

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НЕКОТОРЫХ БУХТ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Дорошенко Ю.В.

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН  
просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ; e-mail: julia\_doroshenko@mail.ru  
Поступила в редакцию 29.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0576

**Аннотация.** Гидротехнические сооружения, которые постоянно присутствуют в бухтах, являются одним из факторов, влияющих на состояние прибрежных акваторий. Наибольшее показательное значение имеет микроперифитон, формирующийся на гидротехнических сооружениях в прибрежных зонах с различной степенью антропогенной и рекреационной нагрузки. Микробиологические исследования перифитона существенно дополняют характеристику экологического состояния побережья. В работе приведены данные о количественном распределении гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в микроперифитоне илстых отложений южного мола Севастопольской бухты и восточного мола Камышовой бухты. Численность общего количества гетеротрофов в илстых отложениях южного мола, в целом, колебалась в пределах  $10^3 - 10^4$  кл./мл, а восточного мола преимущественно варьировала в пределах  $10^3 - 10^5$  кл./мл. Результаты исследований свидетельствуют о том, что илстые отложения молов в рассматриваемых акваториях, способствуют развитию анализируемых групп бактерий, участвующих в процессах самоочищения акваторий, а их численность не зависит от глубины. Анализ данных показал, что количество гетеротрофных бактерий на восточном моле была выше, чем на южном. Сезонные отличия количественного содержания исследуемых групп бактерий не выявлены. Установлено, что процессы самоочищения морской среды от нефти и нефтепродуктов активной происходят на внешней стороне молов, причём на южном молу эти процессы выражены сильнее.

**Ключевые слова:** гетеротрофные и углеводородокисляющие бактерии, гидротехнические сооружения, мол, Чёрное море.

### ВВЕДЕНИЕ

Гидротехнические сооружения, которые постоянно присутствуют в бухтах, являются одним из факторов, влияющих на состояние прибрежных акваторий. Вследствие ограждённости и пониженной общей гидродинамики, в акваториях морских портов происходит накопление разного рода взвесей, органических веществ, биогенных элементов. Причалные линии в портах, достигающие десятков километров, значительно увеличивают поверхность твёрдых субстратов для развития сообществ обрастаний. Боковые поверхности гидротехнических сооружений выполняют функции искусственных рифов и во многом напоминают поставленное вертикально дно. Биота искусственных гидротехнических сооружений, которые можно рассматривать как один из примеров гидробиологических систем, существенно влияет на общую продуктивность водоёма и формирование качества воды в конкретном регионе [1,2].

Перифитон, формирующийся на гидротехнических сооружениях, значительно увеличивает потенциал самоочищения морской воды [3]. В свою очередь мощным комплексом по трансформации органических веществ и биогенных элементов является бактериальный перифитон [4]. Наибольшее показательное значение имеет микроперифитон, формирующийся на гидротехнических сооружениях в прибрежных зонах с различной степенью антропогенной и рекреационной нагрузки [5]. Микробиологические исследования перифитона существенно дополняют характеристику экологического состояния побережья.

Объектом для проведения санитарно-биологических исследований были выбраны южный мол, расположенный у входа в Севастопольскую бухту с её южной стороны, а также восточный мол, ограничивающий Камышовую бухту со стороны мыса Восточного. Бухты Севастопольская и Камышовая различны по происхождению, уровню загрязнения донных осадков, антропогенной нагрузке [1].

Подводное основание гидротехнических сооружений обеспечивает дополнительную зону оседания многочисленных обрастающих организмов, которые увеличивают способность морской акватории к самоочищению и тем самым изменяют местный гидрологический режим. Биоостатки эпибиоты могут увеличивать седиментацию. Заиливание препятствует росту бентосных организмов, например, мидий в естественной среде и может аналогичным образом препятствовать развитию эпибиоты на гидротехнических сооружениях. Наряду с механическим воздействием, химический состав ила, в частности, органическая фракция, также является важным фактором, так как при разложении органические вещества потребляют кислород и могут вызвать кислородную недостаточность [6].

Целью работы является определение общей численности гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов в осевшей взвеси на подводной части мола, как показателей самоочищения морской среды.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Характеристика районов исследований.** Севастопольская бухта представляет собой вытянутую с востока на запад полузамкнутую акваторию эстуарного типа. На входе в бухту в 1976-1980 гг. были построены защищающие акваторию от западных ветров северный и, выдвигающийся ему навстречу с противоположного берега, южный молы. В результате проход в бухту сузился с около 1200 м до 415 м и водообмен существенно ухудшился. Суммарная протяжённость причалов в Севастопольской бухте достигает 11 км, а всех основных гидротехнических сооружений – 16 км, средняя глубина в бухте 12 м, у входа 19-20 м. Конструкция южного мола проста: бетонные кубы поверх подушки из камней и окружение из беспорядочно разбросанных тяжёлых (весом от полутонны) бетонных четырёхконечных волнорезов – тетраподов [1,2].

Акватория Камышовой бухты, в которой во второй половине XX в. был построен Рыбный порт, на входе защищена от штормового воздействия западным и восточным молами. Бухта протянулась на 2,5 км, ширина её около километра. Берега невысоки – до 25 м, в меру пологи. Кроме причалов Рыбного порта в бухте имеются причалы ещё целого ряда предприятий, оборудованы плавучие пирсы. Порт доступен для судов с осадкой до 8 м. Восточный мол Камышовой бухты представлен хаотически установленными бетонными блоками [1,2].

**Микробиологический анализ.** Пробы отбирались с помощью водолазов на 6 станциях с площади  $2 \times 2$  см<sup>2</sup> стерильными шприцами объёмом 20 мл. Схема отбора проб приведена на рисунке 1. Станции располагались на внешней и внутренней сторонах молов с глубинами 1 м (горизонты Ia и Ib соответственно у основания молов), 7 м (горизонты IIa и IIb соответственно в центральной части) и 15 м (горизонты IIIa и IIIb соответственно у оконечности) молов. Отбор проб проводился ежеквартально. На Южном молу отобрано 23 пробы (1 шприц был утерян). На Восточном молу отобрано 24 пробы.

После доставки в лабораторию вся последующая обработка проб проводилась в стерильных условиях. Количество микроорганизмов в пробе определяли методом предельных разведений с последующим посевом 1 мл из каждого разведения в элективные среды. Для исследования общего количества гетеротрофов (ГТ) использовали пептонную воду, для определения численности углеводородокисляющих бактерий (УОБ) – среду Диановой-Ворошиловой с добавлением дизельного топлива. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитывали по таблице Мак-Креди, основанной на методе вариационной статистики [7,8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При обследовании водолазами было обнаружено заилиение молов в бухтах, как с внешней, так и с внутренней сторон, которое неблагоприятно влияет на развитие сообщества макрообрастателей, но позволяет активно развиваться микроорганизмам [2], поскольку большинство природных популяций бактерий существует в прикрепленном состоянии [9]. Заселению гидротехнических сооружений из бетонов микроорганизмами способствуют такие его свойства, как пористость, капиллярность, неоднородность состава [10]. В составе биоплёнки обрастания гидротехнических сооружений были выявлены диатомовые, сине-зелёные, зелёные и жёлто-зелёные водоросли. Видовое разнообразие поверхностных альгоценозов изменялось и зависело, прежде всего, от уровня антропогенной нагрузки [11,12]. Кроме того, на объектах гидротехнических сооружений нередко обнаруживаются аммонифицирующие, сульфатредуцирующие, железоокисляющие, силикатные и тионовые группы бактерии [10,13]. Гетеротрофные микроорганизмы являются биоиндикаторами наличия различных видов загрязняющих веществ в морской воде. Обилие гетеротрофных бактерий является одним из показателей степени эвтрофикации водоёма. Подобной чувствительностью обладают и микроорганизмы, растущие на нефти, которые высевались из морской воды, где концентрация нефти не определялась химическими методами. Это обстоятельство представляет практический интерес, поскольку по наличию в море таких бактерий можно судить о присутствии в воде низких концентраций нефтепродуктов порядка  $10^{-4}$ –  $10^{-5}$  мл/л, которые оказывают в ряде случаев токсический эффект на морские организмы [1].

**Южный мол (б. Севастопольская).** Исследуемые группы бактерий определены повсеместно. Численность общего количества гетеротрофов в илистых отложениях колебалась в пределах  $10^3$  –  $10^4$  кл./мл на всех горизонтах (рис. 2). Максимальное значение  $2,5 \times 10^5$  кл./мл отмечено в осенний период в верхнем горизонте (Ib).

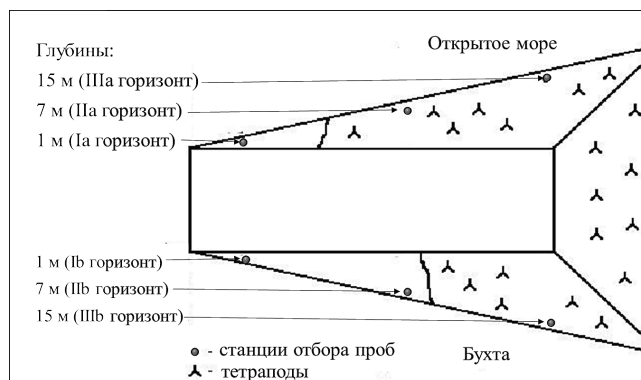
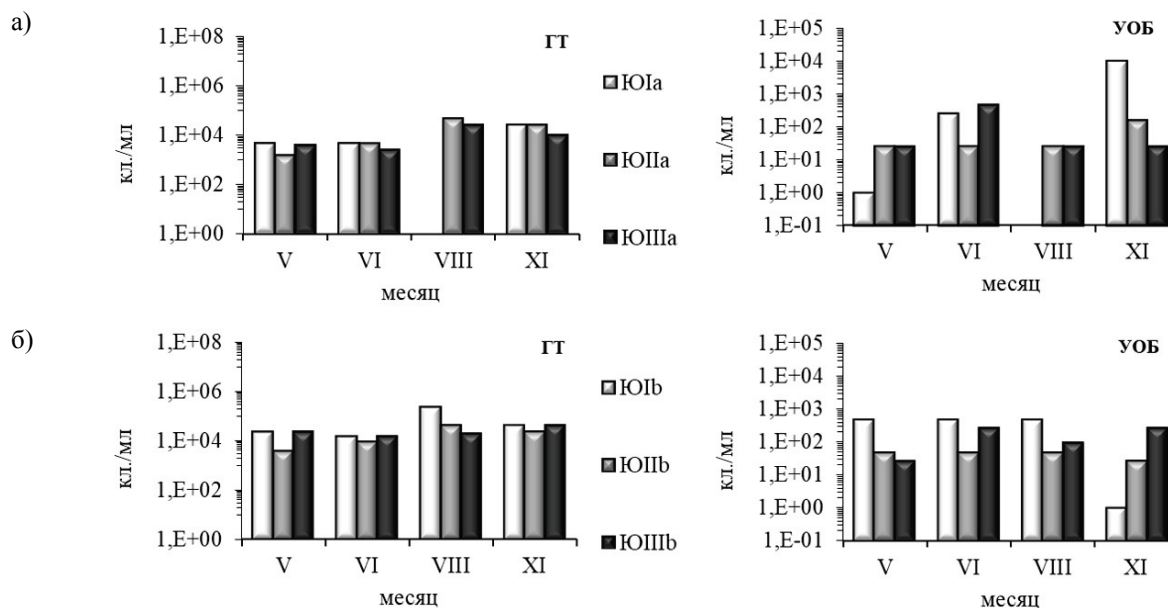


Рисунок 1. Схема отбора проб на южном молу Севастопольской бухты и восточном молу Камышовой бухты



**Рисунок 2.** Численность общего количества гетеротрофов (ГТ) и углеводородокисляющих бактерий (УОБ) в илистых отложениях южного мола Севастопольской бухты: а - внешняя (мористая) сторона мола, б - внутренняя сторона мола

Минимальное значение  $4 \times 10^3$  кл./мл соответствует среднему горизонту. Подобная тенденция отмечена при исследовании вертикального распределения суммарного органического вещества (СОВ) на внутренней стороне мола [6]. Так, в верхнем горизонте (Ib) СОВ составляло 40,1 мг/100 г сухого веса, на среднем горизонте (IIb) это значение уменьшалось в 2 раза, а на нижнем (IIIb) опять увеличивалось до 25 мг/100 г сухого веса.

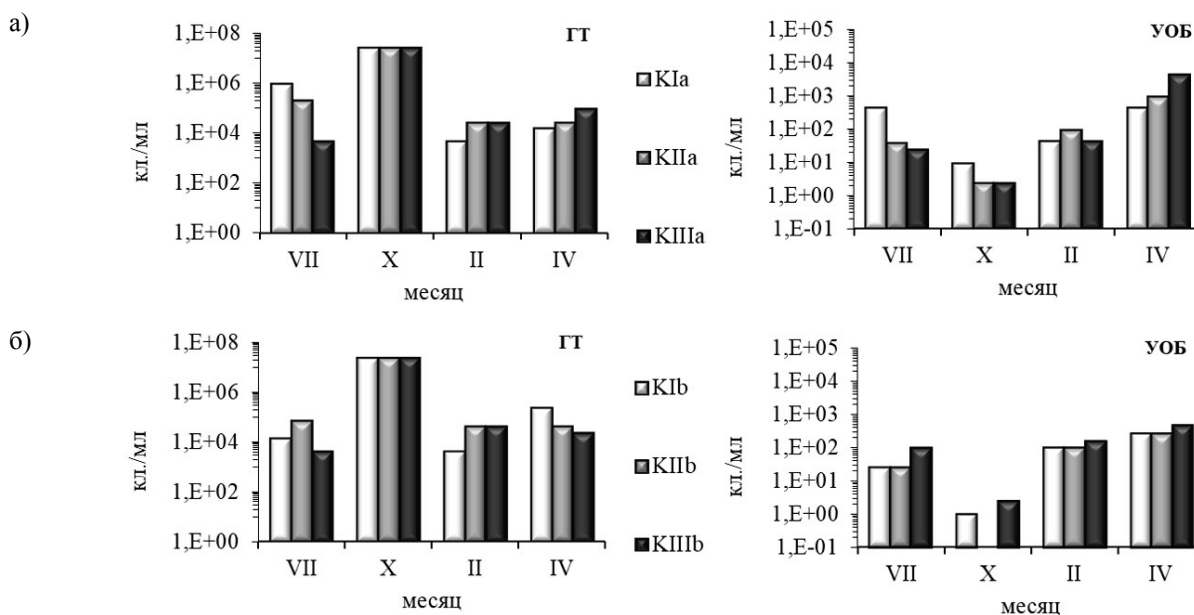
На внешней стороне мола значения численности ГТ были несколько ниже. Однако в [6] отмечено более высокое содержание органического вещества (56 мг/100 г сухого веса) на внешней стороне мола, что авторы связывают с выходом у основания канализационного коллектора, через который периодически сбрасываются сточные воды. Кроме того, внешняя сторона мола характеризуется наибольшим разнообразием растительных сообществ [12].

Численность УОБ, в целом, незначительно колебалась в пределах одного порядка величин (25-450 кл./мл). Максимальное значение (9500 кл./мл) соответствует станции, расположенной на глубине 1 м с внешней стороны мола (Ia), что свидетельствует о наличии нефтяного загрязнения. Этой станции соответствует так называемая «кутовая» часть, где при определённых метеорологических условиях может происходить скопление загрязняющих веществ. Количество нефтеокисляющих бактерий на этой станции в ноябре достигало 38 % от общего количества гетеротрофных бактерий. Кроме того, если на внутренней стороне мола численность УОБ от ГТ не превышала 3 %, на внешней стороне мола в июне это соотношение составляло 6 % и 18 % соответственно в верхнем (Ia) и нижнем (IIIa) горизонтах. Минимальные значения нефтеокисляющих микроорганизмов наблюдали на станциях, расположенных на глубине 1 м с внешней и внутренней сторон мола – 0,7 и 0,9 кл./мл соответственно.

Таким образом, в районе южного мола Севастопольской бухты постоянно присутствуют легкодоступные органические вещества. Анализ численности УОБ убедительно показывает, что процессы самоочищения морской среды от нефти и нефтепродуктов активной происходят на внешней стороне мола.

**Восточный мол (б. Камышовая).** Численность общего количества гетеротрофов преимущественно варьировала в пределах  $10^3 - 10^5$  кл./мл во всех пробах (см. рис. 3). Однако в октябре это значение резко возросло и составляло на всех станциях внешней и внутренней сторон  $10^7$  кл./мл. В то же время численность УОБ была необыкновенно низкой и не превышала 10 кл./мл. К тому же, на среднем горизонте (IIIb) внутренней стороны мола определить эту группу бактерий не удалось. Это свидетельствует о значительном поступлении органических веществ в портовую акваторию в данный период времени. Анализ данных показал, что количество ГТ на восточном моле была выше, чем на южном. Это согласуется с результатами [6] по содержанию СОВ на восточном молу Камышовой бухты. Закономерности изменения численности ГТ от глубины не обнаружены, что может быть связано со слабо выраженной вертикальной стратификацией полей содержания общего взвешенного вещества и растворённого органического вещества в мористой части Камышовой бухты [14].

В целом, наблюдали колебания численности нефтеокисляющих бактерий от 25 до 950 кл./мл, т.е. в пределах одного порядка величин. Максимальное значение УОБ 4500 кл./мл определено в нижнем горизонте (IIIa). Анализ данных указывает на то, что в летний период на внешней стороне мола процессы самоочищения протекали наиболее активно. Здесь соотношения УОБ от ГТ составляли 3-5 % на различных горизонтах.



**Рисунок 3.** Численность общего количества гетеротрофов (ГТ) и углеводородокисляющих бактерий (УОБ) в илстых отложениях восточного мола Камышовой бухты: а – внешняя (мористая) сторона мола, б – внутренняя сторона мола

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены данные о количественном распределении гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в микроперифитоне илстых отложений южного мола Севастопольской бухты и восточного мола Камышовой бухты. Результаты исследований свидетельствуют о том, что илстые отложения молв в рассматриваемых акваториях, способствуют развитию анализируемых групп бактерий, участвующих в процессах самоочищения акваторий, а их численность не зависит от глубины. Сезонные отличия количественного содержания исследуемых групп бактерий не выявлены. Установлено, что процессы самоочищения морской среды от нефти и нефтепродуктов активней происходят на внешней стороне молв.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ: №121031500515-8 «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем».

#### Список литературы / References:

1. Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя. Под общ. ред. О. Г. Миронова: ИнБЮМ НАН Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009, 192 с. [*Sanitary and biological investigations in coastal area of Sevastopol region*. Eds. O.G. Mironov. Sevastopol: EKOSY-Gidrofizira, 2009, 192 p. (In Russ.)]
2. Vinogradov A.K., Bogatova Yu.I., Synegub I.A. *Ecology of Marine Ports of the Black and Azov Sea Basin*. Springer International Publishing AG, 2018, 412 p., doi: 10.1007/978-3-319-63062-5.
3. Соловьёва О.В. Роль биоты гидротехнических сооружений в формировании ассимиляционной ёмкости акватории (на примере бухт Севастополя). *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*, 2015, № 4, с. 107-112. [Solovyova O.V. The role of the biota of hydraulic structures in the formation of the assimilation capacity of the water area (on the example of the bays of Sevastopol). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2015, no. 4, pp. 107-102. (In Russ.)]
4. Трифонов О.В. Перифитон в технологическом процессе очистки сточных вод. *Водоочистка*, 2011, № 3, с. 22-26. [Trifonov O.V. Perifiton in the technological process of wastewater treatment. *Vodoochistka*, 2011, no. 3, pp. 22-26 (In Russ.)]
5. Saikia S.K. Review on Periphyton as Mediator of Nutrient Transfer in Aquatic Ecosystems. *Ecologia Balkanica*, 2011, vol. 3, iss. 2, pp. 65-78.
6. Mironova T.O., Muravjova I.P. The organic matter of silt aggregates on the breakwaters in the Bays of Sevastopol, Black Sea. *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 2007, vol. 13, pp. 139-146.
7. Лысак В.В. *Микробиология*. Минск: БГУ, 2005, 364 с. [Lysak V.V. *Mikrobiologiya*. Minsk.: BGU, 2005, 364 p. (In Russ.)]
8. *Практикум по микробиологии*. Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Издательский центр «Академия». 2005, 608 с. [*Workshop on Microbiology*. Ed. by A.I. Netrusov. M.: Publishing center "Academy", 2005, 608 p. (In Russ.)]

9. Смирнова Т.А., Диденко Л.В., Азизбекян Р.Р., Романова Ю.М. Структурно-функциональная характеристика бактериальных биоплёнок. *Микробиология*, 2010, т. 79, № 4, с. 435-446. [Smirnova T.A., Didenko L.V., Azizbekyan R.R., Romanova Yu.M. Structural and functional characteristics of bacterial biofilms. *Mikrobiologiya*, 2010, vol. 79, no. 4, pp. 435-446. (In Russ.)]
10. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Биокоррозия цементных бетонов, особенности её развития, оценки и прогнозирования. *Фундаментальные исследования*, 2014, № 12, ч. 4, с. 708-716. [Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Biocorrosion of cement concretes, features of its development, evaluation and forecasting. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2014, № 12, iss. 4, pp. 708-716. (In Russ.)]
11. Гончарова Е.Н., Василенко М.И. Биообрастание гидротехнических сооружений. *Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сборник докладов II Международной научно-технической конференции*, Белгород, 06-08 декабря 2016 года, с. 8-12. [Goncharova E.N., Vasilenko M.I. Biofouling of hydraulic structures. *Energo- i resursosberegayushchiye ekologicheski chistyye khimiko-tekhnologicheskiye protsessy zashchity okruzhayushchey sredy: reports of the II International Scientific and Technical Conference*, Belgorod, December 06-08, 2016, pp. 8-12. (In Russ.)]
12. Evstigneeva I.K., Tankovskaya I.N. Spatial Dynamics of Fouling Phytomass on Hydraulic Structures in the Black Sea (Crimea). *Power Technology and Engineering*, 2021, vol. 55, iss. 3, pp. 348-353, doi: 10.1007/s10749-021-01364-6.
13. Makita H. Iron-oxidizing bacteria in marine environments: recent progresses and future directions. *World J. Microbiol. Biotechnol*, 2018, vol. 34, p. 110, doi: 10.1007/s11274-018-2491-y.
14. Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Гребнева Е.А. Структура полей океанологических величин в Камышовой бухте (Крым) в ноябре 2019 года. *Системы контроля окружающей среды*, 2020, № 2(40), с. 29-35. [Lomakin P.D., Cheryzhenko A.I., Grebneva E.A. The structure of the fields of oceanological quantities in Kamyshovaya Bay (Crimea) in November 2019. *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy*, 2020, vol. 12(4), pp. 708-716, doi: 10.33075/2220-5861-2020-2-29-35. (In Russ.)]

#### MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC STRUCTURES OF SOME SEVASTOPOL BAYS

Doroshenko Yu.V.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS  
Nachimov av., 2, Sevastopol, 299011, Russia; e-mail: julia\_doroshenko@mail.ru  
Received 29.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0576

**Abstract.** Hydraulic structures, which are constantly present in bays, are one of the factors affecting the condition of coastal waters. Microperiphyton, which is formed on hydraulic structures in coastal zones with varying degrees of anthropogenic and recreational pressure, has the greatest indicative value. Microbiological studies of periphyton significantly complement the characterization of the ecological state of the coast. This study presents data on the quantitative distribution of heterotrophic and hydrocarbon-oxidizing bacteria in the microperiphyton of silt deposits of the southern breakwater of Sevastopol Bay and the eastern breakwater of Kamyshovaya Bay. The total number of heterotrophic bacteria in the silt deposits of the southern breakwater generally ranged from  $10^3$  to  $10^4$  cells/ml, while that of the eastern breakwater mainly varied within  $10^3$ – $10^5$  cells/ml. The results obtained indicate that the silty deposits in the considered water areas to the development of the analyzed groups of bacteria participating in the processes of self-purification of water areas, and their number does not depend on the depth. Data analysis showed that the number of heterotrophic bacteria in the eastern breakwater was higher than in the southern breakwater. Seasonal differences in the number of studied groups of bacteria were not revealed. It was found that the processes of self-purification of the marine environment from oil and petroleum products are more active on the outer side of the breakwater, and these processes are more pronounced on the southern breakwater.  
**Key words:** heterotrophic and hydrocarbon-oxidizing bacteria, hydraulic structures, the breakwater, the Black Sea.