



УДК 594.1:627

ДИНАМИКА ПОСЕЛЕНИЯ МИДИЙ И МИТИЛЯСТЕРОВ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ РЕКРЕАЦИОННЫХ АКВАТОРИЙ

© 2021 О. В. Соловьева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ),
г. Севастополь 299011, Россия
E-mail: kozl_ya_oly@mail.ru

Аннотация. В условиях прибрежных акваторий гидротехнические сооружения формируют дополнительные площади для развития сообщества обрастания. В последние годы митилидное обрастание твердых субстратов крымского побережья претерпевает трансформацию. Данные явления вызывают изменение естественных биофильтров, формируемых на поверхности гидротехнических сооружений, и, как следствие, изменение потенциала самоочищения акваторий. Целью настоящей работы стали оценка межгодовой динамики поселений *Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel. и оценка мощности биофильтра, формируемого митилидными моллюсками, на гидротехнических сооружениях в рекреационных акваториях в период курортного сезона. В среднем по исследуемым сооружениям за период с 2015 по 2018 г. численность мидий сократилась с 1125 ± 523 до 462 ± 221 экз./м². Биомасса данного вида с 893 ± 397 г/м² снизилась до 462 ± 221 г/м². Размерная структура поселений мидий не изменилась. Для отдельных акваторий сохранились особенности размерного состава, выявленные ранее. В период с 2015 по 2018 г. удалось зафиксировать существенное снижение показателей численности и биомассы митилястеров. Численность моллюсков сократилась с 33443 ± 11084 до 1094 ± 228 экз./м². Биомасса исследуемого вида снизилась с 2492 ± 1165 до 1099 ± 332 г/м². Размерный состав митилястеров за период исследования в целом не изменился. В результате снижения плотности поселения и биомассы митилидных моллюсков в 2018 г. объемы, фильтруемые моллюсками, были существенно ниже, чем в 2015 г. Для мидий средний показатель в 2018 г. составлял 4640 ± 4123 л/сут.·м², что почти в 4 раза меньше показателя 2015 г. Для митилястеров настоящий показатель в 2018 г. составлял в среднем 10256 ± 3875 л/сут.·м². Таким образом, удалось зафиксировать сокращение общей мощности естественного биофильтра на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя и, как следствие, снижение потенциала самоочищения указанных акваторий.

Ключевые слова: мидии, митилястеры, гидротехнические сооружения, биофильтр, Черное море

DYNAMICS OF MUSSEL AND MYTILASTER SETTLEMENTS ON THE HYDRAULIC STRUCTURES OF RECREATIONAL WATERS**O. V. Soloveva***A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol 299011, Russia**E-mail: kozl_ya_oly@mail.ru*

Abstract. In the coastal waters, hydraulic structures form additional areas for the development of the fouling community. In recent years, Mytilidae fouling of the solid substrates in the Crimean coastal waters undergoes a transformation. These phenomena cause a change in the natural biofilters aggregated on the surface of hydraulic structures and, as a result, a change in the self-cleaning capacity of the water areas. This work is aimed at the assessment of the inter-annual dynamics of the settlements of *Mytilus galloprovincialis* Lam. and *Mytilaster lineatus* Gmel. and the assessment of the capacity of the biofilter formed by Mytilidae molluscs on hydraulic structures in recreational waters during the beach season. On average, for the period from 2015 to 2018, the mussel abundance at the investigated structures decreased from $1,125 \pm 523$ to 462 ± 221 ind./m². The biomass of this species decreased from 893 ± 397 to 462 ± 221 g/m². The length frequency in the mussel settlements has not changed. For certain areas, the characteristics of the length composition identified earlier have been preserved. A significant decrease in the abundance and biomass of mytilasters was recorded for 2015–2018. The abundance of these molluscs decreased from $33,443 \pm 11,084$ to $1,094 \pm 228$ ind./m². The biomass of the investigated species decreased from $2,492 \pm 1,165$ to $1,099 \pm 332$ g/m². The length composition of the mytilaster for the period of this investigation remained relatively unchanged. As a result of the decline in the settlement density and biomass of Mytilidae molluscs, the volumes of the water filtered by the molluscs were significantly lower in 2018 than in 2015. For mussels, the average value was $4,640 \pm 4,123$ L/day·m² in 2018, which is almost 4 times lower than the said value in 2015. In 2018, this value for mytilasters was, on average, $10,256 \pm 3,875$ L/day·m². Thus, the decrease in the total performance of the natural biofilter on the hydraulic structures in the recreational waters of Sevastopol and, as a result, the reduction in the self-cleaning capacity of these waters have been recorded.

Keywords: mussels, mytilasters, hydraulic structures, biofilter, Black Sea

ВВЕДЕНИЕ

Митилидные моллюски *Mytilus galloprovincialis* Lam., 1819 и *Mytilaster lineatus* Gmel., 1791 являются наиболее распространенными представителями макрозообентоса твердых субстратов Черноморского побережья. За последние 30 лет мидию, обитающую на твердых субстратах, исследовали крайне мало [1]. По имеющимся данным, в последние годы митилидное обрастание твердых субстратов крымского побережья претерпевает трансформацию. Снижается доля мидий, повышается — митилястеров. Общая численность указанных видов также изменяется [2–5]. Эти процессы ученые связывают как с биотическими факторами: появлением видов-вселенцев, увеличением эвтрофирования [1], — так и с абиотическими: прогревом воды [6] и волновым воздействием, особенно значимым в поверхностном горизонте [7, 8], характером и твердостью субстрата [1, 7] и др. При этом четкого заключения о причинах происходящих

колебаний численности митилид на твердых субстратах крымского побережья нет.

В условиях прибрежных акваторий гидротехнические сооружения формируют дополнительные площади для развития сообщества обрастания, образуя значительные по площади поверхности для обитания представителей зообентоса [8, 9]. На протяжении более чем десяти лет исследовались митилидные поселения на гидротехнических сооружениях портовых акваторий Севастополя. На их подводных частях моллюски *Mytilus galloprovincialis* Lam., 1819 и *Mytilaster lineatus* Gmel., 1791 образуют обильные поселения, численность которых достигает 5–6 тыс. экз. на 1 м² [8, 10]. В результате формируется достаточно мощный биофильтр, потенциал которого при высокой плотности митилидных поселений может достигать 53 м³/сут·м² [9]. Также формируются значительные дополнительные поверхности для развития перифитонных организмов, активно участвующих в процессах самоочищения моря [8, 11]. Как

показали наши исследования [12], проведенные однократно на одной из интенсивно эксплуатируемых причальных стенок на набережной акватории Севастополя, благодаря наличию митилидных моллюсков в составе обрастания набережной на 1 м² ее поверхности дополнительно образуется 30 м² субстрата для формирования сообщества микроперифитона. Приведенные данные показывают значимость искусственных сооружений для формирования митилидных поселений и, как следствие, повышения потенциала самоочищения акваторий. Кроме того, полученные результаты расширяют сведения о современном состоянии поселений эпибионтных двустворчатых моллюсков в прибрежной зоне Крымского полуострова.

Продолжением такого рода работ является исследование митилидного обрастания гидротехнических сооружений рекреационных акваторий. Самоочищение морской воды имеет большое значение в рекреационных зонах, подвергающихся в летнее время загрязнению рядом органических веществ. От интенсивности указанных процессов во многом зависит санитарное благополучие пляжей. Как показали предыдущие исследования, произведенные в 2015 г., вклад митилидного обрастания гидротехнических сооружений в самоочищение рекреационных акваторий неодинаков ввиду разной плотности поселения моллюсков на их поверхности. Также данный показатель не является константой как на протяжении рекреационного сезона [8], так и в многолетнем аспекте [1]. Данные явления вызывают трансформацию естественных биофильтров, формируемых на поверхности гидротехнических сооружений и, как следствие, изменение потенциала самоочищения акваторий.

Целью настоящей работы стали оценка межгодовой динамики поселений *Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel. и оценка мощности биофильтра, формируемого митилидными моллюсками на гидротехнических сооружениях в рекреационных акваториях в период курортного сезона. В рамках реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи: определение показателей обилия и размерной структуры поселений *Mytilus galloprovincialis* Lam. (Lam., 1819) и *Mytilaster lineatus* Gmel. (Gmel., 1791) в 2018 г. оценка временной динамики митилидных поселений (2015–2018 гг.); оценка изменения мощности

митилидного биофильтра в рекреационный период 2015–2018 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работы проводили на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий севастопольского побережья. Выбранные гидротехнические сооружения расположены в акваториях различного типа и отличаются местоположением, глубиной, уровнем загрязнения и степенью прибойности. Все выбранные для исследования сооружения находятся на территории пляжей, акватории которых во время курортного сезона зачастую оказываются неблагоприятными по санитарным показателям. Сооружения представляли собой: бетонную буну в районе пляжа «Омега» в б. Круглая (ст. 1, 2) — 44.598848 N, 33.441329 E, бетонную буну на пляже «Парк Победы» (ст. 3, 4) — 44.610157 N, 33.457539 E, металлическую трубу канализационного коллектора в районе пляжа «Песочный» в б. Песочной (ст. 5) — 44.610157 N, 33.457539 E и бетонную набережную в районе пляжа «Хрустальный» в б. Севастопольской (ст. 6) — 44.610157 N, 33.457539 E (рис. 1). Буна на ст. 1, 2 расположена в полузамкнутом водоеме с песчаным дном и небольшими глубинами, в результате чего летом вода в нем существенно прогревается и трофность водоема повышается [13]. Ст. 3, 4 расположены на открытом участке побережья, оборудованного бетонными бунами для удержания пляжа. Ст. 5 б. Песочная оправдывает свое название, являясь достаточно открытой. Ст. 6 находится на пляже м. Хрустальный, оборудованном бетонной набережной, на юго-западном побережье б. Севастопольской, одной из самых загрязненных в данном регионе.

Сбор обрастаний проводили однократно в мае, августе и октябре 2018 г. Обрастания отбирали с суши (с поверхности гребней бун, уреза набережной и т. п.), что позволяло получить материал из приповерхностного горизонта (глубина до 1 м). Пробы брали ручной драгой с площадью захвата 16×16 см. Из обрастаний были выделены мидии и митилястеры, другие компоненты не исследовались. Очищенные от обрастания моллюски были подсчитаны с целью определения их численности и биомассы. Далее их измеряли штангенциркулем (точность 0,1 мм) и разделяли на размерные группы: [1–10), [10–20)...[40–50] мм («[» — закрытый интервал; «(» — открытый интервал). Инди-



Рис. 1. Схема расположения станций пробоотбора

Fig. 1. Outline map of the location of the sampling stations

видуальные размеры моллюсков в ходе работ не регистрировались. Особей мельче 1 мм не учитывали. После удаления жидкости из створок моллюсков их взвешивали на весах OHAUS SPX222 (точность 0,01 г).

Проверка нормальности данных показала негауссовский характер распределения исследуемых величин. Для дальнейшей статистической обработки данные нормализовались логарифмированием по основанию 10 (Lg). Для проверки достоверности гипотезы о межгодовой изменчивости плотности поселения и биомассы моллюсков использовали тест Стьюдента. Попарное сравнение данных о плотности поселения и биомассе митилястеров в различные периоды курортного сезона проводилось по Критерию знаков. Различия считались статистически достоверными при уровне значимости 0,05. Обработка данных проводилась с помощью программных пакетов Microsoft Excel и Statistica 12.

Фильтрационная работа ($л \cdot сут^{-1} \cdot м^{-2}$), совершаемая за сутки моллюсками, обитающими на $1 м^2$ гидротехнического сооружения, оценивалась исходя из средней скорости фильтрации моллюсков в i -ой размерной группе (F_i , $л \cdot экз^{-1} \cdot сут^{-1}$) [14, 15] и численности размерных групп (N_i , $экз \cdot м^{-2}$) по формуле 1:

$$F_{\Sigma} = \Sigma(F_i \cdot N_i) \quad (1).$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Объектами исследования стали гидротехнические сооружения, расположенные в рекреационных акваториях Севастополя. В частности, работы проведены на бетонной набережной Севастополь-

ской бухты в районе пляжа «Хрустальный»; на бетонном кожухе, закрывающем канализационный коллектор в б. Песочной; на буне, расположенной в районе пляжа «Парк Победы»; на одной из бун в б. Круглой. Обследованные сооружения служат дополнительным субстратом для развития зоообрастания, активно влияющего на интенсивность самоочищения прибрежных акваторий.

Характеристика поселения мидий

Численность мидий на обследуемых сооружениях колебалась от 0 до $5206 экз./м^2$, составляя в среднем за сезон $455 \pm 294 экз./м^2$. Обильные поселения митилидных моллюсков на исследованных объектах обнаружены только в районе м. Хрустальный (рис. 2, А), где численность мидий колебалась от 1184 до $5206 экз./м^2$, составляя в среднем за сезон $2554 \pm 1327 экз./м^2$. На остальных сооружениях численность этого вида не превышала $80 экз./м^2$, а зачастую равнялась 0. Для сравнения, в 2015 г. [16] численность мидий в период исследования колебалась от 65 до $14727 экз./м^2$ при среднем значении $1125 \pm 523 экз./м^2$. Наибольших значений в 2015 г. по результатам трех съемок численность мидий достигала на ст. 1 (м. Хрустальный), а минимальные значения были характерны для бун б. Омега и «Парка Победы» [16].

Диапазон значений биомассы мидий был 0–3008, со средним показателем $462 \pm 221 экз./м^2$. Биомасса мидий (рис. 2, Б) также была высокой в Севастопольской бухте и колебалась в пределах $1823–3008 г/м^2$, составляя в среднем за лето $2448 \pm 344 г/м^2$. На других сооружениях биомасса не превышала $221 г/м^2$, что было на порядок ниже показателей м. Хрустальный. В 2015 г. биомасса мидий колебалась от 5 до $5516 г/м^2$ со средним значением $893 \pm 397 г/м^2$. Наибольшие показатели численности мидий, как и в последующих исследованиях в 2018 г., выявлены на пляже м. Хрустальный, где они достигали $5516 г/м^2$.

Статистический анализ (тест Стьюдента) показал, что в 2015 г. численность мидий в среднем по гидротехническим сооружениям была выше, чем в 2018 г. ($p_v=0,001$) (рис. 3, А). Попарное сравнение майских, августовских и октябрьских данных за 2015 и 2018 гг. показало (Критерий знаков), что значимые отличия были по численности мидий в мае ($p_v=0,22$) и августе ($p_v=0,22$). В октябре данные выборки были статистически неразличимы ($p_v=0,04$). Для биомассы (рис. 3, Б) не удалось выявить статистически значимых различий в

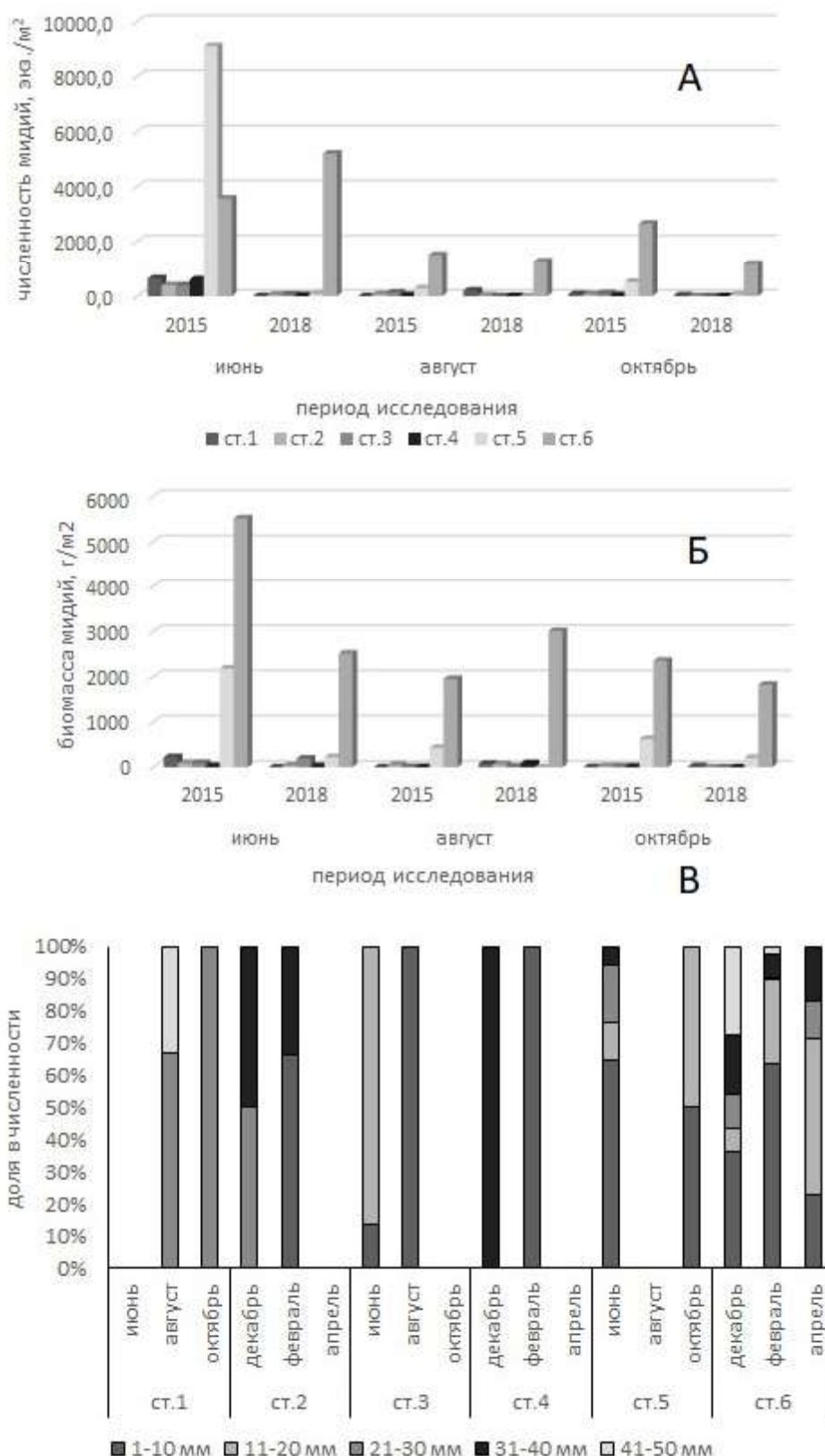


Рис. 2. Численность, экз./м² (А), биомасса, г/м² (Б) и размерный состав (В) поселений мидий на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя в 2015 и 2018 гг.

Fig. 2. Abundance, ind./m² (A), biomass, g/m² (B), and length composition (B) of the mussel settlements on the hydraulic structures in the recreational waters of Sevastopol in 2015 and 2018

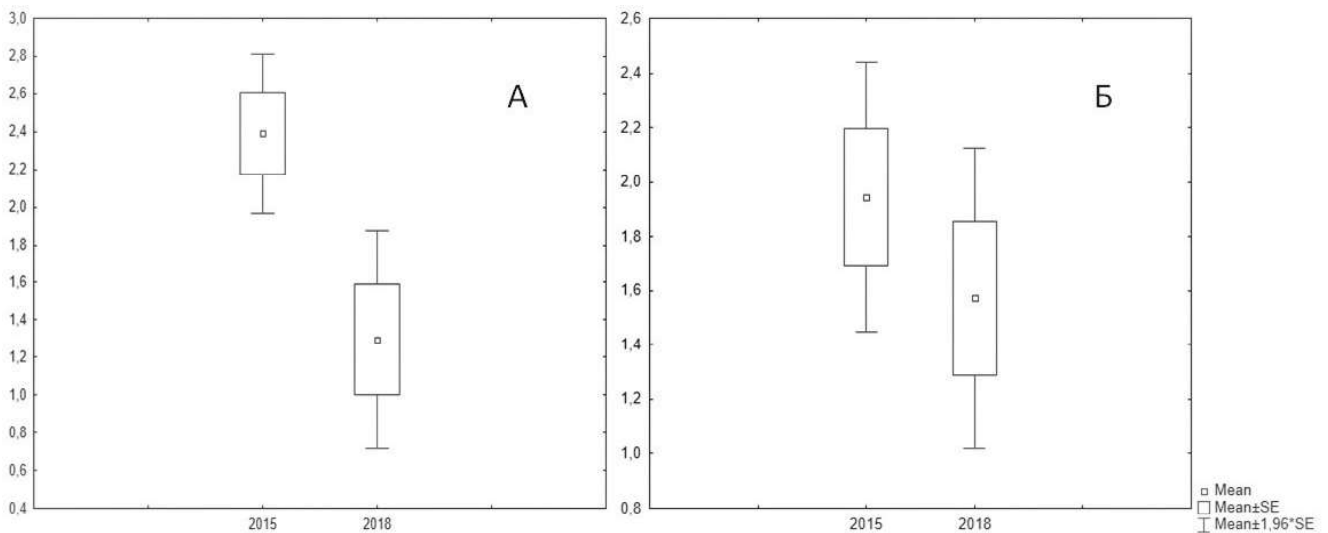


Рис. 3. Статистическая оценка различия характеристик обилия мидий (численность (А) и биомасса (Б)) на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя в 2015 и 2018 гг.

Fig. 3. Statistical assessment of the difference in the characteristics of the mussel settlements (abundance (A) and biomass (B)) on the hydraulic structures in the recreational waters of Sevastopol in 2015 and 2018

показателях 2015 и 2018 гг. (тест Стьюдента, $p_v=0,18$) При этом результаты отдельных съемок имели достоверные различия ($p_v=0,22$).

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что в среднем по обследуемым сооружениям численность мидий сократилась с 1125 ± 523 экз./м² до 462 ± 221 экз./м². Биомасса данного вида с 893 ± 397 г/м² снизилась до 462 ± 221 г/м². В связи с крайне низкими показателями численности сложно говорить о размерной структуре мидиевых поселений. На большинстве объектов обнаружены единичные особи этого вида. Размерный состав представлен на рис. 2, В. В целом на обследованных сооружениях размер мидий не превышал 50 мм. Моллюски размером 40–50 мм отмечены на м. Хрустальном и в б. Круглая. В «Парке Победы» и б. Песочной их размер не превышал 40 мм. В пробах (как на бетоне, так и на металле), за исключением м. Хрустальный, практически отсутствовала молодь длиной до 10 мм. Это свидетельствует о том, что малочисленность мидий связана не столько с их низкой выживаемостью, сколько с отсутствием оседания спата. Литературные данные о пополняемости экспериментальных субстратов говорят о невысоких показателях пополняемости поселений в Севастопольской бухте относительно открытых участков побережья [16]. Это явление авторы объясняют особенностями водообмена, сезонными особенностями вертикального распределения личинок на стадии оседания и

другими факторами. Наряду с прочими факторами, низкая численность мелких мидий может быть связана с различием в пиках оседания педивелигеров. В Севастопольской бухте основной пик приходится на апрель–май [17]. Эту молодь мы фиксируем в июньской пробе (64 %). В других районах оседание могло пройти раньше, и мидии успели подрасти. Например, в отдельные годы на искусственных коллекторах севастопольского взморья отмечалось активное оседание молоди уже с марта [18], в результате чего могли быть обнаружены более крупные моллюски.

В 2015 г. [8] диапазон размеров мидий до начала сезона варьировал от 1 до 70 мм, а в дальнейшем моллюски длиннее 50 мм не встречались. При этом, на бунах б. Круглой и пляжа «Парк Победы» мидии в весенний период не превосходили 40 мм, а в дальнейшем — 30 мм. Основная доля приходилась на особи длиной до 20 мм. Наличие в пробах только сеголеток может быть связано с тем, что летом вода в б. Круглой из-за незначительной глубины существенно прогревается. Вероятно, это и ведет к массовой гибели мидий в летний период [6]. На м. Хрустальный и в б. Песочной моллюски были крупнее. На коллекторе до сезона длина организмов была 1–40 мм, а потом доходила до 50 мм. В целом, за период исследований размерная структура поселений мидий не изменилась. В 2015 г. удалось выявить несколько более крупных особей, не представленных в 2018 г., но, вероятно, это

связано с мозаичностью митилидных поселений. Для отдельных акваторий сохранились особенности размерного состава, выявленные ранее.

Характеристика поселения митилястеров

Митилястеры на исследованных сооружениях образовывали обильные поселения, численность которых колебалась от 33 до 3052 экз./м², при среднем значении 1094±228 экз./м² (рис. 4, А). Максимальных значений она достигала на м. Хрустальном, в то время как в бб. Круглой и Песочной была ниже. Самые малочисленные поселения обнаружены в «Парке Победы», где численность митилястеров не превосходила 150 экз./м². В сравнении с численностью мидий, на м. Хрустальном обилие обоих видов находилось в одних пределах. На остальных объектах исследования численность митилястеров была существенно (на 1–2 порядка) выше, чем мидий.

В 2015 г. численность митилястеров на гидротехнических сооружениях была выше и колебалась в диапазоне 3216–193355 экз./м², со средним значением 33443±11084 экз./м². Снижение численности митилястеров (рис. 5, А) подтверждено статистически (тест Стьюдента, $p=0,00$). Попарное сравнение майских, августовских и октябрьских данных за 2015 и 2018 гг. показало (Критерий знаков), что значимые отличия наблюдались на протяжении всего сезона исследований: в мае ($p_v=0,22$), августе ($p_v=0,68$) и октябре ($p_v=0,68$).

Биомасса митилястеров также изменялась в широких пределах, колеблясь от 19 до 6000 г/м², в среднем составляя 1099±332 г/м². Наибольшие показатели отмечены в Севастопольской бухте. Самые низкие — в «Парке Победы», где максимальная величина достигала 330 г/м². В 2015 г. [8] биомасса митилястеров колебалась не так существенно и преимущественно оставалась в пределах одного порядка (171–18322 г/м², при среднем значении 2492±1165 г/м²). Исключение составил коллектор пляжа «Песочный» в конце весны, когда данный показатель превышал 18000 г/м², а после летней гибели моллюсков снизился до 2074 г/м². Наименьшие показатели биомассы (порядка 5–10 г/м²) отмечались в б. Круглой и «Парке Победы». Сравнение биомассы митилястеров в 2015 и 2018 гг. (рис. 5, Б) показало значимое сокращение их биомассы (тест Стьюдента, $p=0,03$).

Таким образом, в период с 2015 по 2018 г. было зафиксировано существенное снижение показателей численности и биомассы митилястеров на

гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя. Численность моллюсков сократилась с 33443±11084 до 1094±228 экз./м². Биомасса исследуемого вида снизилась с 2492±1165 г/м² до 1099±332 г/м².

Размерный спектр митилястеров был максимальным в бб. Круглой и Песочной, где длина отдельных особей превосходила 20 мм. Моллюски таких размеров не часто встречаются в севастопольском регионе [19]. В акваториях пляжа «Парк Победы» и Севастопольской бухты митилястеры длиннее 20 мм не были обнаружены. В бб. Севастопольской, Песочной и в «Парке Победы» преобладали по численности особи длиной менее 10 мм. В б. Круглой основная доля приходилась на моллюски длиной 10–20 мм. В 2015 г. наибольшая доля крупных особей была в б. Круглой. На остальных объектах митилястеры длиннее 20 мм практически отсутствовали. На большинстве станций доля мелких организмов от весны к осени увеличивалась. Исключение также составила б. Круглая. Таким образом, размерный состав моллюсков за период исследования в целом не изменился: в акваториях бб. Круглая и Песчаная обитали наиболее крупные моллюски, а на остальных гидротехнических сооружениях размер особей не превышал 20 мм, с доминированием организмов длиной менее 10 мм.

Оценка мощности биофильтра

Участие обрастания гидротехнических сооружений в формировании санитарно-биологических условий акватории во многом определяется мощностью биофильтра, формируемого на их поверхности, которая является функцией биомассы моллюсков-фильтраторов [7], обитающих на конструкции. Однако для оценки этой величины удобнее использовать информацию о средней скорости фильтрации моллюсков различных размерных групп и численности указанных групп, как это делалось ранее [19]. Для расчета также принимается, что моллюски фильтруют 18 часов в сутки [14]. Данные о скорости фильтрации мидиями взяты по [14], фильтрационная способность митилястеров рассчитана на основании [15].

Мощность биофильтра, создаваемого мидиями на исследуемых сооружениях, в среднем за курортный сезон составляла 273–25252 л/сут·м² (рис. 6), при среднем значении 4640±4123 л/сут·м². Объем биофильтра, формируемого митилястерами, составлял 1377–25129 л/сут·м² и в среднем равнялся 10256±3875 л/сут·м². Таким образом, в среднем

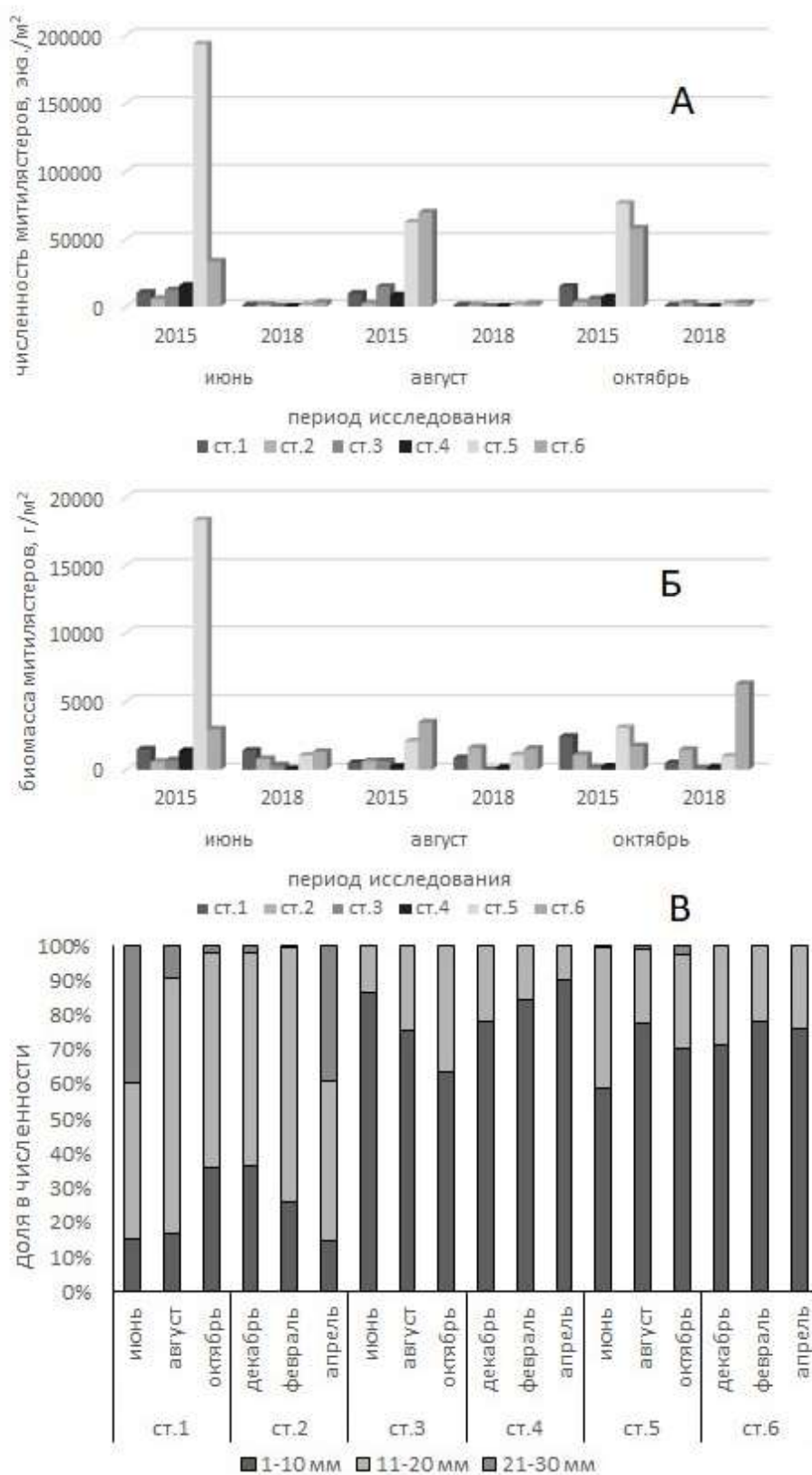


Рис. 4. Численность, экз./м² (А), биомасса, г/м² (Б) и размерный состав (В) поселений митилястеров на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя в 2015 и 2018 гг.

Fig. 4. Abundance, ind./m² (A), biomass, g/m² (Б), and length composition (В) of mytilaster settlements on the hydraulic structures in the recreational waters of Sevastopol in 2015 and 2018

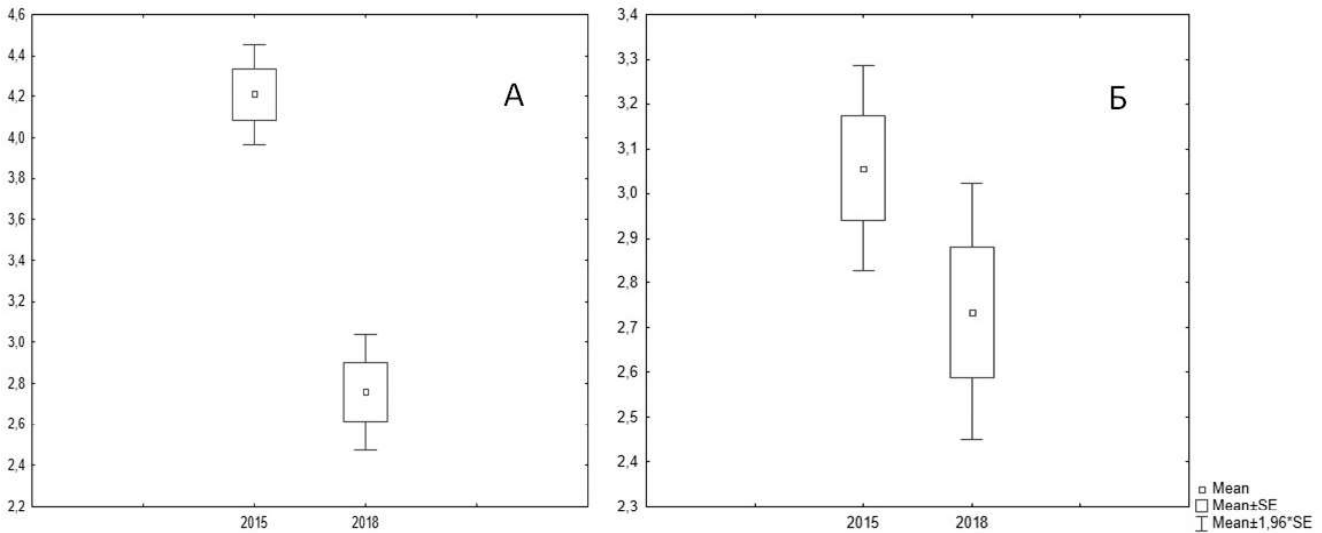


Рис. 5. Статистическая оценка различия характеристик обилия митилястеров (численность (А) и биомасса (Б)) на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя в 2015 и 2018 гг.

Fig. 5. Statistical assessment of the difference in the characteristics of the mytilaster settlements (abundance (A) and biomass (B)) on the hydraulic structures in the recreational waters of Sevastopol in 2015 and 2018

по рекреационным зонам основная доля митилидного биофильтра создается деятельностью митилястеров, которые, благодаря высоким показателям численности, способны совершать большую фильтрационную работу. Исключение составляет м. Хрустальный. На этом участке мощности биофильтра, создаваемого мидиями и митилястерами, равны и достигают максимальных для исследуемых сооружений значений.

В 2015 г. объемы, фильтруемые моллюсками, были существенно выше. Для мидий средний по-

казатель составлял 17110 л/сут·м², что почти в 4 раза больше показателя 2018 г. Для митилястеров настоящий показатель в 2015 г. составлял в среднем 18109 л/сут·м². Таким образом, удалось зафиксировать сокращение общей мощности естественного биофильтра на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя. Сокращение настоящего показателя произошло за счет уменьшения вклада как мидий, так и митилястеров. При этом следует отметить, что биофильтр, формируемый мидиями, уменьшился значительно, чем формируемый митилястерами. Объем фильтрации первого сократился примерно в 4 раза, второго — в 2 раза.

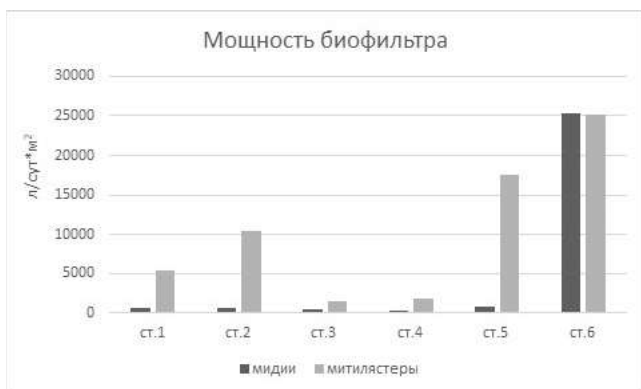


Рис. 6. Мощность естественного митилидного биофильтра (л/сут·м²) на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя в 2018 г.

Fig. 6. Capacity of the natural Mytilidae biofilter (L/day·m²) on the hydraulic structures in the recreational waters of Sevastopol in 2018

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидротехнические сооружения в прибрежных рекреационных акваториях создают дополнительные субстраты для поселений моллюсков-фильтраторов — мидий и митилястеров. Указанные поселения подвержены временной изменчивости, что может быть связано с рядом факторов абиотической, биотической и антропогенной природы. В результате изменения показателей обилия моллюсков изменяется и потенциал естественного самоочищения акваторий.

В среднем по исследуемым сооружениям с 2015 по 2018 г. численность мидий сократилась с 1125±523 до 462±221 экз./м². Биомасса данного

вида с 893 ± 397 г/м² снизилась до 462 ± 221 г/м². Размерная структура поселений мидий не изменилась. Длина обнаруженных мидий не превышала 40 мм. В 2015 г. удалось выявить несколько более крупных особей, не представленных в 2018 г., что, вероятно, связано с мозаичностью митилидных поселений. Для отдельных акваторий сохранились особенности размерного состава, выявленные ранее.

С 2015 по 2018 г. удалось зафиксировать существенное снижение показателей численности и биомассы митилястеров на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя. Численность моллюсков сократилась с 33443 ± 11084 до 1094 ± 228 экз./м². Биомасса исследуемого вида снизилась с 2492 ± 1165 до 1099 ± 332 г/м². Размерный состав митилястеров за период исследования в целом не изменился: в акваториях бб. Круглая и Песчаная обитали наиболее крупные моллюски, на остальных гидротехнических сооружениях размер особей не превышал 20 мм, с доминированием организмов длиной менее 10 мм.

В результате снижения плотности поселения и биомассы митилидных моллюсков в 2018 г. объемы, фильтруемые моллюсками, были существенно ниже, чем в 2015 г. Для мидий средний показатель в 2018 г. составлял 4640 ± 4123 л/сут.·м², что почти в 4 раза меньше показателя 2015 г. Для митилястеров настоящий показатель в 2018 г. составлял в среднем 10256 ± 3875 л/сут.·м². Таким образом, удалось зафиксировать сокращение общей мощности естественного биофильтра на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий Севастополя и, как следствие, снижение потенциала самоочищения указанных акваторий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8). Автор благодарит ведущего инженера Отдела морской санитарной гидробиологии ФИЦ ИнБЮМ Волкова Н.Г. за помощь в отборе проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалева М.А. Двустворчатые моллюски в сообществах макрозообентоса естественных твердых субстратов у берегов Крыма : автореф. дис. канд. биол. наук. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2021. 17 с.
2. Елецкий Б.Д. Концепция сохранения и использования запасов двустворчатых моллюсков мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в восточной части Черного моря : автореф. дис. докт. биол. наук. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного аграрного университета, 2006. 46 с.
3. Шурова Н.М. Структурно-функциональная организация популяции мидий *Mytilus galloprovincialis* Черного моря. К.: Наукова думка, 2013. 206 с.
4. Макаров М.В., Ковалева М.А. Структура таксоцена Mollusca на естественных твердых субстратах в акваториях охраняемых районов Крыма // Экосистемы. 2017. Вып. 9. С. 20–24.
5. Ковалева М.А., Болтачева Н.А., Костенко Н.С. Многолетняя динамика состояния поселения Mutilidae на скалах Карадага (Черное море) // Морской экологический журнал. 2012. Т. 9, № 2. С. 39–44.
6. Говорин И.А., Шацилло Е.И. Перифитонные поселения мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и митилястера *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) в условиях аномально высокой температуры прибрежных морских вод // Ruthenica. 2012. Т. 22, № 2. С. 101–110.
7. Митилиды Черного моря / Под ред. В.Е. Заики. К.: Наукова думка, 1990. 208 с. doi: 10.13140/RG.2.1.1765.6804.
8. Соловьева О.В. Восстановление митилидного обрастания гидротехнического сооружения в условиях Севастопольской бухты (Черное море) // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, вып. 3. С. 70–76.
9. Соловьева О.В. Роль митилид (Mollusca: Mytilidae) в процессах самоочищения морской воды от нефтяных углеводородов // Экология моря. 2007. Т. 73. С. 91–100.
10. Соловьева О.В. Митилидный биофильтр крупного гидротехнического сооружения в акватории Севастопольской бухты (Черное море) // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. 2015. № 4 (20). С. 92–98.
11. Бурдиян Н.В. Количественные показатели бактерий цикла серы в прибрежной зоне акватории Севастополя (Черное море) // Вода: химия и экология. 2016. № 7 (97). С. 49–54.
12. Соловьева О.В., Бурдиян Н.В. Процессы самоочищения на гидротехническом сооружении с обильным митилидным обрастанием // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12 (117). С. 84–90.
13. Ковардаков С.А., Празукин А.В. Структурно-функциональные характеристики донного фитопланктона бухты Круглой (Севастополь) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2012. Вып. 7. С. 138–148.
14. Миронов Г.Н. Фильтрационная работа и питание мидий Черного моря // Труды Севастопольской биологической станции. 1948. № 6. С. 338–352.

15. Петров А.Н., Ревков Н.К. Изучение респирационной и фильтрационной активностей у двух видов моллюсков в зависимости от экологических особенностей мест обитания // Проблемы современной биологии : матер. XVIII науч. конф. молодых ученых биологического факультета МГУ (г. Москва, 20–24 апреля 1987 г.). М.: Изд-во Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 1987. С. 48–50.
16. Соловьева О.В. Трансформация естественного биофильтра гидротехнических сооружений в рекреационный период // Процессы в геосредах. 2018. № 3 (17). С. 44–46.
17. Казанкова И.И. Потенциальная пополняемость мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в условиях южного берега Крыма и Севастопольской бухты // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 4 (30). С. 102–108. doi: 10.33075/2220-5861-2017-4-102-108.
18. Челядина Н.С. Фенотипическая и половая структура поселения мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam., культивируемой на внешнем рейде г. Севастополя (Крым, Черное море) // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3, № 3. С. 86–93. doi: 10.21072/mbj.2018.03.3.09.
19. Соловьева О.В. Влияние гидротехнических сооружений на процессы самоочищения в прибрежной зоне Черного моря : автореф. дис. канд. биол. наук. Севастополь, 2008. 22 с.
4. Makarov M.V., Kovaleva M.A. Struktura taksotsena Mollusca na estestvennykh tverdykh substratakh v akvatoriyakh okhranyaemykh rayonov Kryma [The structure of taxon of molluscs on natural hard substrates in aquatorium of Crimean reserve areas]. *Ekosistemy [Ecosystems]*, 2017, issue 9, pp. 20–24. (In Russian).
5. Kovaleva M.A., Boltacheva N.A., Kostenko N.S. Mnogoletnyaya dinamika sostoyaniya poseleniya Mytilidae na skalakh Karadaga (Chernoe more) [Long-term dynamics of state settlement Mytilidae on Karadag rocks (Black Sea)]. *Morskoy ekologicheskiy zhurnal [Marine Ecological Journal]*, 2012, vol. 9, no. 2, pp. 39–44. (In Russian).
6. Govorin I.A., Shatsillo E.I. Perifitonnye poseleniya midiy *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) i mitilyastera *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) v usloviyakh anomal'no vysokoy temperatury pribrezhnykh morskikh vod [The periphyton settlements of mussels *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) and mytilasters *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) in abnormal high temperature conditions of the coastal sea waters]. *Ruthenica*, 2012, vol. 22, no. 2, pp. 101–110. (In Russian).
7. Mitylidy Chernogo morya [Mytilidae of the Black Sea]. V.E. Zaika (Ed.). Kiev: Naukova dumka [Scientific Thought], 1990, 208 p. doi: 10.13140/RG.2.1.1765.6804. (In Russian).
8. Soloveva O.V. Vosstanovlenie mitilidnogo obrastaniya gidrotekhnicheskogo sooruzheniya v usloviyakh Sevastopol'skoy bukhty (Chernoe more) [Recovery of Mytilidae fouling of hydraulic structures in the Sevastopol Bay (Black Sea)]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle [Bulletin of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences]*, 2015, vol. 25, issue 3, pp. 70–76. (In Russian).
9. Soloveva O.V. Rol' mitilid (Mollusca: Mytilidae) v protsessakh samoochishcheniya morskoy vody ot neftyanykh uglevodorodov [Role of mytilids (Mollusca: Mytilidae) in selfpurification processes of seawater from petroleum hydrocarbons]. *Ekologiya morya [Ecology of the Sea]*, 2007, vol. 73, pp. 91–100. (In Russian).
10. Soloveva O.V. Mitilidnyy biofil'tr krupnogo gidrotekhnicheskogo sooruzheniya v akvatorii Sevastopol'skoy bukhty (Chernoe more) [Biofilter from Mytilidae on the large hydrotechnical structure of Sevastopol water area (Black Sea)]. *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Vestnik. Moscow City University. Natural Sciences]*, 2015, no. 4 (20), pp. 92–98. (In Russian).
11. Burdiyan N.V. Kolichestvennye pokazateli bakteriy tsikla sery v pribrezhnoy zone akvatorii Sevastopolya (Chernoe more) [Quantitative indicators of sulfate reducing and thio-bacteria in the coastal water area of Sevastopol (Black Sea)]. *Voda: khimiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]*, 2016, no. 7 (97), pp. 49–54. (In Russian).

REFERENCES

1. Kovaleva M.A. Dvustvorchatye mollyuski v soobshchestvakh makrozoobentosa estestvennykh tverdykh substratov u beregov Kryma : avtoref. dis. kand. biol. nauk [Bivalve molluscs in the macrozoobenthos communities of natural solid substrates off the coast of Crimea. Extended abstract of Candidate's (Biology) Thesis]. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet [Saint Petersburg State University] Publ., 2021, 17 p. (In Russian).
2. Eletskiy B.D. Kontseptsiya sokhraneniya i ispol'zovaniya zapasov dvustvorchatykh mollyuskov midii *Mytilus galloprovincialis* Lam. v vostochnoy chasti Chernogo morya : avtoref. dis. dokt. biol. nauk [Concept of stock conservation and utilization of bivalve mussels *Mytilus galloprovincialis* Lam. in the eastern part of the Black Sea. Extended abstract of Doctor's (Biology) Thesis]. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Kuban State Agrarian University] Publ., 2006, 46 p. (In Russian).
3. Shurova N.M. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya populyatsii midiy *Mytilus galloprovincialis* Chernogo morya [Structural and functional organization of population of the Black Sea mussel (*Mytilus galloprovincialis*)]. Kiev: Naukova dumka [Scientific Thought], 2013, 206 p. (In Russian).

12. Soloveva O.V., Burdiyan N.V. Protsessy samo-ochishcheniya na gidrotekhnicheskom sooruzhenii s obil'nym mitilidnym obrastaniem [Self-purification processes on the hydraulic engineering structure with abundant Mytilidae fouling]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology], 2018, no. 10–12 (117), pp. 84–90. (In Russian).
13. Kovardakov S.A., Prazukin A.V. Strukturno-funktsional'nye kharakteristiki donnogo fitotsenoza bukhty Krugloy (Sevastopol') [Structural and functional characteristics of the bottom seaweeds community in Kruglaya Bay (Sevastopol)]. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana* [Optimization and Protection of Ecosystems], 2012, issue 7, pp. 138–148. (In Russian).
14. Mironov G.N. Fil'tratsionnaya rabota i pitanie midiy Chernogo morya [Filtration and feeding of Mytilidae in the Black Sea]. *Trudy Sevastopol'skoy biologicheskoy stantsii* [Scientific papers of the Sevastopol Biological Station], 1948, no. 6, pp. 338–352. (In Russian).
15. Petrov A.N., Revkov N.K. Izuchenie respiratsionnoy i fil'tratsionnoy aktivnostey u dvukh vidov mollyuskov v zavisimosti ot ekologicheskikh osobennostey mest obitaniya [Study of respiratory and filtration activity in two types of molluscs depending on the environmental features of their habitats]. In: *Problemy sovremennoy biologii : materialy XVIII nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh biologicheskogo fakul'teta MGU (g. Moskva, 20–24 aprelya 1987 g.)* [Problems of modern biology. Proceedings of the 18th Research Conference of Young Scientists of the MSU Biological Department (Moscow, 20–24 April, 1987)]. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet im. M.V. Lomonosova [Lomonosov Moscow State University] Publ., 1987, pp. 48–50. (In Russian).
16. Soloveva O.V. Transformatsiya estestvennogo biofil'tra gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v rekreatsionnyy period [The natural biofilter of hydrotechnical structures transformation during the recreational period]. *Protsessy v geosredakh* [Processes in GeoMedia], 2018, no. 3 (17), pp. 44–46. (In Russian).
17. Kazankova I.I. Potentsial'naya popolnyaemost' midii *Mytilus galloprovincialis* Lam. v usloviyakh yuzhnogo berega Kryma i Sevastopol'skoy bukhty [Potential recruitment of mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. in the conditions of the southern coast of the Crimea and the Sevastopol Bay]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy* [Monitoring Systems of Environment], 2017, no. 4 (30), pp. 102–108. doi: 10.33075/2220-5861-2017-4-102-108. (In Russian).
18. Chelyadina N.S. Fenotipicheskaya i polovaya struktura poseleniya midii *Mytilus galloprovincialis* Lam., kul'tiviruemoy na vneshnem reyde g. Sevastopolya (Krym, Chernoe more) [Phenotypic and sexual structure of *Mytilus galloprovincialis* Lam., cultivated on the mussel-oyster farm in the outer harbor of Sevastopol City (Crimea, Black Sea)]. *Morskoy biologicheskij zhurnal* [Marine Biological Journal], 2018, vol. 3, no. 3, pp. 86–93. doi: 10.21072/mbj.2018.03.3.09. (In Russian).
19. Soloveva O.V. Vliyanie gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na protsessy samoochishcheniya v pribrezhnoy zone Chernogo morya : avtoref. dis. kand. biol. nauk [Effect of hydraulic structures on self-purification processes in the coastal zone of the Black Sea. Extended abstract of Candidate's (Biology) Thesis]. Sevastopol', 2008, 22 p. (In Russian).

Поступила 19.07.2021

Принята к печати 12.08.2021