ослаблено [10].

В последние годы митилидные обрастания крымского побережья претерпевают существенную трансформацию [11, 12]. Мидии становятся мельче и малочисленнее, а митилястеры заселяют свободные пространства как на естественных, так и на искусственных субстратах [9]. Доминирование исследуемого вида моллюсков ранее наблюдалось на гидротехнических сооружениях различных прибрежных акваторий Севастополя [13]. В 2008–2009 гг. на скальном

¹⁾ Миронов Г. Н. Фильтрационная работа и питание мидий Черного моря // Труды Севастопольской биологической станции. 1948. Т. 6. С. 338–352.

²⁾ Скарлато О. А. Старобогатов Я. И. Класс двустворчатые моллюски – Bivalvia // Определитель фауны Черного и Азовского морей. Киев : Наукова думка, 1972. 3. С. 178–249.

грунте б. Карантинной по численности, биомассе и встречаемости двустворчатый моллюск *Mytilaster lineatus* также явно доминировал среди других видов макрозообентоса во все сезоны и на всех глубинах (Севастополь) [14].

С 2009 по 2014 г. митилястеры отмечены на естественных твердых субстратах в акваториях таких заповедников Крымского п-ова, как «Мыс Мартьян», Карадагский, Опукский, Казантипский, а также в акватории национального природного парка «Гарханкутский» [15]. При этом данный вид моллюска, обнаруженный в пяти вышеуказанных районах, имеет самую высокую численность и биомассу.

Нефть и нефтепродукты являются основными постоянными загрязняющими веществами прибрежных акваторий Черного моря, в том числе и сева-стопольской акватории. Наиболее загрязненной по рассматриваемому параметру является б. Севастопольская [10]. Она относится к акваториям активного хозяйственного использования, основная часть ее береговой линии занята причалами и сопутствующей инфраструктурой общей протяженностью 11 км. При этом в гавани находится значительное число военных кораблей и гражданских судов, которые являются одним из основных источников загрязнения бухты нефтепродуктами. Кроме того, в акваторию выведены ливневые и канализационные стоки, и вследствие затрудненного водообмена загрязняющие вещества накапливаются в донных осадках бухты, ухудшая ее экологическое состояние.

Митилястеры в б. Севастопольской встречаются на всех вышеописанных субстратах [1, 9, 16] и играют важную роль в процессе самоочищения морской среды от нефти и нефтепродуктов. Это стало предпосылкой для изучения динамики поселений митилястеров на данном загрязненном участке. В качестве условно чистой акватории выбрана б. Ласпи, прибрежная зона которой характеризуется как относительно благополучная по отдельным физико-химическим и микробиологическим параметрам морской воды [17].

Цель работы – анализ динамики поселения митилястеров на естественных и искусственных субстратах в прибрежной акватории с различной степенью нефтяного загрязнения (на примере бухт Севастопольской и Ласпи) по литературным данным и данным мониторинговых съемок (2012, 2015, 2018 гг.).

В рамках поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1) по литературным данным провести анализ обилия митилястеров на различных естественных и искусственных субстратах б. Севастопольской за 2012–2018 гг. в условиях хронического нефтяного загрязнения исследуемой акватории;

2) по данным мониторинговых съемок 2012, 2015 и 2018 гг. определить численность и биомассу моллюсков *Mytilaster lineatus* в илах б. Севастопольской с учетом загрязнения донных отложений органическими веществами, в том числе нефтяными углеводородами;

3) определить вклад митилястеров в процессы преобразования вещества и энергии в донных сообществах в акваториях, подверженных хроническому нефтяному загрязнению, и в условно чистых акваториях;

4) сравнить поселения моллюсков в условно чистой и загрязненной акваториях.

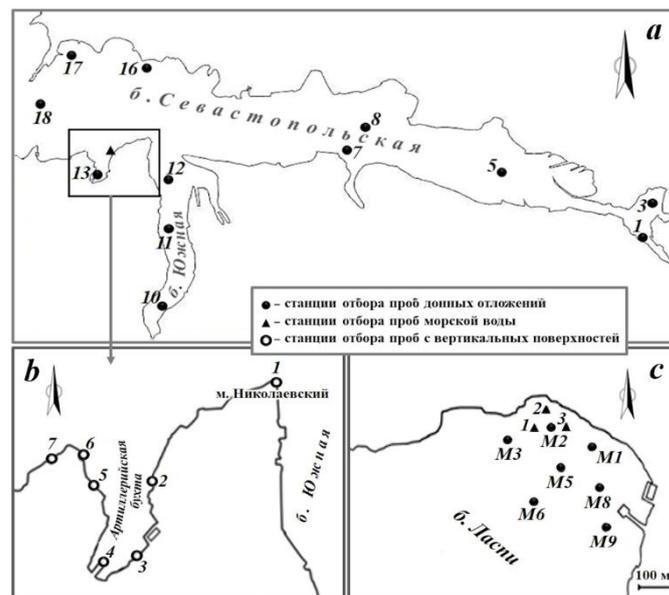
Материал и методы

Для оценки качества морской среды в местах отбора обрастаний митилястеров в бухтах Севастопольской и Ласпи проанализированы литературные данные о содержании нефтяных углеводородов (НУ) в воде [10, 18–20] (рисунок, *a*, *c*).

Показатели численности и биомассы митилястеров на искусственных субстратах б. Севастопольской анализировали по литературным данным [9, 10, 13, 21]. Схема расположения станций отбора моллюсков с причальных стенок представлена на рисунке (*b*).

Пробы моллюсков *Mytilaster lineatus* и донных осадков отбирали в Севастопольской бухте с 2012 по 2018 г. с глубин от 7 до 17 м (рисунок, *a*) в рамках трех санитарно-биологических съемок, которые проводятся систематически лабораторией хемозологии (ранее – отделом морской санитарной гидробиологии) ФИЦ ИнБЮМ.

Для определения гидробионтов пробы донных отложений отбирали дночерпателем Петерсена (площадь захвата 0.038 м²) в двух повторностях. Донный осадок промывали через сито (диаметр ячеек 1 мм), фиксировали этанолом (96 %), а затем просматривали под биноклем. Далее определяли



Расположение станций отбора проб: донных отложений в б. Севастопольской (*a*) и митилястеров с гидротехнических сооружений б. Севастопольской, по данным [12] (*b*), в 2012, 2015, 2018 гг., а также морской воды и донных отложений в б. Ласпи в 2017 г., по данным [22] (*c*)

Location of sampling stations for bottom sediment in Sevastopol Bay (*a*), mytilasters from hydraulic structures in Sevastopol Bay (*b*) (literature data [12]) in 2012, 2015, 2018 and seawater and bottom sediment in Laspi Bay in 2017 (*c*) (literature data [22])

численность и сырой вес организмов. Особей мельче 1 мм не учитывали. Взвешивание двустворчатых моллюсков проводили после их вскрытия и удаления фиксирующего раствора из мантийной полости.

В свежееотобранных пробах донных отложений определяли рН и Eh рН-метром-милливольтметром рН-150МА, натуральную влажность – весовым методом.

Для определения углеводов морские осадки высушивали до воздушно-сухого состояния в лабораторных условиях, растирали в ступе и просеивали через сито с диаметром ячеек 0.25 мм.

В воздушно-сухих образцах определяли количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) весовым методом, а НУ – методом ИК-спектрометрии³⁾ на спектрофотометре ФСМ-1201. Все полученные результаты для концентраций ХЭВ и НУ пересчитывали на 100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д. о.). Для статистической обработки материала использован корреляционный анализ. Коэффициент корреляции рассчитывали при $P = 0.05$ в программе *Microsoft Excel*.

Для определения взаимосвязи между анализируемыми параметрами среды (Eh и рН) мы использовали показатель rH_2 , рассчитанный для донных осадков акватории б. Севастопольской по формуле У. И. Кларка [22, с. 54]:

$$rH_2 = Eh / 30 + 2pH, \quad (1)$$

где Eh – окислительно-восстановительный потенциал; рН – водородный показатель.

Для оценки роли митилястеров в передаче вещества и энергии на различных субстратах использовали индекс функционального обилия (ИФО), рассчитанный по формуле [23, с. 88]

$$\text{ИФО} = N^{0.25} \cdot B^{0.75},$$

где B и N – биомасса, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$, и численность, экз. $\cdot \text{м}^{-2}$, таксона соответственно.

Индекс ИФО для твердых естественных и искусственных субстратов акваторий с различной антропогенной нагрузкой рассчитывали по данным о численности и биомассе митилястеров из литературных источников [10, 15, 18, 20, 24, 25] за 2012–2018 гг. Для донных отложений б. Севастопольской индекс рассчитывали по показателям, полученным нами в настоящей работе (мониторинговые съемки 2012, 2015, 2018 гг.). Для морских грунтов б. Ласпи индекс ИФО рассчитан по литературным данным.

Результаты и обсуждение

Поселение Mytilaster lineatus на твердых искусственных и естественных субстратах в условиях хронического нефтяного загрязнения и в условно чистых акваториях

В морской воде б. Севастопольской регистрируются высокие концентрации НУ [10, 18], что свидетельствует о постоянном их поступлении в акваторию. В исследовании [19, с. 42] (см. табл. 1) отмечено регулярное превышение

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

санитарных нормативов по данному показателю. В 2008–2010 гг. количество этих соединений в воде в 80 % случаев превышало ПДК в среднем в 1.5–2 раза.

Митилидные обрастания повсеместно встречаются на причальных стенках Севастопольской бухты. Их сообщество претерпевает ряд изменений под воздействием природных и антропогенных факторов. При этом степень влияния того или иного фактора на митилидные сообщества непостоянна. Так, значительные изменения в обрастаниях были отмечены после разрушительного шторма в Севастополе 11 ноября 2007 г. Как показали исследования [9], митилидные сообщества на причальных стенках Севастопольской бухты были почти полностью уничтожены. С 2008 г. они начали постепенно восстанавливаться в среде с хроническим нефтяным загрязнением, однако полное восстановление биоценозов заняло достаточно продолжительное время.

Отмечалось [9], что весной 2009 г. средняя численность митилястеров на причальных стенках бухты существенно выросла относительно 2008 г. и достигла доштормовых значений 2006 г. В 2006–2009 гг. на некоторых участках бухты численность митилястеров увеличилась в полтора – два раза. По размерному составу моллюски в этот период не различались. Следует отметить, что численность мидий на причальных стенках в тот же период сократилась в два раза.

К 2015 г. на этих же станциях показатели численности и биомассы мидий значительно сократились относительно 2006 г., в частности численность на некоторых станциях снизилась в четыре раза, а биомасса – в шесть раз. Эти показатели у митилястеров на поверхности гидротехнического сооружения изменились в меньшей степени, чем у мидий. Почти на всех исследуемых участках набережной отмечено двукратное увеличение численности митилястеров и прирост их биомассы. В работе [13] отмечается, что в 2015 г. на бетонной набережной бухты митилястеры были более многочисленными, чем мидии и данное явление является частым для обрастания искусственных сооружений севастопольской акватории. Исходя из вышесказанного, можно отметить, что в условиях регулярного превышения концентраций НУ в морской воде сообщество митилястеров на причальных стенках б. Севастопольской восстановилось после шторма быстрее, чем сообщество мидий. В 2018 г. на гидротехнических сооружениях внутренней части акватории б. Севастопольской наблюдалось сокращение численности и биомассы исследуемых моллюсков по сравнению с 2015 г. [21]. При этом размерный состав митилястеров за период исследования в целом не изменился.

Информация о митилидных обрастаниях на искусственных субстратах б. Ласпи (причальные стенки, бетонные плиты и пирс ДОЛ «Ласпи») фрагментарна или отсутствует. В акватории бухт Ласпи и Севастопольской проводились эксперименты [26] по изучению потенциальной пополняемости поселений мидий и митилястеров в периоды массового оседания их личинок в различные периоды. Результаты эксперимента показали, что в прибрежной акватории б. Ласпи на искусственных субстратах (пластины с гладкой и ворсистой поверхностью) пополняемость поселений митилястеров гораздо выше, чем в б. Севастопольской. Потенциальная пополняемость митилястеров в условно чистой и загрязненной акваториях выше, чем у мидий. Причиной, влияющей

на разницу в поселениях моллюсков в условно чистых и хронически загрязненных нефтепродуктами акваториях, помимо субстрата, может быть и качество среды их обитания.

Проведенные исследования обрастаний гидротехнических сооружений в районе Южного мола б. Севастопольской и условно чистого района на волнорезе у открытого побережья г. Алупки (Южный берег Крыма (ЮБК)) показали, что численность данного вида у побережья г. Севастополя в загрязненной морской воде почти в два раза выше, чем у побережья г. Алупки (см. табл. 1 в [24, с. 78]). Биомасса митилястера в обоих районах почти одинакова. Данный факт может быть связан с тем, что в весенне-летний период в б. Севастопольской температура воды повышается быстрее, чем у ЮБК. Следовательно, период размножения в бухте может начаться раньше и к июлю – августу может осесть больше молодежи. Такие высокие показатели численности митилястеров в загрязненной акватории указывают на устойчивость данного вида к нефтяному загрязнению, а также на тот факт, что этот антропогенный фактор не является определяющим для функционирования сообщества. Приоритетными факторами, влияющими на численность моллюсков, являются гидродинамические процессы и температурный режим.

Митилястеры распространены в акваториях с разной степенью загрязнения морской среды. Так, эти моллюски были отмечены нами на камнях в акватории б. Ласпи, где концентрация НУ в морской воде в 2018 г. была близка к предельно допустимой ($\text{ПДК} = 0.05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$) [20], а в летний период превышала ПДК в 3–4 раза (см. табл. 1). В среднем концентрация НУ была выше концентраций, характерных для севастопольских бухт. При этом проведенные нами исследования углеводородного состава морской воды близ ур. Батилиман в период с разной рекреационной нагрузкой (б. Ласпи) в 2023 г. [27] показали отсутствие нефтяного загрязнения в акватории, а высокие показатели НУ связаны, скорее всего, с природными процессами (с активным поступлением аллохтонных соединений). На отсутствие нефтяного загрязнения указывают и следовые концентрации НУ в морских грунтах б. Ласпи в период 2016–2018 гг. [20].

Митилидные обрастания естественных твердых субстратов вдоль побережья Крыма, особенно в акватории ЮБК, в современный период изучены недостаточно. Основные работы в этом направлении посвящены изучению бентоса Карадага. В 2014 г. было проведено исследование таксономического состава и количественных показателей митилид, обитающих на естественных субстратах заповедника «Мыс Мартыан» [28]. По количественным показателям доминировали двустворчатые моллюски *Mytilaster lineatus* (47 % от общей численности и 97 % от общей биомассы макрозообентоса). Данный вид моллюсков преобладает на твердых субстратах и в других районах крымского побережья. Тем не менее стоит отметить, что количественные показатели численности и биомассы митилястеров (табл. 1) на искусственных субстратах в акватории б. Севастопольской значительно выше, чем на естественных субстратах ЮБК [2, 13, 26].

Наиболее высокие значения ИФО получены для искусственных субстратов б. Севастопольской (табл. 1). Самые низкие значения зафиксированы на естественных субстратах ЮБК. Это позволяет говорить о том, что митилястеры, обитающие на гидротехнических сооружениях бухты, вносят более

Таблица 1. Средние показатели численности и биомассы моллюсков *Mytilaster lineatus* на искусственных и естественных субстратах с разным уровнем нефтяного загрязнения (2012, 2015, 2018 гг.)

Table 1. Average abundance and biomass of *Mytilaster lineatus* mollusks on artificial and natural substrates with different levels of petroleum pollution (2012, 2015, 2018)

Параметр / Parameter	Искусственные субстраты / Artificial substrates			Естественные субстраты / Natural substrates	
	б. Севастопольская / Sevastopol Bay		Волнорез г. Алушка / Breakwater, Alupka	Карадаг / Karadag	ЮБК / Southern Coast of Crimea
	Южный мол / Southern pier	Набережная / Promenade			
Численность, экз.·м ⁻² / Abundance, ind.·m ⁻²	11 425	28 388	5654	11 830	9136
Биомасса, г·м ⁻² / Biomass, g·m ⁻²	869	1705	705.1	1700	593.9
Концентрация НУ в воде, мг·л ⁻¹ / Petroleum hydro- carbons concentration in water, mg·L ⁻¹	0.3	0.16	0.1	0.024	0.14
ИФО / Index of func- tional abundance (IFA)	1655	3444	1186	2761	1176

значимый вклад в трансформацию вещества и энергии, чем митилястеры, обитающие на природных скалах. В целом значения данного индекса указывают, что в акваториях, подвергающихся хроническому нефтяному загрязнению, вклад митилястеров в сообщество более существенный, чем в условно чистых акваториях.

Можно заключить, что на обилие митилястеров на твердых субстратах, вероятно, в первую очередь влияет не загрязнение морской среды, а температура воды и прибойно-волновые явления. К тому же стоит отметить, что данный моллюск устойчив к органическому загрязнению. Его численность и биомасса в обрастаниях хронически загрязненных нефтью и нефтепродуктами акваторий соответствуют, а на некоторых участках превышают эти показатели в условно чистых районах.

Поселение Mytilaster lineatus на мягких грунтах в условиях хронического нефтяного загрязнения и в условно чистых акваториях

В илах исследуемые моллюски не образуют массовых поселений, однако известно, что по видовому многообразию бентосных сообществ можно оценить экологическое благополучие акватории, в частности по наличию в сообществе двустворчатых моллюсков-фильтраторов, которые являются показателем качества среды. В условиях хронического нефтяного загрязнения и ухудшения физико-химических показателей морских грунтов плотность поселения

митилид сокращается [3]. Более ранние исследования бентосного сообщества б. Севастопольской (2000–2009 гг.) показали существенное ухудшение общего статуса макрозообентоса: снижение общей биомассы почти по всем выделенным районам акватории [29].

Изменения отмечены и для моллюсков *M. lineatus*. В 2000 г. они вносили существенный вклад в общую биомассу и численность макрозообентоса, тогда как в 2009 г. данные показатели снизились на два порядка. К ключевым факторам, влияющим на формирование и состав биоценозов донных животных, относятся: уровень кислорода в морских грунтах, соленость, состав донных осадков, уровень содержания НУ и тяжелых металлов в воде и донных отложениях и их накопление в моллюсках [7]. Митилястеры вносят большой вклад в общий объем биофильтра и, соответственно, в процессы самоочищения акватории [3]. Благодаря своей фильтрационной деятельности они значительно ускоряют осаждение взвеси на дно.

По результатам наших съемок, митилястеры были обнаружены в донных отложениях б. Севастопольской, представленных в основном черными или темно-серыми илами, иногда с примесью песка и битой ракуши (в 2012 г. в 58 % проб, а в 2015 и 2018 гг. – в 50 % проб). В большинстве случаев митилястеры зафиксированы в илистых донных отложениях, реже – в песчаных с примесью мелкой ракуши. Отмечено, что в песчаных грунтах моллюски имели наименьшую биомассу.

В 2012 г. численность митилястеров в илах б. Севастопольской варьировала от 9 до 70 экз.·м⁻² (табл. 2). Наибольшая плотность моллюсков отмечена в прибрежной зоне бухты на юго-западе (ст. 13). Эта станция расположена на одном из самых загрязненных участков около причальных стенок б. Артиллерийской

Т а б л и ц а 2. Численность *N* и биомасса *B* моллюсков *Mytilaster lineatus* в донных отложениях б. Севастопольской и физико-химические показатели среды их обитания

T a b l e 2. The abundance *N* and biomass *B* of *Mytilaster lineatus* mollusks in the bottom sediments of Sevastopol Bay with physico-chemical indicators of their habitat

Год / Year	<i>N</i> , экз.·м ⁻² / <i>N</i> , ind.·m ⁻²	<i>B</i> , г·м ⁻² / <i>B</i> , g·m ⁻²	pH	Eh, мВ / Eh, mV	<i>H</i> , %	ХЭВ, мг·100 г ⁻¹ / CES, mg·100 g ⁻¹	НУ, мг·100 г ⁻¹ / PHCs, mg·100 g ⁻¹	ИФО / IFA
2012	<u>9–70</u> 29.14	<u>0.002–0.184</u> 0.04	<u>7.2–8.2</u> 7.6	<u>–181...–19</u> –91	<u>36–68</u> 45	<u>100–2200</u> 920	<u>55–799</u> 317	0.22
2015	<u>9–26</u> 16.17	<u>0.002–0.096</u> 0.03	<u>7.3–8.2</u> 7.7	<u>–236...+292</u> 19.3	<u>31–71</u> 58	<u>140–2280</u> 1153	<u>110–887</u> 514	0.13
2018	<u>9–79</u> 36	<u>0.006–0.43</u> 0.09	<u>7.6–7.9</u> 7.8	<u>–188...+24</u> –65	<u>52–68</u> 60	<u>200–2200</u> 871	<u>134–592</u> 477	0.42

Примечания: 1. В числителе приведен диапазон значений, в знаменателе – среднее.
2. *H* – натуральная влажность.

Note: 1. Above the line – range of values, under the line – average.

2. *H* – natural humidity; CES – chloroform-extractable substances; PHCs – petroleum hydrocarbons.

(рисунок, *a*). Здесь находится паромный причал и выход ливневых стоков. Концентрация ХЭВ на данной станции составила $540 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о., НУ – $301.7 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о. Эти показатели соответствуют IV уровню загрязнения донных отложений согласно региональной классификации [25]. Биомасса митилястеров в этот период находилась в интервале $0.002\text{--}0.184 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ (табл. 2).

Диапазон численности моллюсков в 2015 г. составил от 9 до 26 экз.·м⁻² (табл. 2). Плотность митилястеров незначительно снизилась по сравнению с 2012 г. В центральной части бухты на ст. 8 (рисунок, *a*) численность моллюсков уменьшилась в два раза, в юго-западной части бухты (ст. 13) – в 2.5 раза. При этом относительно 2012 г. на ст. 13 значение ХЭВ выросло в четыре раза, а концентрация НУ более чем в два раза. Уровень загрязнения на данной станции соответствует самому высокому V уровню, тогда как ранее содержание ХЭВ соответствовало IV уровню.

В донных отложениях б. Южной, на берегах которой построены причалы (ст. 10) (рисунок, *a*), плотность моллюсков выросла с 18 до 26 экз.·м⁻². При этом концентрация ХЭВ на этой станции сократилась с 2200 до $1800 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о. относительно 2012 г. Тем не менее уровень загрязнения донных отложений остался прежним и соответствовал V уровню. Значения биомассы исследуемых моллюсков в 2015 г. варьировали от 0.002 до $0.096 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ (табл. 2). Причем при уменьшении численности митилястеров в центральной части бухты (ст. 8) их биомасса здесь увеличилась в три раза. Показатели ХЭВ и НУ на этой станции значительно снизились. На других участках акватории их значения различались незначительно.

В 2018 г. численность моллюсков находилась в пределах 9–79 экз.·м⁻² (табл. 2). В сравнении с данными предшествующих лет плотность поселения митилястеров увеличилась на всех станциях, кроме ст. 11 (центральная часть б. Южной) (рисунок, *a*). В 2018 г., по сравнению с данными 2015 г., уровень органического загрязнения донных отложений акватории б. Южной снизился, концентрация НУ уменьшилась в 4.5 раза. При этом, как и в предыдущие годы, уровень загрязнения донных осадков соответствовал самому высокому V уровню.

В юго-западной части бухты (ст. 13) численность моллюсков приближалась к показателям 2012 г. и была в 2.5 раза выше, чем в 2015 г. Концентрации ХЭВ и НУ с 2015 по 2018 г. на этой станции почти не изменились, но их значения были высокими и соответствовали V уровню загрязнения. Показатели биомассы 2018 г. находились в интервале от 0.006 до $0.43 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ (табл. 2).

В центральной части бухты (ст. 7) (рисунок, *a*) биомасса митилястеров стала выше в четыре раза по сравнению с 2012 г. Показатели ХЭВ в этот же период почти не изменились, а концентрация НУ выросла в шесть раз. Данные значения также соответствуют V уровню загрязнения морских грунтов.

На остальных станциях отмечена тенденция к увеличению биомассы митилястеров, кроме показателей в центральной части б. Южной (ст. 11) и юго-западной части б. Севастопольской (ст. 13). Значение биомассы в 2018 г. на ст. 11 сократилось почти в три раза по сравнению с 2015 г., на ст. 13 биомасса моллюсков снизилась почти в пять раз, в отличие от данных 2012 г. Численность митилястеров в этот период была почти одинаковой. При этом показатели ХЭВ на исследуемых станциях в тот же период соответствовали V уровню загрязнения.

Численность и биомасса моллюсков в анализируемые годы изменялась неравномерно. В целом анализ средних значений численности и биомассы исследуемых моллюсков с 2012 по 2018 г. показал, что количество митилястеров в морских грунтах б. Севастопольской незначительно увеличилось. Средняя численность в исследуемый период увеличилась с 29 до 36 экз. \cdot м⁻², а биомасса – с 0.04 до 0.09 г \cdot м⁻².

Индекс ИФО для морских грунтов Севастопольской бухты в исследуемые годы (2012, 2015 и 2018 гг.) составил 0.22, 0.13 и 0.42 соответственно (табл. 2). По этому показателю в 2018 г. вклад митилястеров в трансформацию вещества и энергии был выше, чем в предшествующие годы. В целом значения индекса ИФО очень низкие, что говорит о незначительной энергетической роли митилястеров, обитающих на мягких грунтах б. Севастопольской.

Помимо субстрата, как было указано выше, на функциональность сообщества влияют физико-химические показатели, которые либо ускоряют, либо замедляют процессы окисления в донных осадках, изменяя тем самым уровень кислорода.

В 2012 г. рН в донных осадках колебался в пределах 7.2–8.2, в 2015 г. – 7.3–8.2, а в 2018 г. – 7.6–7.9 (табл. 2). Диапазон рН в эти годы свидетельствовал о слабощелочной среде большинства анализируемых проб, за исключением участка прибрежной зоны б. Южной (ст. 10) и у Константиновского равелина (Северный мол) (ст. 17) (см. рисунок, а), где рН поднимался до значений 8.21–8.22 (ст. 10 в 2012 и 2015 гг. соответственно) и 8.2 (ст. 17 в 2015 г.), что, скорее всего, связано с типом осадков.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в 2012 г. имел отрицательные значения и находился в интервале от –19 до –181 мВ (табл. 2), что указывает на восстановительные условия среды. В 2015 г. Eh колебался в широких пределах: от –116 до +292 мВ (табл. 2). В центральной части б. Севастопольской (ст. 5, 8) и в прибрежной зоне б. Южной (ст. 10) (см. рисунок, а) Eh указывал на слабовосстановительные условия. В центральной части б. Южной (ст. 11) и в прибрежной зоне юго-западной части б. Севастопольской (ст. 13) (см. рисунок, а) Eh указывал на восстановительные условия, а у Северного мола (ст. 17) (см. рисунок, а) – на окислительные. Как и в 2015 г., в 2018 г. Eh имел большой диапазон от –188 до +24 мВ (табл. 2). На всех станциях, кроме прибрежной зоны б. Севастопольской (ст. 13) (см. рисунок, а), отмечены слабовосстановительные условия, при этом на ст. 13 зафиксирован самый низкий показатель Eh, указывающий на восстановительные условия среды. Данные условия способствуют накоплению углеводородов, так как при низких значениях окислительно-восстановительного потенциала среды замедлены процессы преобразования битумоида. Пониженные значения Eh соответствуют участкам акватории, в которых концентрируются органические вещества [30].

Известно, что величина Eh зависит от рН. Для получения сравнимых данных в анализируемых донных осадках с различной величиной рН нами рассчитан показатель водородного потенциала (rH_2) по формуле У. И. Кларка (1). Согласно данной градации, при rH_2 выше 27 преобладают окислительные процессы, при 22–25 – восстановительные, а ниже 20 – интенсивные восстановительные. В нашем случае только на одной станции (ст. 17 в 2015 г.)

(см. рисунок, а) зафиксирован показатель r_{H_2} , близкий к 27, следовательно, на данной станции (Северный мол) преобладали окислительные процессы. На остальных станциях в исследуемый период значения показателя r_{H_2} были существенно ниже 20, что говорит об интенсивных восстановительных процессах в исследуемых морских грунтах.

Натуральная влажность в донных осадках составила 36–68 % в 2012 г., 31–71 % в 2015 г. и 52–68 % в 2018 г. (табл. 2). Эти значения соответствуют гранулометрическому составу донных отложений. В целом на большинстве станций по физико-химическим показателям наблюдаются восстановительные условия среды и большие концентрации накопленных в осадках органических веществ: ХЭВ в пределах 100–2280 мг·100 г⁻¹ возд.-сух. д. о. (табл. 2). Повсеместная встречаемость митилястеров в таких условиях подтверждает устойчивость моллюсков к органическому загрязнению.

При корреляционном анализе учитывали только те станции б. Севастопольской, на которых были обнаружены митилястеры ($n = 15$). В 2012 г. не выявлена зависимость между численностью, биомассой моллюсков и физико-химическими показателями донных осадков. В последующие годы (2015–2018 гг.) отмечена прямая зависимость между численностью и концентрацией ХЭВ и НУ с коэффициентами корреляции r , равными 0.94 и 0.85 соответственно (табл. 3). Обратная зависимость наблюдается между численностью и Eh ($r = -0.79$). Наиболее тесная прямая взаимосвязь была с концентрацией ХЭВ ($r = 0.94$). В 2015 г. отмечена прямая зависимость между концентрацией ХЭВ и биомассой моллюсков ($r = 0.72$). В 2018 г. наблюдалась прямая зависимость между биомассой митилястеров и Eh ($r = 0,6$). По полученным корреляционным данным можно отметить увеличение численности (2015, 2018 гг.) и биомассы (2015 г.) митилястеров при повышенных концентрациях ХЭВ.

Известно, что при высоких уровнях органического загрязнения (IV, V) происходит деградация и перестройка биоценозов [25]. Начиная с III уровня загрязнения, резко изменяется трофическая структура бентоса, наблюдается

Т а б л и ц а 3. Коэффициенты корреляции между численностью и биомассой моллюсков *Mytilaster lineatus* и физико-химическими параметрами среды

T a b l e 3. Correlation coefficients between the abundance and biomass of *Mytilaster lineatus* mollusks and the physico-chemical parameters of the environment

Характеристика / Characteristic	Год / Year	pH	Eh, мВ / Eh, mV	H, %	ХЭВ, мг·100 г ⁻¹ / CES, mg·100 g ⁻¹	НУ, мг·100 г ⁻¹ / PNCs, mg·100 g ⁻¹
Численность / Abundance	2012	-0.32	0.25	0.10	0.03	-0.18
	2015	0.14	-0.79	0.38	0.94	0.85
	2018	-0.47	-0.04	-0.60	0.72	0.89
Биомасса / Biomass	2012	-0.26	0.39	0.20	-0.05	-0.19
	2015	-0.59	-0.34	0.30	0.72	0.40
	2018	0.04	0.60	-0.30	0.23	0.43

изменение его качественного состава: некоторые виды выбывают из сообщества, а более устойчивые к загрязнению виды занимают доминирующие позиции. Увеличение количественных показателей митилястеров при высоком V уровне загрязнения указывает на устойчивость данного вида к органическому загрязнению. Несмотря на то что такая зависимость наблюдалась в акватории с высокой антропогенной нагрузкой, количественные показатели в б. Севастопольской были ниже, чем в условно чистой акватории (б. Ласпи).

Для сравнения: в условно чистой акватории б. Ласпи средняя численность митилястеров составила $126 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$, а биомасса – $3.5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ [31]. Индекс ИФО для морских грунтов б. Ласпи составил 8.57, что позволяет говорить о большем энергетическом вкладе исследуемых моллюсков в условно чистой акватории, чем в акватории с хроническим нефтяным загрязнением. В б. Ласпи донные отложения представлены в основном песками. Содержание ХЭВ в них в среднем не превышало $42 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ воздушно-сухого вещества, что соответствует I уровню загрязнения [20]. Несмотря на превышение ПДК НУ в морской воде в последние годы, НУ в песчаных грунтах зафиксированы на уровне следовых концентраций [20]. Причем уровни ХЭВ и НУ в донных осадках б. Ласпи остаются в пределах, близких к уровню 1980-х гг., что говорит о стабильно благополучной экологической ситуации в данном районе. В 2015 г. была проведена оценка качества морских вод по гидрохимическим показателям бухт Севастопольской и Ласпи. Установлено, что на некоторых участках б. Севастопольской придонные воды находились в состоянии гипоксии, в отличие от вод б. Ласпи⁴⁾. Известно также, что песчаные грунты более насыщены кислородом, чем илы. В последних, в свою очередь, быстрее происходят процессы накопления органических веществ, в том числе и нефтяных углеводородов, что непосредственно влияет на качество донных осадков и, как следствие, на плотность поселения и биомассу моллюсков.

Заключение

Митилястеры обитают в различных акваториях с разной степенью загрязнения морской среды нефтью и нефтепродуктами. Эти моллюски распространены повсеместно, образуют массовые поселения на искусственных и естественных твердых субстратах, обитают в илистых и песчаных донных отложениях. Благодаря своему обилию исследуемые моллюски формируют мощный природный биофильтр, влияя на потенциал самоочищения морской среды.

На обилие митилястеров, обитающих на твердых естественных и искусственных субстратах, в первую очередь влияет не загрязнение морской среды, а температура воды и прибойно-волновые явления. Этот моллюск устойчив к органическому загрязнению. Его средняя численность ($28\,388 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$) и биомасса ($1705 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$) на гидротехнических сооружениях б. Севастопольской в условиях хронического нефтяного загрязнения акватории находились на одном уровне, однако на отдельных участках были выше, чем в условно чистых районах (акватория ЮБК). При этом зависимость между численностью

⁴⁾ Качество морских вод по гидрохимическим показателям / под. редакцией А. Н. Коршенко // Ежегодник 2021. Москва : Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, 2023. С. 248.

и биомассой митилястеров, обитающих на искусственных субстратах в бухте, и концентрациями НУ в морской воде отсутствует. Наиболее высокие значения ИФО получены для искусственных субстратов б. Севастопольской, что указывает на значимый вклад митилястеров, обитающих на данных субстратах в условиях хронического нефтяного загрязнения, в трансформацию вещества и энергии.

Анализ средних значений численности и биомассы митилястеров в исследуемые годы показал, что количество моллюсков в морских грунтах б. Севастопольской увеличилось при постоянно высоких концентрациях ХЭВ ($140\text{--}2280 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) и НУ ($110\text{--}887 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). В 2015 и 2018 гг. выявлена прямая зависимость обилия митилястеров от уровня загрязнения донных отложений органическими веществами (для ХЭВ коэффициент корреляции r составил 0.94, для НУ – 0.85).

На функциональность донного сообщества оказывают воздействие физико-химические показатели донных осадков, которые либо ускоряют, либо замедляют процессы окисления, изменяя тем самым уровень кислорода. Наиболее важным показателем, влияющим на численность и биомассу моллюсков, является окислительно-восстановительный потенциал донных осадков, от которого была отмечена прямая зависимость ($r = 0.6$). Для других показателей (рН, натуральная влажность) подобная связь отсутствовала или была слабо выражена.

Выявлено, что в донных осадках условно чистой акватории б. Ласпи с минимальным уровнем нефтяного загрязнения (концентрации НУ в донных отложениях не превышали $5 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) средняя численность и биомасса митилястеров были выше, чем на грунтах б. Севастопольской с хроническим нефтяным загрязнением морских грунтов и высокими концентрациями ХЭВ и НУ в донных отложениях, соответствующими V уровню загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьёва О. В. Роль митилид (Mollusca: Mytilidae) в процессах самоочищения морской воды от нефтяных углеводородов // Экология моря. 2007. Вып. 73. С. 91–100. EDN UKFFBN.
2. Соловьёва О. В. Естественный биофильтр гидротехнических сооружений Крымского побережья в рекреационный период // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2017. Т. 27, вып. 3. С. 311–321. EDN ZISZCV.
3. Митилиды Чёрного моря / В. Е. Заика [и др.]. Киев : Наукова думка, 1990. 208 с.
4. Говорин И. А. Роль мидий из обрастания берегозащитных гидротехнических сооружений в формировании микробиологических характеристик морской среды пляжных акваторий // Гидробиологический журнал. 2006. Т. 42, № 3. С. 41–50.
5. Biomanipulation as a Restoration Tool to Combat Eutrophication: Recent Advances and Future Challenges / E. Jeppesen [et al.] // Advances in Ecological Research. 2012. Vol. 47. P. 411–488. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398315-2.00006-5>
6. Матишов Г. Г., Гаргона Ю. М., Сарвилина С. В. Связь изменений зообентоса Азовского моря с колебаниями атмосферной циркуляции // Доклады Академии наук. 2010. Т. 430, № 4. С. 544–547. EDN KZYIYD.

7. Корпакова И. Г., Елецкий И. Ю. Влияние экологических факторов на формирование биоценозов моллюсков в юго-восточном регионе Азовского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2020. № 3. С. 13–18. EDN FKQDHF. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2020-3\(294\)-13-18](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2020-3(294)-13-18)
8. Соловьёва О. В. Потоки нефтяных углеводородов через поселение мидий, обитающих на южном молу Севастопольской бухты (Чёрное море) // Морской экологический журнал. 2007. 4, № 4. С. 61–68.
9. Соловьёва О. В. Восстановление митилидного обрастания гидротехнического сооружения в условиях Севастопольской бухты (Чёрное море) // Вестник Удмуртского государственного университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, вып. 3. С. 70–76. EDN ULDYBF.
10. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Под ред.: О. Г. Миронова, С. В. Алёмова. Симферополь : ИТ «АРИАЛЬ», 2018. 276 с. <https://doi.org/10.21072/978-5-907118-89-8>
11. Соловьёва О. В. Динамика совместных поселений *Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel. на крупном гидротехническом сооружении в условиях Севастопольской бухты (Черное море) // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3. С. 83–89. EDN ZEVXPL.
12. Шурова Н. М. Структурно-функциональная организация популяции мидий *Mytilus galloprovincialis* Черного моря. Киев : Наукова думка, 2013. 206 с.
13. Соловьёва О. В. Митилидное обрастание отдельных гидротехнических сооружений в прибрежных акваториях Севастополя (Крым, Черное море) // Экология и строительство. 2019. № 2. С. 27–34. EDN OCPRQN. <https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-02-004>
14. Макаров М. В., Бондаренко Л. В., Копий В. Г. Макрозообентос естественных твердых субстратов бухты Карантинная (Крым, Черное море) // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія Біологія. 2010. № 3. С. 149–153. EDN ZVYFTP.
15. Макаров М. В., Ковалева М. А. Структура таксоцены Mollusca на естественных твердых субстратах в акваториях охраняемых районов Крыма // Экосистемы. 2017. Вып. 9. С. 20–24. EDN ZXQXGL.
16. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 185 с. EDN XXFQVL.
17. Ациховская Ж. М., Чекменёва Н. И. Оценка динамической активности вод района бухты Ласпи (Черное море) // Экология моря. 2002. Т. 59. С. 5–8. EDN WIAGPD.
18. Миронов О. Г., Миронов О. А. Нефтяные углеводороды в морской воде прибрежной акватории города Севастополя // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 9. С. 25–29. EDN UHLCGN.
19. Мониторинг экологического состояния бухты Артиллерийская (Севастополь, Чёрное море) / О. Г. Миронов [и др.] // Морской экологический журнал. 2012. Т. 12, № 1. С. 41–52. EDN SZIOQX.
20. Санитарно-биологическая характеристика прибрежной акватории ландшафтного заказника «Ласпи» (Черное море) / Е. А. Тихонова [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 95–106. EDN KLCMWN. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-3-95-106>
21. Соловьёва О. В. Динамика поселения мидий и митилиастеров на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий // Водные биоресурсы и среда обитания. 2021. Т. 4, № 3. С. 38–49. EDN MKGOLX. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2021_4_3_38

22. *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. EDN UNYDEF.
23. *Мальцев В. И.* О возможности применения показателя функционального обилия для структурных исследований зооценозов // *Гидробиологический журнал*. 1990. Т. 26, № 1. С. 87–89. EDN YUFLRZ.
24. Макрозообентос обрастаний гидротехнических сооружений в районах, различающихся по экологическим условиям у побережья Крыма (Черное море) / М. В. Макаров [и др.] // *Экологический мониторинг и биоразнообразие*. 2016. Т. 11, № 1. С. 76–80. EDN WKFWOV.
25. *Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н.* О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // *Гидробиологический журнал*. 1986. Т. 22, № 6. С. 76–78. EDN YZBBOM.
26. *Казанкова И. И.* Определение потенциальной популяемости поселений мидии, митилястера и анадары в прибрежных акваториях Черного и Адриатического морей с помощью экспериментальных субстратов // *Системы контроля окружающей среды*. 2019. № 3. С. 112–119. EDN AQZSIG. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2019-3-112-119>
27. Содержание углеводов и индикаторных групп бактерий в морской среде бухты Ласпи (Южный берег Крыма) / Е. А. Тихонова [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2024. № 1. С. 113–129. EDN SIPAON.
28. Макрофауна обрастаний естественных твердых субстратов (валунов) в акватории природного заповедника «Мыс Мартыан» (Черное море, Крым) / М. В. Макаров [и др.] // *Материалы XVII Международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и юга России»*, Нальчик, 05–06 ноября 2015 г. Махачкала : Типография ИПЭ РД, 2015. С. 484–487. EDN ZEAPCX.
29. *Осадчая Т. С., Алемов С. В., Витер Т. В.* Комплекс «донные осадки – бентос» в оценке экологического статуса Севастопольской бухты (Черное море) // *Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование: сб. ст. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 125-летию проф. В. А. Водяницкого, г. Севастополь, 28 мая – 01 июня 2018*. Севастополь : Колорит, 2018. С. 188–194. EDN XSXIQX.
30. *Кирюхина Л. Н., Губасарян Л. А.* Биогеохимические характеристики черноморских осадков Крымского шельфа // *Экология моря*. 2000. Вып. 50. С. 18–21. EDN WIADZV.
31. *Ревков Н. К., Николаенко Т. В.* Биоразнообразие зообентоса прибрежной зоны Южного берега Крыма (район бухты Ласпи) // *Биология моря*. 2002. Т. 28, № 3. С. 170–180. EDN ZIUTDJ.

Поступила 13.05.2024 г.; одобрена после рецензирования 14.10.2024 г.; принята к публикации 17.12.2024 г.; опубликована 31.03.2025 г.

Об авторах:

Ткаченко Юлия Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), **ORCID ID: 0009-0001-1752-1043; Scopus Author ID: 1220495; SPIN-код: 9716-3111, yulechkatkachenko.90@mail.ru**

Тихонова Елена Андреевна, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-9137-087X**; **Scopus Author ID: 57208495804**; **ResearcherID: X-8524-2019**; **SPIN-код: 3786-7334**, *tihonoval@mail.ru*

Витер Татьяна Вадимовна, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **ORCID ID: 0000-0002-6792-5548**; **Scopus Author ID: 57208484620**; **SPIN-код: 5057-4796**; *tatjana-viter@rambler.ru*

Заявленный вклад авторов:

Ткаченко Юлия Сергеевна – пробоподготовка проб донных отложений, анализ полученных результатов и литературных источников по теме исследования, написание и оформление статьи

Тихонова Елена Андреевна – постановка целей и задач исследования, отбор проб донных отложений, определение физико-химических параметров донных отложений, корректировка текста статьи

Витер Татьяна Вадимовна – участие в мониторинговых съемках бухты, определение численности и биомассы митилястеров в донных отложениях б. Севастопольской за период 2012–2018 гг., обсуждение результатов, написание статьи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.