



УДК 594.124.628.394.4 (262.5)

О. В. Соловьёва, аспирант

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,
Севастополь, Украина

ПОТОКИ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ЧЕРЕЗ ПОСЕЛЕНИЕ МИДИЙ, ОБИТАЮЩИХ НА ЮЖНОМ МОЛУ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

На южном молу Севастопольской бухты численность мидии на бетонных тетраподах 380 ± 99 экз./м², на каменной наброске – 128 ± 71 экз./м². Объём воды, фильтруемой мидиями, обитающими на подводной части исследуемого мола составляет 53 тыс.м³/сут, что позволяет за сутки отфильтровать 3.3 кг нефти.

Ключевые слова: мидии, биофильтр, гидротехнические сооружения, нефтяные углеводороды, Чёрное море

Изучение потоков загрязняющих веществ является одним из необходимых элементов для построения баланса поллютантов в водоёме и оценки его самоочищающей способности. Известно уравнение баланса нефтяных углеводородов (НУ) в водах Чёрного моря, однако из биологических компонентов оно учитывает только микробиологическую составляющую потока нефтепродуктов через морскую биоту [3]. Попытка оценить потоки нефтяного загрязнения через другие морские организмы в Севастопольской бухте была предпринята [14].

Черноморская мидия, благодаря высокой численности и фильтрационной активности, способствует улучшению качества морской среды и формирует первое звено в системах гидробиологической очистки морской воды и оздоровления прибрежных акваторий [13].

Интенсивное гидростроительство в прибрежной зоне зачастую увеличивает площади, заселённые мидией, и повышает самоочищающую способность акваторий [5, 11, 16]. Одной из разновидностей гидротехнических сооружений являются молы. Они имеют различия в конструкции (гладкостенные блоки, уложенные в виде сплошного массива или хаотичной наброски, каменные насыпи из естественных скальных пород, фигурные железобетонные блоки и т.д.). Иногда создаётся комбинация из перечисленных элементов. Конструктивные особенности гидротехнических сооружений, а также материалы, из которых они созданы, играют большую роль в «привлекательности» субстрата и «удобства» для заселения гидробионтами, в частности, мидиями [6], однако в большинстве случаев этому параметру не уделялось должного внимания [15, 16]. Учёт «формы» подводной поверхности сооружения позволяет точнее оценить численность моллюсков на молу, их фильтрацию, и как следствие, поток НУ через мидий.

Как пример крупного гидротехнического сооружения, имеющего сложную конфигурацию поверхности, выбран южный мол Севастопольской бухты. Он простирается на 380 м от берега, достигает глубины 15 м и соседствует с открытым морем и акваторией порта. Сооружение образовано каменной наброской (мраморовидный известняк, добытый в окрестностях Севастополя), часть которой укреплена железобетонными тетраподами Т-7.8 и Т-13 [2]. Схематическое изображение конструкции мола см. на рис. 1 (подводная часть, вид сверху).

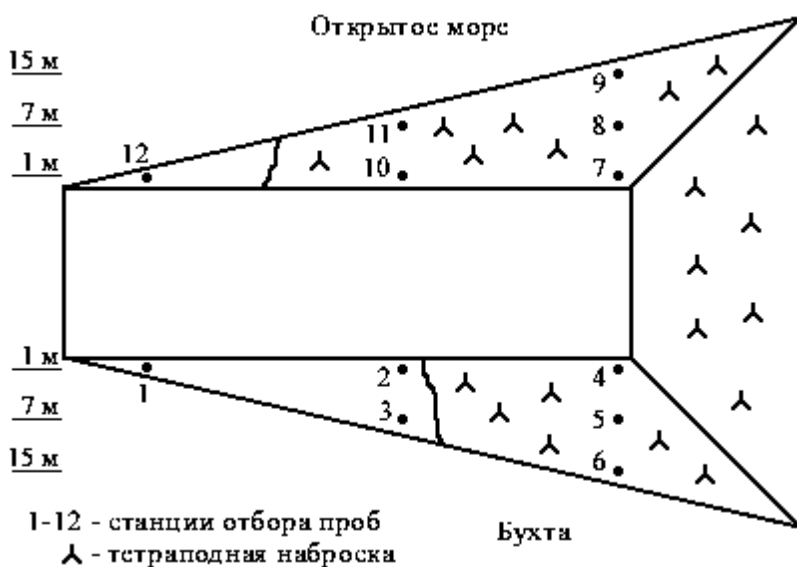


Рис. 1 Схема отбора проб на южном молу Севастопольской бухты
 Fig. 1 The schema of collection of samples on the southern pier of Sevastopol Bay

ней сторон сооружения на трёх профилях: у основания, где присутствуют только камни; в центральной части, где соседствуют камни и тетраподы; у оконечности, где каменная наброска полностью закрыта тетраподами (рис. 1). Материал отбирался водолазами в феврале, мае, августе и ноябре 2005 г. с горизонтов 1, 7, 15 метров, как с камней, так и с тетраподов.

На южном молу исследования обрастания осуществлялись по мере его строительства и охватывали период с 1980 по 1992 гг. [11, 16]. В дальнейшем изучение мидиевого поселения и, следовательно, вклад моллюсков этого сооружения в процессы самоочищения в прибрежной зоне моря не проводилось.

Целью работы было изучить конструктивные особенности подводной части южного мола Севастопольской бухты (Чёрное море); исследовать распределение, численность и размерный состав мидии на поверхности данного сооружения; получить дополнительную информацию о роли черноморской мидии в процессах самоочищения прибрежных вод, оценив объём фильтрации и потоки НУ через мидиевое поселение на поверхности южного мола.

Материал и методы. Водолазное обследование с контрольным отбором проб показало, что интенсивность обрастания отдельных камней была различной – от полного отсутствия, до нескольких десятков моллюсков на 1 м² поверхности. При этом такая картина прослеживалась на всей подводной части мола. На тетраподах поселение мидий являлось более равномерным и обильным. На основании этих данных пробы отбирать с внешней и внутрен

С бетонных поверхностей тетраподов пробы брались на площадке 25×25 см, по стандартной методике [17], с каменной наброски – по [15]. Всего отобрано 25 проб с камней и 23 с тетраподов. В лаборатории из собранного обрастания выделялись мидии [18]. Далее отобранные организмы измерялись линейкой и разделялись на размерные группы 1 – 10, 11 – 20, 21 – 30, 31 – 40, 41 – 50, 51 – 60, 61 – 70, 71 – 80, 81 – 90, 91 – 100 мм. Особи мельче 1 мм не учитывались.

Имеются различные методы расчёта фильтрационной деятельности мидий. В работе [12] фильтрационная активность напрямую связана с размером моллюсков, а в [7, 20] – с их массой. Поскольку в предшествующих работах, проводимых на гидротехнических сооружениях [11, 16], данная величина рассчитывалась по [12], то мы также использовали этот метод для оценки фильтрационной работы моллюсков длиной от 11 до 70 мм. Для мидий длиной менее 10 мм и более 71 мм средняя скорость фильтрации вычислялась путём экстраполяции по интерполяционной формуле Ньютона [9, 11]. Время фильтрации принималось 18 ч в сутки [12].

Фильтрационная работа, совершаемая за сутки моллюсками, обитающими на 1 м² гидротехнического сооружения, оценивалась, исходя из средней скорости фильтрации моллюсков в i-ой размерной группе (F_i, л/сут·м²) и численности размерных групп (N_i, экз./м²) по формуле (л/сут·м²):

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

Оценка участия мидий в формировании потоков НУ проводилась аналогично сделанным ранее расчётам [14], когда принималось, что моллюски задерживают около половины нефти, находящейся в воде. При этом не учитывались сложные процессы взаимодействия мидий с нефтяным загрязнением [22]. Потоки НУ в каждом из горизонтов оценивались, исходя из размерного состава и численности моллюсков на указанном субстрате в данном горизонте. Суммарный поток НУ на молах оценивался по средней численности и размерному составу моллюсков на молу.

Статистическая обработка материала осуществлялась с помощью программы Microsoft Excel. Проверка достоверности различия двух выборок проводилась по критерию Фишера при α=0.05 [21].

Результаты и обсуждение. Размерный состав, численность мидий и их распределение по глубинам на южном молу представлены на рис. 2. Как видно, наибольшая численность моллюсков наблюдалась на внешней стороне южного мола, здесь же преобладали и более крупные особи. В верхнем горизонте по численности преобладали организмы длиной 1 – 10 мм (47 – 82 %). В нижнем горизонте общая численность моллюска существенно возростала, особенно на внешней стороне, при этом доля размерной группы 1 – 10 мм сокращалась до 15 – 17 %. На каменной наброске численность мидий была ниже, и они были мельче.

Как следует из рис. 3, средняя численность мидии на камнях и тетраподах составляет 128±71 и 380±99 экз./м² соответственно. Данные выборки достоверно различны и чис-

ленность мидии на тетраподах в среднем в 3 раза выше, чем на камнях. При этом обросшие мидиями камни составляли около 50 % всех поднятых образцов. На тетраподах процент проб с мидиевым обрастанием превышал 90 %.

В табл. 1 приведены данные о фильтрационной работе различных размерных групп мидии, населяющей поверхность южного мола. Из приведённых данных следует, что наибольшее значение в формировании естественного биофильтра имеют организмы размером 1 – 10 мм, заселяющие мол повсеместно, и 41 – 50 и 51 – 60 мм, обитающие на тетраподах защитного покрытия мола, как с внутренней, так и с внешней сторон. Мощность биофильтра, формируемого мидиями, обитающими на бетонных тетраподах равна 3018 л/сут·м², на каменной наброске – 272 л/сут·м².

Табл. 1 Объём воды, фильтруемой мидиями, обитающими на южном молу Севастопольской бухты, л/сут·м²

Table 1 Volume of the water filtered by the mussels, living on the southern pier of the Sevastopol Bay, l/day·m²

Размерная группа, мм	Тетраподы	Камни
1-10	612.2	210.6
11-20	129.8	8.8
21-30	148.3	52.8
31-40	334.0	0
41-50	772.8	0
51-60	726.6	0
61-70	243.5	0
71-80	22.2	0
81-90	22.0	0
91-100	6.8	0
1-100	3018	272

Исследуемый мол имеет два типа поверхностей, каждая из которых по-своему формирует площадь его подводной части. Чтобы точнее оценить численность мидий на молу, и, следовательно, их участие в процессах самоочищения, необходимо рассчитать площадь поверхности сооружения с учётом конструктивных особенностей. Требуется учесть, насколько возрастает площадь за счёт поверхности камней и бетонных тетраподов.

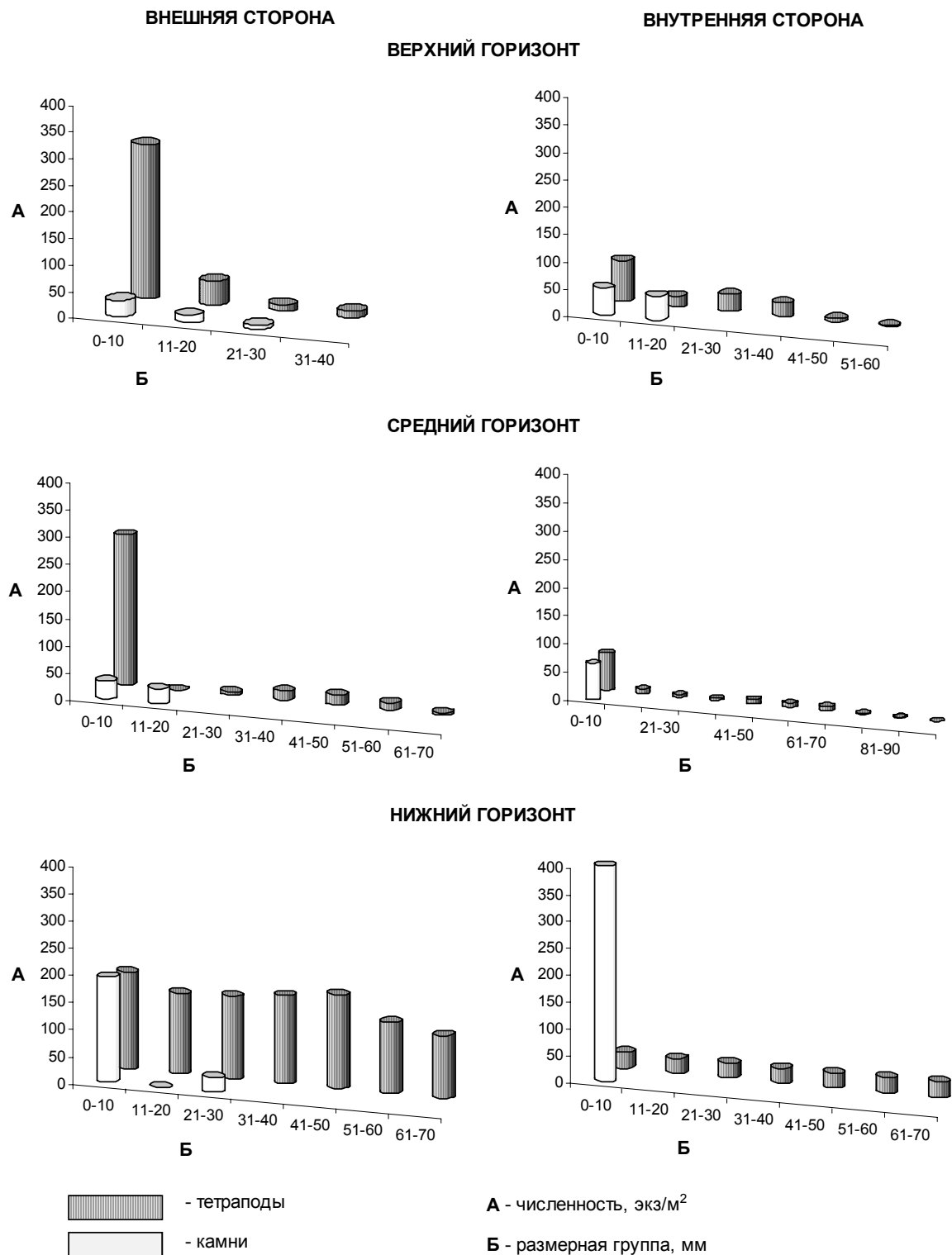


Рис. 2 Размерный состав мидии на различных участках южного мола Севастопольской бухты
 Fig. 2 Size structure of the mussel on the different sites of the southern pier of Sevastopol Bay

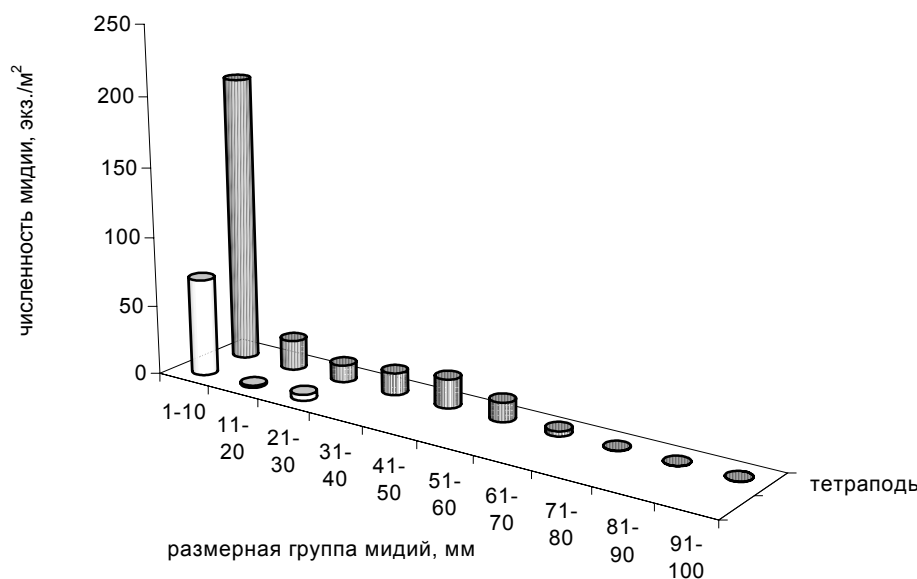


Рис. 3 Средний размерный состав мидии на подводной поверхности южного мола Севастопольской бухты
 Fig. 3 The average size structure of the mussel on the underwater surface of the southern pier of Sevastopol Bay

По своду правил [19], количество тетраподов марок Т-7.8 и Т-13 на молу составляет 2136 шт. и 734 шт. соответственно. Площадь поверхности тетрапода Т-7.8 равна 4.58 м², а Т-13 – 6.75 м². Просуммировав произведение численности тетраподов на площадь их поверхности, получим, что, площадь поверхности тетраподного прикрытия мола равна 14700 м².

Камни на поверхности мола имеют различную форму. Их совокупность образует выборку, численность которой достаточно велика, следовательно, распределение данной совокупности будет стремиться к нормальному [10]. Это означает, что если оценить отношение площади их поверхности к площади участка, на котором они находятся, то можно получить коэффициент, показывающий, во сколько раз возрастает поверхность мола за счёт каменной наброски.

Для оценки площади каменной наброски мола, с наклонной поверхности его боковых граней случайным образом было поднято 14 камней средним размером 12×12 см. Сложную конфигурацию их поверхности, доступной для поселения моллюсков, разбивали на элементарные плоские фигуры: прямоугольники, треугольники, трапеции; рассчитывали их площадь, а затем суммировали. В данной выборке

средняя площадь поверхности была 0.046 ± 0.005 м². В соответствии с такой моделью получен коэффициент равный 3.19, и площадь каменной наброски составляет 32800 м².

Тетраподы, благодаря своей конструкции, практически не закрывают находящуюся под ними поверхность камней. Поэтому считаем, что площадь подводной части сооружения складывается из площади каменной наброски и поверхности, образуемой тетраподами, что в сумме составляет 47500 м².

Получив данные о величине поверхности сооружения, а также, зная объёмы воды, фильтруемые мидиями на единице его поверхности, можно оценить мощность биофильтра, формируемого моллюсками, обитающими на нём. Суммарный результат фильтрационной деятельности мидий, обитающих на подводной части южного мола, составляет 53 тыс.м³/сут, причём на тетраподах отфильтровывается 44 тыс.м³/сут, а на поверхности камней – 9 тыс.м³/сут. Мидии, обитающие на тетраподах южного мола, несмотря на то, что общая поверхность бетонных блоков вдвое меньше поверхности каменной наброски, дают 87 % фильтрационной работы. Для сравнения приведем данные [11], согласно которым на поверхности причалов Севастопольской бухты

объём пропускаемый моллюсками-фильтраторами (мидиями и митилястерами) составлял 1232 тыс.м³/сут.

Исходя из полученных данных, проведён расчёт потока нефтепродуктов через сообщество мидии, обитающей на молу. Концентрация нефти в морской воде, у входа в Севастопольскую бухту, по [3], в поверхностном слое составляет 0.1 – 0.12 мг/л, в придонном –

0.08 – 0.18 мг/л. Для расчёта возьмём средние величины концентрации НУ. В поверхностном слое – 0.11 мг/л, в придонном – 0.13 мг/л, а в среднем горизонте (в связи с отсутствием данных) примем для расчёта промежуточное значение между концентрацией нефти в верхнем и нижнем горизонтах – 0.12 мг/л. Поток нефти через поселение мидий на молу представлен в табл. 2.

Табл. 2 Поток нефтяных углеводородов через мидий, обитающих на южном молу Севастопольской бухты, мг/сут·м²

Table 2 The flow of petroleum hydrocarbons through the mussels living on a southern pier of the Sevastopol Bay, mg/day·m²

Горизонт	Концентрация НУ, мг/л	Внешняя сторона		Внутренняя сторона	
		Тетраподы	Камни	Тетраподы	Камни
Верхний	0.11	85	14	87	23
Средний	0.12	358	16	115	12
Нижний	0.13	1822	60	376	81

В среднем за сутки мидиевое поселение на южном молу, с учётом соответствующих площадей, на тетраподах отфильтровывает 2.7 кг нефти, на камнях – 0.5 кг, а в целом – 3.3 кг НУ. За год эта величина равна 1.2 т, что составляет 2 % НУ, попадающих в бухту с промышленно-бытовыми стоками [3], и соответствует количеству НУ, поступающих в неё с 1 км² городской застройки [8]. Приведённая величина может существенно изменяться в связи с колебаниями концентрации нефтепродуктов, а также изменением распределения моллюсков.

В настоящее время отмечено сокращение размеров моллюсков, по сравнению с данными предыдущих исследований. В период сооружения мола, в мае и августе 1980 г., доминировали особи длиной 41 – 60 мм, за исключением бетонных конструкций верхнего горизонта, где преобладали экземпляры менее 10 мм [15]. В 1992 г. доля молоди размером до 10 мм на молу составляла 39 – 52 % [16]. В настоящее время (2005 г.) на поверхности сооружения доминируют моллюски длиной 1 – 10 мм. Подобное явление в последние годы отмечено и в северо-западной части Чёрного моря [1]. Можно ожидать угнетения моллюсков за

счёт заиления [4] подводной части мола. При водолазном обследовании было отмечено, что на молу существует гелеобразный налёт ила, о котором не упоминалось ранее [15, 16]. Толщина илового слоя измерялась с помощью специально изготовленного деревянного штока с миллиметровыми делениями. На внешней стороне слой ила был менее 1 мм во всех горизонтах. На внутренней стороне в верхнем горизонте он не превышал 1 мм, в среднем на камнях толщина слоя ила колебалась от 2 до 7 мм, на тетраподах она не превышала 1 мм. На тетраподах нижнего горизонта слой заиления достигал 3 мм.

Выводы. 1. Впервые проведён расчёт площади поверхности подводной части южного мола Севастопольской бухты, образуемой каменной наброской и тетраподами. Площадь поверхности каменной наброски равна 32800 м², а тетраподного прикрытия – 14700 м². Общая площадь поверхности сооружения составляет 47500 м². **2.** Средняя численность мидии на камнях и тетраподах составляет 128±71 и 380±99 экз./м² соответственно. **3.** Объём воды, фильтруемый мидиями южного мола равен 53 тыс.м³/сут, из них на тетраподах отфильтровы-

вается 44 тыс.м³/сут, а на поверхности камней – 9 тыс.м³/сут. 4. Поток НУ через мидий, обитающих на поверхности подводной части мола (при принятых параметрах), составляет 3.3 кг/сут. Эта величина может меняться при из-

менении концентрации НУ и распределения моллюсков.

Благодарности. Автор выражает глубочайшую признательность анонимному рецензенту за внимательную работу с рукописью, конструктивную критику и ценные рекомендации.

1. Варигин А. Ю. Рост мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. в донных поселениях северо-западной части Чёрного моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 2006. – 23 с.
2. ГОСТ 20425-75. Тетраподы для берегозащитных и оградительных сооружений. – М.: Издательство стандартов, 1978 – 4 с.
3. Губанов В. И., Клименко Н. П., Моница Т. Л. и др. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том IV: Чёрное море, 3: Современное состояние загрязнения вод Чёрного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1996. – 230 с.
4. Заика В. Е., Валовая Н. А., Повчун А. С., Ревков Н. К. Митилиды Чёрного моря. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
5. Зайцев Ю. П., Яценко В. А. Экологические аспекты гидротехнического строительства в прибрежной зоне моря // Биология моря. – 1983. – № 5. – С. 62 – 66.
6. Зайцев Ю. П., Ерёмченко Т. И., Каминская Л. Д. Эколого-экономическая эффективность строительства искусственных рифов приурезового типа из камня-известняка / Проблемы комплексной застройки Южного берега Крыма: Тез. конф. (Симферополь, 3 – 5 октября 1988 г.), 2. – Симферополь, 1988. – С. 92 – 94.
7. Золотницкий А. П., Крук Л. С. Экология фильтрационного питания мидии *Mytilus galloprovincialis* из Чёрного моря // Биология моря. – 1990. – № 5. – С. 26 – 31.
8. Иванов В. А., Овсяный Е. И., Репетин Л. Н. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – 91 с.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
10. Миллс Ф. Статистические методы. – М.: Гос. стат. изд., 1985. – 280 с.
11. Миловидова Н. Ю. Количественная характеристика мидий и митилий гидротехнических сооружений и их роль в самоочищении портовых акваторий // Экология моря. – 1986. – Вып. 23. – С. 78 – 82.
12. Миронов Г. Н. Фильтрационная работа и питание мидий Чёрного моря // Тр. Севастоп. биол. станции. 1948. – 6. – С. 338 – 352.
13. Миронов О. Г. Мидии как элемент гидробиологической очистки загрязнённых морских вод // Водные ресурсы, – 1988. – №5. – С. 104 – 111.
14. Миронов О. Г. Потоки нефтяных углеводородов через морские организмы // Морск. экол. журн. – 2006. – С. 5 – 14.
15. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Цымбал И. М. Формирование бентосных сообществ на новосозданных молловых сооружениях // Гидробиол. журн., 1983. – 19, № 1. – С. 48 – 52.
16. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В. Санитарно-биологические аспекты экологии севавтопольских бухт в XX веке. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.
17. Скарлато О. А., Голиков А. Н., Грузов Е. Н. Водолазный метод гидробиологических исследований // Океанология. – 1964. – 4, № 4. – С. 707 – 719.
18. Скарлато О. А., Старобогатов Я. И. Класс двустворчатые моллюски – Bivalvia / Определитель фауны Чёрного и азовского морей. – Киев: Наук. Думка, 1972. – 3. – С. 178 – 249.
19. СП 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. – М.: Корпорация "Трансстрой". – 1998. – 141 с.
20. Финенко Г. А., Романова З. А., Аболмасова Г. И. Энергетический бюджет популяции *Mytilus galloprovincialis* Lam. в Севастопольской бухте // Гидробиол. журн. – 1997. – 33, № 1. – с. 83 – 89.
21. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
22. Щекатурина Т. Л. Углеводородный состав, его динамика и метаболизм у морских организмов // Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды. – К.: Наук. думка, 1988. – С. 186 – 234.

Поступила 04 сентября 2006 г.

После доработки 04 октября 2007 г.

Потоки нафтових вуглеводнів через поселення мідій, яки живуть на південному молу у входу в Севастопольську бухту (Чорне море). О. В. Соловьова. На південному молу Севастопольської бухти, чисельність мідії на бетонних тетраподах 380 ± 99 экз./м², на кам'яному накиді – 128 ± 71 экз./м². Обсяг води, що фільтрують мідії, яки живуть на підводній частині південного молу Севастопольської бухти становить 53 тис.м³/доб., що дозволяє за добу відфільтрувати 3.3 кг нафти.

Ключові слова: мідії, біофільтр, гідротехнічні спорудження, нафтові вуглеводні, Чорне море

The flows of petrol hydrocarbons through the settlement of mussels, living on the southern pier at the entrance to the Sevastopol Bay (Black Sea). O. V. Solovyova. On the southern pier of the Sevastopol bay, the number of a mussel on the concrete tetrapodes is 380 ± 99 ind./m², on a stone bank – 128 ± 71 ind./m². Volume of water filtered by mussels, living on the underwater part of a southern pier of the Sevastopol bay equal 53 ths.m³/day, that allows to filter 3.3 kg of petrol for a day.

Key words: mussels, biofilter, hydraulic engineering structures, petrol hydrocarbons, Black Sea

ЗАМЕТКА

The monitoring of zooplankton biodiversity changes in the Black Sea in front of Georgia [Мінливість біорізноманіття зоопланктону чорноморського узбережжя Грузії; Изменчивость биоразнообразия зоопланктона черноморского побережья Грузии]. The present study is based on investigations which were carried out seasonally during 2002 – 2006. Samples were collected at five stations (Batumi, Kobuleti, Natanebi, Supsa, Poti), at two depths. The depths were 5 m and 50 – 60 m (thermocline). Samples were collected by a big Jedy net (with filtering cone N.38 and cell 110mk), then fixed by 4% formalin solution and taken to the laboratory. During the treatment samples were reduced to 150 cm³. We used Stamplel pipette 1 cm³ and Bogorov's chamber. Then the direct counting method was used. Visual inspection, counts and taxon determination were made with the help of Binocular LEICA 100 and microscope KRUSS. The biomass was defined by the standard weights of zooplankton [7], and for the calorificity – the standard calorificity table of the Black sea invertebrates (zooplankton and meyo-benthos) (Alexandrov, 2001). The abundance of zooplankton was higher on the surface layer comparing to the thermocline at the following stations: Natanebi, Supsa. Most probably this difference is related to river input of Natanebi and Supsa streams being saturated of organic materials. The vanished form *Pontella mediteranea* (Pontellidae), a species belonging to izoneston Copepoda, being reported as a good indicator of anthropogenic pollution (Polishuk et al., 1984), was discovered during the observed period. The number of Copepoda species such as *Acartia clausi*, *A. tonsa* and opportunistic dinoflagellate *Noctiluca scintillans* contribute significantly to the abundance of zooplankton (Khalvashi, 2006). In our region, as well as in the whole Black Sea ecosystem, zooplankton variability has been observed after the arrival of *Mnemiopsis leidyi*. This event has caused a decrease in the abundance of mezo-zooplankton and changes in the community structure too. *M. leidyi* has also a negative effect on the species *Pleurobrachia pileus* (Black Sea Biological diversity of Georgia). However, another exotic species *Beroe ovate* has led to the significant reduction of the population of *M. leidyi* (Khalvashi, Makharadze, 2006). Dominant species are *Acartia clausi*, *A. tonsa*, *Penilia avirostris*. However, recently an exotic species *Acartia tonsa* has replaced the small form of *Acartia clausi* [5]. In comparison to previous years the concentration of *Noctiluca scintillans* has changed only slightly. Euthropic and polluted bases are characterized by the reduction of the number of Cladocera. It is important to remark, that from 1990 to 2002 the above mentioned forms together with *Acartia clausi* and *Noctiluca scintillans*, are used as indicators of polluted waters. In order to have an effective monitoring of zooplankton biodiversity changes in the Black Sea coast of Georgia a daily migration index has been applied for different forms being rejected upon intensification of light and fluctuation of the temperature (Nikitin, 1939). M. S. Khalvashi, G. M. Makharadze, I. D. Takidze (Water Ecology and Fisheries Research Institute, Batumi, Georgia).