



УДК 574(262.5)

О. Г. Миронов, д.б.н., зав. отд., **С. В. Алёмов**, к.б.н., с.н.с., **Т. С. Осадчая**, к.б.н., с.н.с.,
Е. В. Гусева, м.н.с., **Т. О. Миронова**, м.н.с., **И. П. Муравьева**, м.н.с., **О. А. Миронов**, аспирант,
Л. В. Енина, вед. инж., **Д. А. Алифанова**, вед. инж., **Н. Г. Волков**, инж.

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

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БУХТЫ АРТИЛЛЕРИЙСКАЯ (СЕВАСТОПОЛЬ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

В результате многолетнего мониторинга экологического состояния Артиллерийской бухты (Севастополь) установлено, что по уровню содержания в донных осадках органических веществ основных классов, а также нефтяных углеводородов бухта относится к наиболее загрязнённым акваториям региона. В морской воде растворённое органическое вещество составляло примерно 70 % от совокупного органического вещества, количество нефтяных углеводородов в 80 % случаев превышало ПДК. Обнаружены фенолы до 5 мкг*л⁻¹. Отмечена тенденция повышения в морской воде концентрации липидов с увеличением численности диатомовых водорослей ($r = 0.62$). В талломах макрофитов обнаружены те же органические соединения, что и в морской воде. Общая численность гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий в морской воде и донных осадках соответствовала средним показателям этих групп в Севастопольской бухте. Мейобентосное сообщество донных осадков бухты находится в депрессивном состоянии, о чём свидетельствуют упрощённый таксономический состав и увеличение общей численности за счёт нематод. Получены новые данные о загрязнении и самоочищении на границе контактной зоны «море – субстрат – атмосфера». Показана ведущая роль микроперифитона контактной зоны в трансформации загрязняющих веществ.

Ключевые слова: Артиллерийская бухта (Севастополь, Чёрное море), загрязнение, самоочищение, искусственные рифы, химический состав гидробионтов.

Артиллерийская бухта входит в систему севастопольских бухт (рис. 1). Отдел морской санитарной гидробиологии ИнБИОМ НАНУ на протяжении многих десятилетий проводит в её акватории исследования экологического состояния биоценозов. Часть полученных материалов публиковалась ранее вместе с данными по другим севастопольским бухтам. Учитывая всё возрастающее хозяйственное и рекреационное значение Артиллерийской бухты, в предлагаемой статье поставлена цель объединения многолетних данных для анализа происходивших в последние десятилетия изменений экологического состояния бухты, на основе которого можно не только давать природоохранные рекомендации, но и разрабатывать модель управления прибрежными акваториями.

Первые упоминания о неблагоприятном экологическом состоянии Артиллерийской бухты относятся к началу прошлого века [3]. С 1930-х гг. в результате гидротехнических работ бухта посте-

пенно лишилась естественных береговых структур. При этом на большой площади дна были уничтожены биоценозы, в том числе фильтраторов. Частично они восполнились морскими организмами, заселившими подводную поверхность гидротехнических сооружений, вертикальные стенки которых уходят в среднем на 2 м глубину. Ранее нами рассматривался вопрос, компенсирует ли биофильтр, формирующийся на поверхности гидротехнических сооружений, естественный биофильтр, уничтоженный при их создании. При оценке изменения мощности естественного биофильтра после сооружения южного мола у входа в Севастопольскую бухту отмечен даже положительный эффект [4]. Однако в б. Артиллерийская площадь вновь созданной подводной поверхности значительно меньше, чем при строительстве насыпных молов у входа в Севастопольскую бухту. Поэтому можно полагать, что мощность естественного биофильтра здесь уменьшена, что привело к снижению процессов естественного самоочищения.

© О. Г. Миронов, С. В. Алёмов, Т. С. Осадчая, Е. В. Гусева, Т. О. Миронова, И. П. Муравьева, О. А. Миронов, Л. В. Енина, Д. А. Алифанова, Н. Г. Волков, 2012

Работы отдела морской санитарной гидро-биологии в акватории идут в двух направлениях: по программе постоянного мониторинга Севастопольских бухт и прилегающих к ним акваторий [6]; текущие работы на полигоне [7], где, помимо научных, решаются и прикладные вопросы, в том числе установки систем гидробиологической очистки (СГО) с последующим расчётом необходимой мощности для повышения самоочищающей способности

бухты. В рамках первого направления исследования ведутся с 1973 г. на двух станциях (см. рис. 1), где проводятся комплексные физические, химические, биологические и микробиологические исследования донных осадков как основного экологического показателя водоёма. Осреднённые за несколько десятилетий показатели дают фоновую характеристику санитарно-биологического состояния акватории.

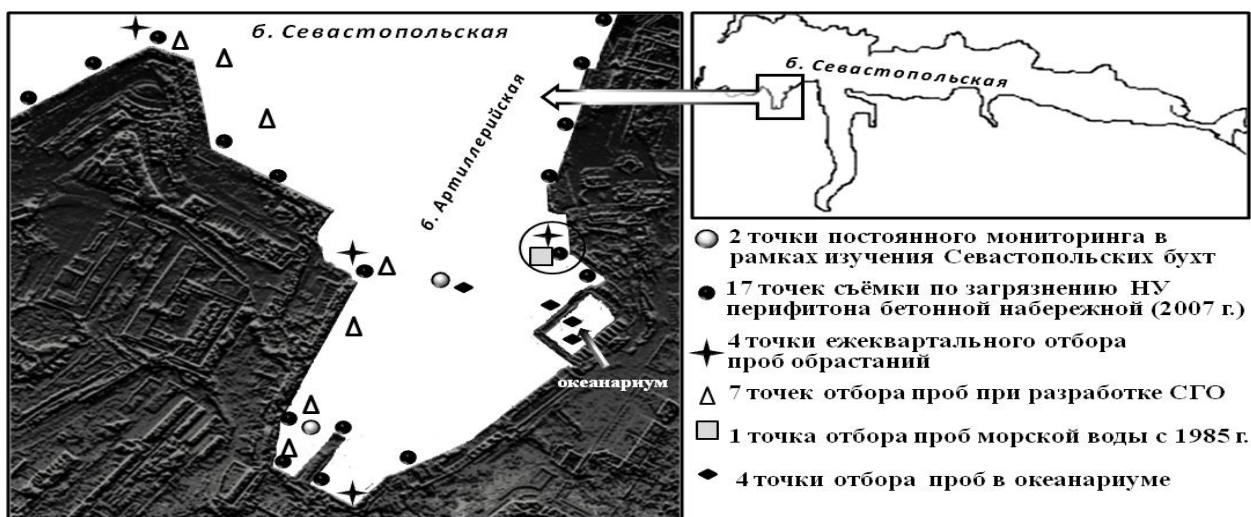


Рис. 1 Расположение станций отбора проб в б. Артиллерийской
Fig. 1 Scheme of sampling stations in Artilleriyskaya Bay

В вершине бухты донные осадки представлены чёрным полужидким илом с резким запахом мазута и сероводорода. У выхода из бухты обнаружен плотный серый песок с примесью ракуши. рН колебалось в пределах 7.20

– 7.80, Eh от -69 до +261 мВ, влажность 58 % в илах и 26 % в песках. От суммы лабильных компонентов органического вещества углеводы составляли 43.8, белки 15.0, липиды 41.2 %. Нефтяные углеводороды постоянно присутствуют в донных осадках (табл. 1).

Табл. 1 Химические характеристики донных осадков в б. Артиллерийская, мг*100 г⁻¹
Table 1 Chemical characteristics of Artilleriyskaya Bay's bottom sediments, mg*100 g⁻¹

Район	Углеводы	Белки	Липиды	Хлороформ-экстрагированные вещества (ХЭВ)	Нефтяные углеводороды (НУ)
Вершина	1212.3	397.9	1190.3	1888	376.0
Выход	113.6	53.5	53.5	80	14.0

При этом выделены алканы в диапазоне nC₁₄ – nC₂₆ (рис. 2). В то же время некоторые показатели (отношение iC₁₇/пристан < 1) свидетельствуют о присутствии биогенных соединений углеводородной природы в донных осадках.

Из нефтяных углеводородов выделялись группы метанонафтеновых и ароматиче-

ских соединений, содержание которых в донных осадках вершины бухты в десятки раз превышало величины на выходе из бухты. Приведённые данные свидетельствуют о высоком органическом загрязнении акватории, источником которого являются ливневые стоки, попадающие в вершину бухты, функционирование малого флота и прибрежной инфраструктуры.

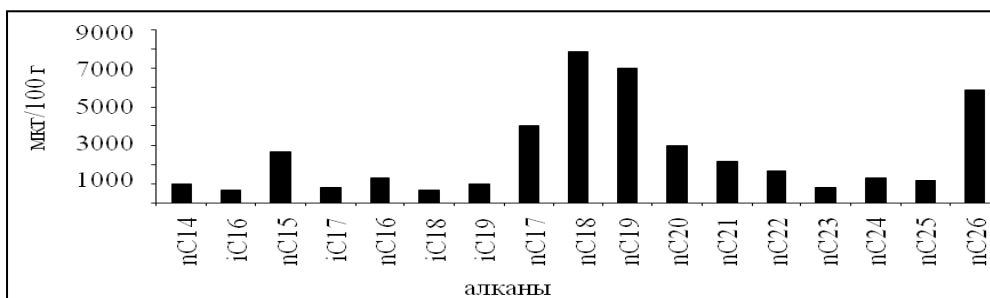


Рис. 2 Содержание алканов ($\text{мкг} \cdot 100\text{г}^{-1}$) в донных осадках б. Артиллерийская
 Fig. 2 Contents of alkanes ($\text{mkg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) in the bottom sediments of Artilleryskaya Bay

Помимо органических компонентов, в донных осадках района пляжа Хрустальный обнаружены тяжёлые металлы (табл. 2). Поскольку предельно допустимые концентрации для них в донных осадках отсутствуют, мы

привели норму для почв. Как видно из представленных материалов, концентрации по всем металлам не превышают норму для почвы, чего нельзя сказать о ряде других акваторий региона Севастополя [9].

Табл. 2 Содержание тяжёлых металлов в донных осадках района бухты Артиллерийской [9], $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$.
 Table 2 Heavy metals concentrations in the bottom sediments of Artilleryskaya Bay [9], $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Металлы									
Co	Cu	Mn	Pb	As	Cr	Fe	Zn	Ni	Cd
< 0.1	22.5	50.6	26.6	< 0.01	29.5	> 225	43.1	22.5	< 0.01
5 – 20*	15 – 25	500-800	50	10-20	80-200	-	100-150	10 – 40	0.5 – 2.0

* - норма для почв.

Средняя численность гетеротрофных бактерий в донных осадках составляла 9500 и нефтеокисляющих 750 $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$. Выделялись анаэробные микроорганизмы. Численность сульфатредукторов в среднем составляла 95 $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$, тионовых бактерий – $9.5 \cdot 10^3 - 4.5 \cdot 10^5$ $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$, денитрификаторы не обнаружены.

Результаты 20-летних наблюдений за мейобентосом показывают тенденцию его ухудшения, особенно в вершине бухты (рис. 3). Это выражено как в упрощении таксономического состава, так и в увеличении общей численности за счёт нематод, что обычно свидетельствует о депрессивности сообщества.

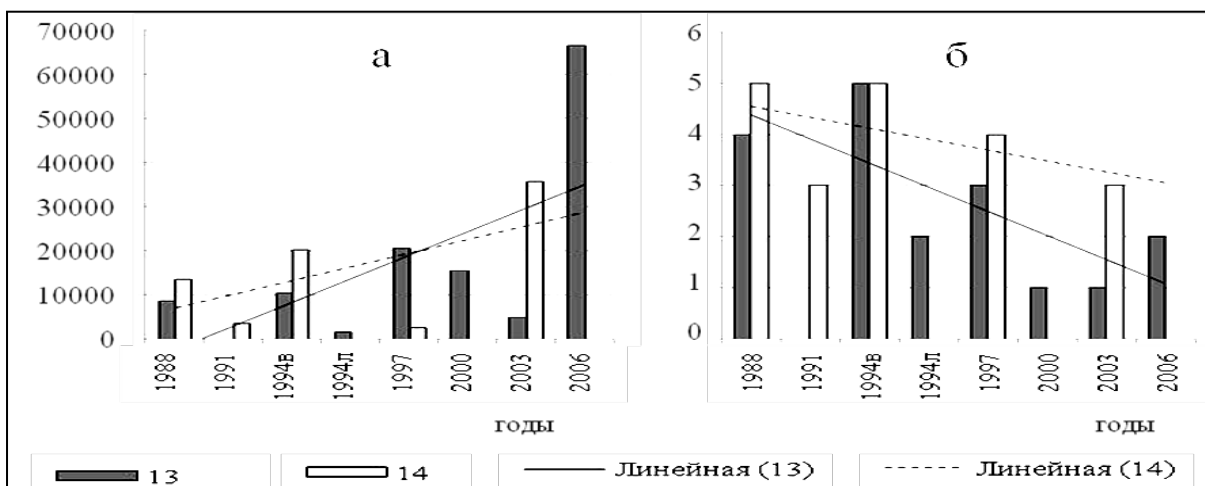


Рис. 3 Динамика численности (а, экз. $\cdot \text{м}^{-2}$) и таксономического разнообразия (б) мейобентоса в б. Артиллерийской в период 1988 – 2006 гг.
 Fig. 3 Quantity (a, $\text{ind.} \cdot \text{m}^{-2}$) and taxonomical dynamics (b) of Artilleryskaya Bay's meiobenthos during 1988 – 2006

Сравнение двух станций по нематодно-копеподному соотношению (N_{nem}/N_{harp}) [1] подтверждает, что экологическое состояние донных осадков в вершине бухты хуже, чем у выхода (табл. 3).

В вершине бухты доминировали нема-

Табл. 3 Показатели нематодно-копеподного соотношения в б. Артиллерийской в 1988 – 2006 гг.
Table 3 Nematoda/Copepoda ratio in Artilleriyskaya Bay (1988 – 2006)

Район	min	max	M	± m
Вершина	15	15500	3714.5	2170.1
Устье	5	3200	646.9	638.3

тоды – от 56.3 до 100 %, другие группы – оли-

Рис. 4 Динамика численности и биомассы макрозообентоса

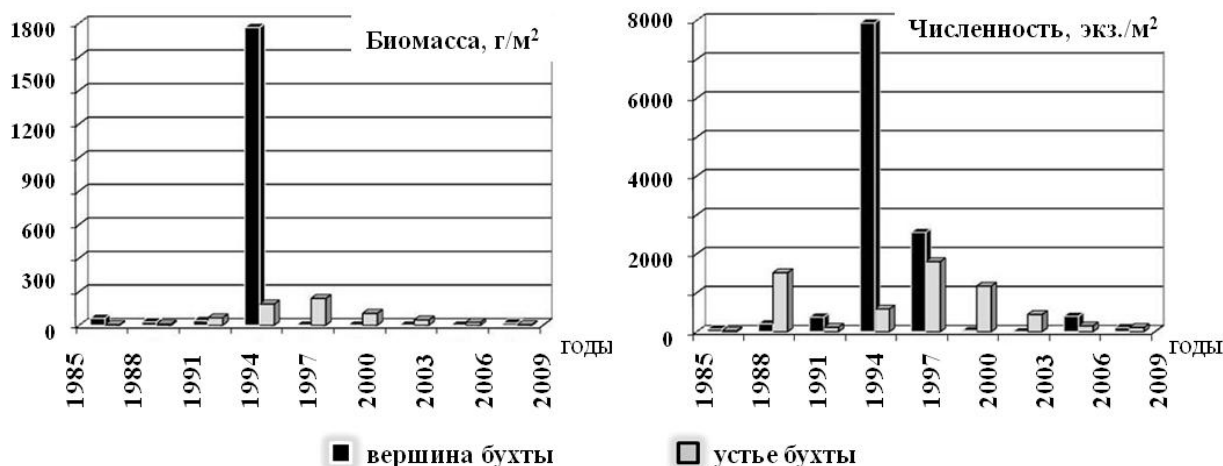


Fig. 4 Quantity and biomass dynamics of macrozoobenthos

Из макрозообентоса постоянно в бухте встречается только один вид – *Nassarius reticulatus*, массовость которого в этой акватории отмечалась ещё в начале XX в. [3]. В то же время *Hydrobia acuta*, указанная в [3] как массовая форма, в настоящее время таковой не является.

Донные осадки и населяющая их биота являются основной характеристикой экологического состояния акватории. В то же время донные осадки могут быть источником вторичного загрязнения моря. Однако нормирование загрязняющих веществ разработано только для морской воды.

В 1985 г. на постоянной станции на восточном берегу бухты ежемесячно на протяжении года осуществлялись исследования органического вещества в морской воде [2]: состав

гохеты, полихеты, немертины – встречались редко, а в последние годы всё таксономическое разнообразие представлено исключительно нематодами и малочисленными гарпактикоидами. В устье бухты нематоды также доминировали по численности – от 37.3 до 91.4 %, однако здесь чаще, чем в вершине бухты, встречаются представители других таксонов.

В настоящее время численность и биомасса макрозообентоса б. Артиллерийская постепенно вернулись к уровню 1985 г. (рис. 4), после их заметного увеличения в 1994 г., которое мы связываем со стагнацией хозяйственной деятельности в 1990-е гг.

взвешенного (ВОВ) и растворённого органического вещества (РОВ) и их деструкция, в том числе углеводов, белков, липидов и углеводов. Во взвешенном органическом веществе определяли фракционный состав углеводов (кислоторастворимых, щёлочерастворимых), липидов (полярные липиды, стеринны, жирные кислоты, триглицериды, воска). В группе нуклеиновых кислот изучали РНК, ДНК и их предшественников – свободные нуклеотиды. Оказалось, что РОВ составляет примерно 70 % от совокупного органического вещества (СОВ); его максимальное количество ($3514 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) наблюдалось в апреле, а минимальное (760) – июле. Углеводороды (УВ) в РОВ составляли $66.2 \pm 18.8 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$. Динамика концентрации

этих соединений в течение года позволяет предположить, что в их составе доминировали УВ биогенного происхождения. Среднегодовое содержание ВОВ составило 663.3 ± 60.3 мкг*л⁻¹, при этом также преобладали углеводороды биогенного происхождения.

В воде бухты обнаружены фенолы; их концентрация в ряде проб превышала 5 мкг*л⁻¹. Вещества фенольной природы в морской воде имеют аллохтонное и автохтонное происхождение. Динамика фенолов в бухте практически совпадает с таковой хлорофилла «а», каротиноидов, липидов, белков, некоторых фракций растворённых и взвешенных углеводов, что свидетельствует о биогенном происхождении части фенолов в бухте [2].

В последующие годы в морской воде определяли липидно-углеводородный комплекс, нефтяные углеводороды, численность гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий, диатомовых и пиррофитовых водорослей [11]. Количество нефтяных углеводородов в воде в 80 % случаев превышало ПДК в среднем в 1.5

– 2 раза; средняя концентрация липидов и углеводородов составляла соответственно 0.14 и 0.11 мг*л⁻¹. Отмечена тенденция повышения концентрации липидов в морской воде с увеличением численности диатомовых водорослей. Коэффициент корреляции между этими величинами составил $r = 0.62$. Содержание липидов в среднем за период наблюдений с апреля 2006 по февраль 2008 гг. составило 0.17 мг*л⁻¹ при колебании от 0.04 до 0.7. Из фракции хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) были выделены углеводороды, средняя концентрация которых составила 0.13 при максимальной величине 0.4 и минимальной 0.04 мг*л⁻¹. Количество нефтяных углеводородов колебалось от 0.01 до 0.27 мг*л⁻¹, в среднем 0.075. В марте 2007 г. наблюдалось повышение их концентрации в несколько раз – до 0.27 мг*л⁻¹, что не было связано с сезоном года, а отражало общий характер нефтяного загрязнения поверхности моря Севастопольской бухты. Результаты наблюдений с марта 2008 по май 2010 гг. приведены на рис. 5.

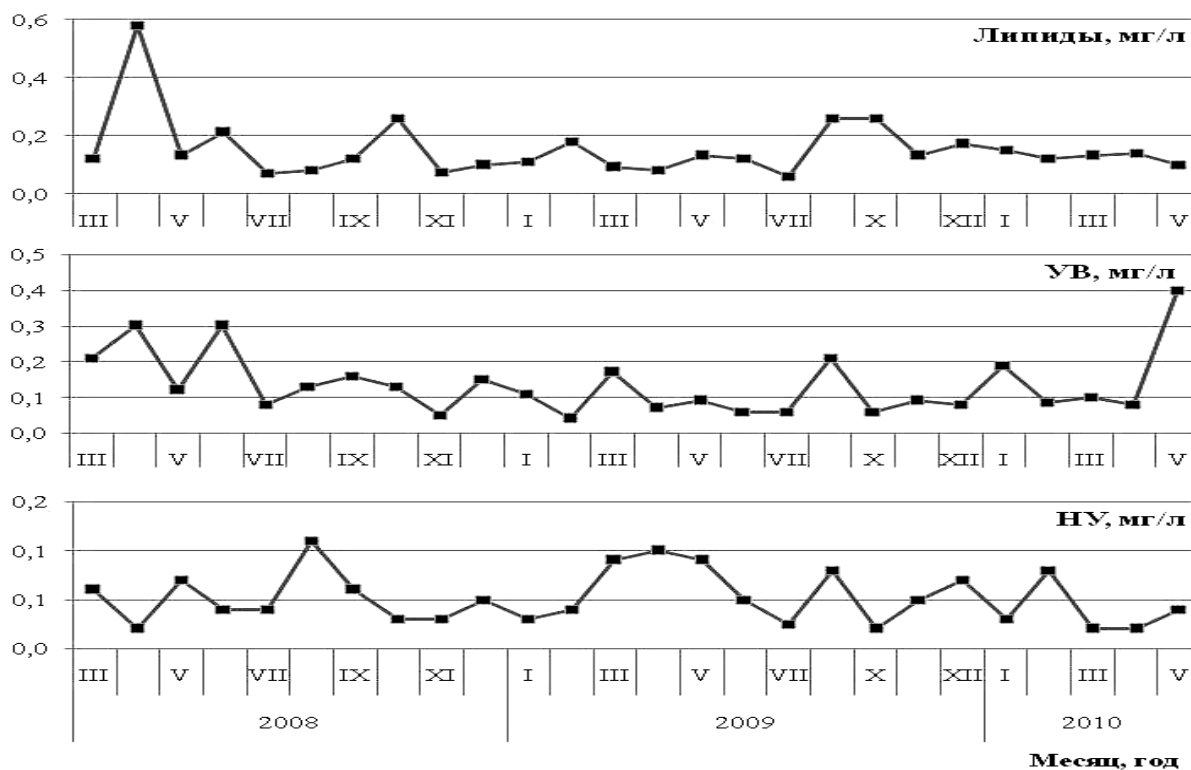


Рис. 5 Содержание липидов, углеводов, нефтяных углеводородов в морской воде
 Fig. 5 Contents of lipids, hydrocarbons, oil hydrocarbons in the sea water

Содержание в морской воде липидов в среднем за период составило $0.15 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (при колебании от 0.07 до 0.58), углеводов – 0.14 (от 0.04 до 0.4), нефтяных углеводов – 0.05 (от 0.02 до 0.11). За указанный период превышение ПДК нефтепродуктов отмечено в 54 % случаев. Между перечисленными выше параметрами наблюдается корреляционная связь, наиболее высокая между липидами – углеводами ($r = 0.83$), что объясняется структурой липидно-углеводородного комплекса. Его углеводородная компонента состоит из углеводов автохтонного и аллохтонного происхождения, в частности, нефтяного загрязнения. Соотношение между ними может быть весьма значительным и зависит, в основном, от уровня загрязнения моря и синтеза углеводов морскими организмами. В нашем случае между углеводами и нефтяными углеводами корреляция составляла $r = 0.78$. Следует отметить, что нефтяные углеводы близки или идентичны углеводам автохтонного происхождения.

Несмотря на малые размеры бухты, для решения практических задач изучались отдельные её участки.

К восточному берегу бухты прилегает акватория океанариума (см. рис. 1), донные осадки которого – пески и ракушняк с примесью разного количества илистых и песчаных частиц, а также илы с примесью песка и ракушки – характеризовались мозаичностью расположения. Все донные осадки тёмно-серого и чёрного цвета с запахом сероводорода и мазута; в ракушнях и илах эти свойства выражены слабее, чем в илах. Натуральная влажность колебалась от 27.63 до 41.36 %, Eh – от +241 до -39 мВ, pH – до 8.35. Количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) равнялось $0.13 - 1.04 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, нефтяных углеводов (НУ) – 31.2 – 405.5. Доля НУ в ХЭВ 22.9 – 39.0 %. Сумма лабильных компонентов изменялась от 978.0 – 1655.4 $\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ в ракушнях до 511.9 – в илах и 270.4 – 360.1 – в песках. Преобладала группа углеводов – 55 – 63 % от сум-

мы лабильных компонентов; белки составляли 10 – 19, липиды 23 – 31 %. В отличие от других участков бухты, здесь донные осадки имели повышенное содержание липидов – до $527.6 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, что связано с наличием морских млекопитающих. Значение липидно-углеводородной комплекса в ракушнях равно $0.64 - 1.13 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, в песках 0.16 – 0.26, в илах 0.24. В его составе на долю фракции углеводов приходилось 37.6 – 66.8, полярных липидов и смол – 19.0 – 37.4, стероидов – 2.2 – 18.9, жирных кислот – 1.3 – 12.4 и триглицеридов – 0.9 – 4.2 %. Эфиры жирных кислот и стероидов определены в следовых количествах.

Общая численность гетеротрофной микрофлоры находилась в пределах $4.5 \cdot 10^4 - 9.5 \cdot 10^5$, нефтеокисляющих – 45 – 950 кл. $\cdot \text{г}^{-1}$.

Акватория океанариума с трёх внешних сторон ограничена свайными причалами, подводная часть которых затянута сетью. Наличие в воде органических веществ – продуктов метаболизма морских млекопитающих – способствует развитию макрофитов. Общая биомасса водорослей на различных участках изменялась в пределах 580 – 2653 г сырого веса на 1 м^2 . На внутренней бетонной стенке бассейна биомасса макрофитов составляла $482 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Весной наибольшая биомасса отмечена для энтероморфы. В зимне-осенний период водоросли отсутствовали.

В центре бассейна океанариума самые высокие значения общей численности мейобентоса – 193.4 тыс. экз. $\cdot \text{м}^{-2}$ – отмечены осенью, в весенний период показатели уменьшились более чем в 3 раза. По численности доминировали нематоды, всегда присутствовали представители псевдомейобентоса: осенью – полихеты, весной – олигохеты и анизоподы, составляя от 3.7 до 9.5 % от общей численности организмов мейобентоса. На западной стороне океанариума численность мейобентоса была незначительной, 15.7 – 18.7 тыс. экз. $\cdot \text{м}^{-2}$. Обнаружены от 4 до 6 различных таксонов, при этом отмечены такие псевдомейобентосные группы, как олигохеты, полихеты, анизоподы.

Видовое разнообразие макрозообентоса в донных осадках океанариума было в целом ниже, чем в осадках внешней акватории Артиллерийской бухты, и составило 26 видов макрозообентоса. В частности, в центре полностью отсутствовали моллюски, а более половины найденных видов представлено многощетинковыми червями. Количественные характеристики макрозообентоса значительно варьировали. Наименьшие показатели численности макрозообентоса наблюдались в центре океанариума – 480 экз.*м⁻², а максимальные – у его западной стороны – 1600 экз.*м⁻². Высокие значения численности на этой станции обусловлены присутствием значительного количества крупных нематод (531 экз.*м⁻²), полихет семейства Capitellidae (463 экз.*м⁻²) и *Scolecopsis* sp. (412 экз.*м⁻²). Биомасса макрозообентоса в бассейне океанариума не превышала 10 г*м⁻². В центре доминировали *Cyclope pellucida*, *Cyclope neritea* и *Rissoa splendida*. Таким образом, в районе океанариума наблюдалось достаточно высокое разнообразие макрозообентоса. Однако общее видовое богатство и биомасса макрозообентоса непосредственно в бассейне океанариума были существенно ниже, чем в донных осадках прилегающей акватории.

На западном побережье бухты находится рекреационный комплекс пляж Хрустальный, пристань для круизных судов и малотон-

нажных плавсредств и выход городского ливневого коллектора. Одной из задач улучшения экологической обстановки в бухте стало предотвращение распространения загрязнений в район пляжа.

Для решения вопроса о размещении СГО в акватории бухты выбраны семь точек (см. рис. 1). В морской воде определялась численность бактерий, растущих на различных органических веществах, включая сырую нефть и нефтепродукты. Общее количество гетеротрофных бактерий составляло 6210 ± 120 кл.*мл⁻¹, из них росли на белке 4730 ± 1660 , на углеводах – 2350 ± 1330 , на жирах – 320 ± 80 . Численность нефтеокисляющих бактерий равнялась 392 ± 62 кл.*мл⁻¹, из них росли на нефти 135 ± 36 , на мазуте – 321 ± 102 , на солярке – 180 ± 78 кл.*мл⁻¹.

Средняя численность указанных групп бактерий в морской воде была одного порядка величин, что в целом наблюдается в Севастопольской бухте. Отметим широкий спектр биохимической активности по росту на различных нефтепродуктах и органических веществах. Это свидетельствует о деструкционном потенциале морской воды по разложению органических веществ автохтонного и аллохтонного происхождения. В этих же семи точках отбирались пробы донных осадков, результаты анализа которых представлены в табл. 4 и 5.

Табл. 4 Морфологические и физико-химические характеристики донных осадков
Table 4 Morphologic and physical-chemical characteristics of bottom sediments

№ ст.	Донный осадок	Натур. влажность, % масс.	pH	Eh, мВ
1	Песок тёмно-серый с запахом мазута	24.16	7.55	+61
2	Ил чёрный, примесь мусора, обломки ракуши, запах мазута и H ₂ S	55.87	7.25	-59
3	Ил чёрный, плотный, примесь песка, запах мазута, H ₂ S	38.95	7.62	-39
4	Песок тёмно-серый, запах H ₂ S	28.92	7.72	+141
5	Песок тёмно-серый, очень плотный, обильная примесь ракуши	29.24	7.80	+261
6	Ракушняк из перетёртой ракуши, очень плотный	-	7.75	-
7	Ракушняк из крупной ракуши, очень плотный	-	7.78	-

Пробы донных осадков представляли преимущественно крупнозернистые разновидности: пески с примесью ракуши и ила (ст. 1, 4, 5), ракушняки (ст. 6, 7), и лишь на двух точках

(ст. 2, 3) они относились к мелкозернистым образованиям – илам с большим количеством песка и мусора в виде примеси.

Табл. 5 Содержание ХЭВ и НУ в донных осадках
Table 5 Biochemical parameters of bottom sediments

№ ст.	Глубина, м	ХЭВ, г*100 г ⁻¹	Углеводороды (УВ)	
			мг/100 г	% от ХЭВ
1	1.5	0.74	198.0	27.2
2	6	1.15	253.0	22.0
3	5	0.67	160.8	24.0
4	7	0.13	30.6	23.5
5	7	0.34	119.0	35.0
6	5	0.15	39.0	26.0
7	5	0.41	135.0	33.0

Грунты первых трёх станций б. Артиллерийская имели запах мазута и сероводорода. Слабый запах сероводорода отмечен в песках на ст. 4. Морфологические и органолептические признаки свидетельствуют о подверженности донных осадков постоянному антропогенному воздействию.

Физико-химические показатели донных осадков имеют неоднородный характер. Натуральная влажность возрастала от 24.2 % в песках до 55.9 % в илах (см. табл. 4). Данный показатель, равно как и Eh, не определяли в ракушнях ст. 6 и 7, поскольку крупные размеры слагающего их материала препятствует точному определению влажности и окислительно-восстановительного потенциала. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) колеблется от -59 мВ до +261 мВ (см. табл. 4). В основном грунты имеют окислительные условия среды (ст. 1, 4, 5). К этой группе можно отнести и ракушники (ст. 6, 7), т. к. воздушные полости занимают значительную часть их грунтовой массы. В илах ст. 2, 3 прослеживаются восстановительные условия среды с определёнными показателями окислительно-восстановительного потенциала.

Следующий блок показателей (см. табл. 5) отражает загрязнение донных осадков нефтепродуктами. Согласно градации загряз-

нения по содержанию хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) [8], большинство донных осадков (ст. 4 – 7) относится к III, ст. 1 и 3 – к IV уровню загрязнения.

Следует отметить, что исследованным донным осадкам свойственно не только накопление, но и достаточно заметная деструкция органических веществ. Особенно интенсивно она протекает, по-видимому, в крупнозернистых ракушнях и песках, на что указывает доля УВ в составе хлороформ-экстрагируемых веществ – до 35 %. В отличие от крупнозернистых донных осадков, в илах при большем количестве углеводов доля последних в хлороформ-экстрагируемых веществах меньше – 22 – 24 %. Здесь процессы преобразования органического вещества идут, видимо, слабее, чем в окислительных условиях песков и ракушников.

Помимо морской воды и донных осадков важным экологическим показателем являются и макрофитообрастания на гидротехнических сооружениях в приповерхностном горизонте моря, представляющими контактную зону «субстрат – вода – атмосфера» [8].

На причальной стенке б. Артиллерийская (в районе ливневого стока) обнаружено 7 видов макрофитов (зелёных – 3, красных – 4). Доля полисапробных видов составила 57 %, мезосапробных – 43 %, олигосапробные виды отсутствовали. Поскольку химический состав водорослей в значительной степени может характеризовать органические компоненты морской воды акватории в целом, определяли основные классы органического вещества и некоторые их составляющие в трёх видах макрофитов: *Ulva rigida*, *Callithamnion corymbosum*, *Ceramium rubrum* (табл. 6).

Табл. 6 Компонентный состав среднегодового суммарного органического вещества (мг*100 г⁻¹ сух. веса)
Table 6 Percentage of common organic matter components (mg*100 g⁻¹ of dry weight)

Вид	Углеводы		Белки		Липиды		Пигменты	
	%	мг·100 г ⁻¹	%	мг·100 г ⁻¹	%	мг·100 г ⁻¹	%	мг·100 г ⁻¹
<i>U. rigida</i>	54	29 – 38	41	19 – 30	4	2 – 3.5	1	0.3 – 0.7
<i>C. corymbosum</i>	38	22 – 22.5	53	28 – 36	8	3 – 7	1	0.2 – 0.3
<i>C. rubrum</i>	47	22 – 47	46	22 – 32	7	3 – 5	0.3	0.04 – 0.2

Основную часть суммарных липидов исследованных водорослей составляет фракция полярных липидов, их максимальные значения в *U. rigida* и *C. rubrum* наблюдались зимой, а в *C. corymbosum* – весной. Весной во всех трёх водорослях отмечено также повышенное содержание жирных кислот и триглицеридов.

Количество свободных нуклеотидов в исследованных водорослях на протяжении года изменялось незначительно. Максимальные значения РНК и аминокислот в *U. rigida* наблюдались весной, в *C. corymbosum* РНК – зимой, аминокислот – осенью, а в *C. rubrum* аминокислот – зимой, количество РНК на протяжении года почти не менялось. Значительную часть углеводных соединений исследованных водорослей составляют прочносвязанные углеводы, входящие в состав различных клеточных структур – кислотная, щелочная фракции и трудногидролизуемые углеводы. Меньше углеводов, легко вступающих в различные энергетические процессы – моно- и полисахаридов.

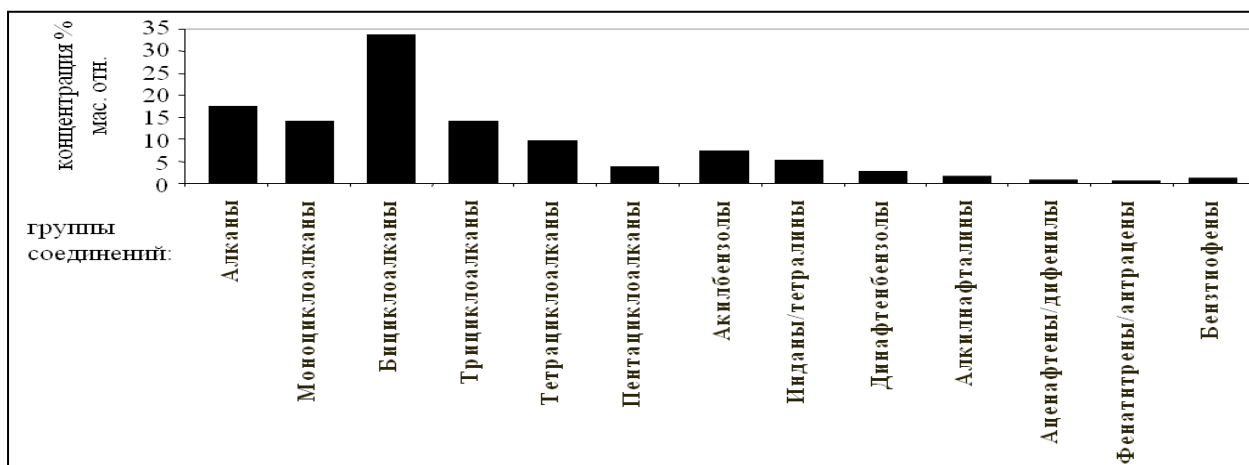
Результаты санитарно-биологических исследований были использованы для обоснования и развёртывания системы гидробиологической очистки морской воды, смонтированные в районе выхода ливневой канализации в б. Артиллерийская. Планировалось решить задачу по перехвату ливневых стоков, коллектор

которых выходит в районе юго-западной оконечности бухты. Кстати, в него попадали поверхностные стоки с Карантинной горки, которые не выводились в канализацию. К осени 1989 г. мощность первого звена биофильтра – мидий составляла 6.3 тыс. м³ воды в сутки. В 1990 г. СГО разрушена штормом.

В процессе фильтрационной деятельности мидии не только связывают в псевдофекалии загрязняющие вещества и делают их более доступными для бактерий, но и накапливают поллютанты в своих тканях. По анализу последних можно судить о составе углеводов в море. Масс-хромато-графический анализ мидий показал, что компоненты углеводородной смеси в основном представляют собой нормальные и разветвлённые алканы, моно- и полициклические нефтяные углеводороды с одним, двумя и тремя ароматическими кольцами, главным образом, алкилзамещённые, характерные для нефтяных фракций. Характер масс-спектра полностью соответствует лёгким нефтяным фракциям с пониженным содержанием алканов. Углеводороды в экстракте, выделенном из мидий, относятся к более лёгким фракциям и по составу близки к дизельному топливу. Для основной части компонентов смеси по усреднённому масс-спектру рассчитан групповой состав (рис. 6).

Рис. 6 Результаты анализа относительной концентрации основных групп углеводородных соединений в мягких тканях мидий на СГО (1989 г.)

Fig. 6 Contents of main hydrocarbon compounds in the soft tissues of mussels of the hydrobiological purification



system (1989)

Общее содержание компонентов нефти составляет $1.17 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ мягких тканей моллюсков. Поскольку мидии являются первым звеном в системе гидробиологической очистки, а основную роль в трансформации загрязняющих веществ играют бактерии, нами изучалась микрофлора самих мидий, в частности, мантийной жидкости и желудка. Многолетние наблюдения за численностью бактерий в морской воде бухты показали значительные (на величину 1 – 2 порядков) колебания этого показателя. В мантийной жидкости моллюсков, проанализированной одновременно с морской водой, такие колебания не имели столь значительной амплитуды и не совпадали с колебанием численности данных групп бактерий в воде.

Выделенные из тканей мидий бактерии, наряду с трансформацией основных классов органических веществ, росли на нефти и

нефтепродуктах. При этом пока трудно сказать, есть ли специфические, свойственные именно кишечнику мидий углеводородокисляющие группы бактерий, или там находятся нефтеокисляющие бактерии, попавшие в организм мидий из морской воды с микрокаплями нефти (нефтепродуктов). Пока очевидно лишь то, что численность этой группы бактерий в желудке мидий превышает их содержание в морской воде в сотни раз.

Данные о санитарно-гигиенических показателях морской воды до и после установки СГО в б. Артиллерийская, приведенные в табл. 7, демонстрируют значительное улучшение санитарно-биологических характеристик морской воды. При этом такой важный в санитарно-гигиенической практике показатель, как микробное число, уменьшился более чем в 10 раз.

Табл. 7 Некоторые санитарно-гигиенические показатели морской воды до и после прохождения через СГО
Table 7 Sanitary-hygiene parameters of sea water before and after passing through the hydrobiological purification system

Показатель	До прохождения	После прохождения	Показатель	До прохождения	После прохождения
Взвесь, мг/л	35.0	27.0	Нитраты, мкг/л	47.0	15.0
Фосфор, мкг/л	22.0	0.85	Аммиак, мкг/л	2.0	0.4
Нитриты, мкг/л	2.5	2.15	БПК ₅ , мг O ₂ /л	950	15
Микробное число, кл/мл	95.0	4.5			

Для повышения эффективности системы выход ливневой канализации был перенесён под свайный причал. Это дало возможность разместить под причалом в непосредственной близости от выхода сточных вод новую систему гидробиологической очистки морской воды.

Малые размеры бухты приводят к тому, что пресная вода ливневых стоков, особенно в период сильных дождей и интенсивного таяния снега, покрывает всё водное зеркало бухты, что хорошо видно по изменению цвета поверхности моря, на границе фронтального раздела. Этот загрязнённый слой опреснённой воды вместе с загрязнителями самой бухты входит в контакт с биотой, населяющей подводную часть гидротехнических сооружений (до глубины 1 м), которыми в настоящее время закрыто всё побережье бухты.

В этом биотопе на границе «морская вода – твёрдый субстрат – атмосфера» происходит концентрация загрязнений, поступающих как с суши, так и со стороны моря, и в этом районе происходит наиболее частый контакт людей с морской средой [8]. Некоторые аспекты этой проблемы освещены в монографии [12].

Значительная роль в процессах самоочищения принадлежит микроперифитону. Одним из показателей этого процесса является динамика органического вещества в микроперифитоне [10]. В период 2007 – 2009 гг. обработка 72 проб, взятых на 4 станциях (см. рис. 1), дала следующие средние величины основных классов органических веществ – белков, углеводов, липидов (рис. 7).

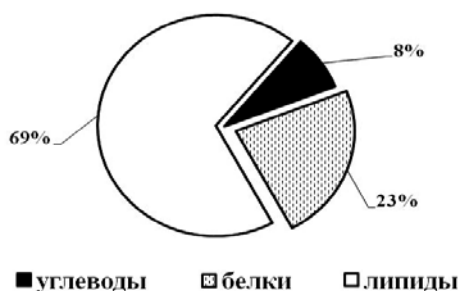


Рис. 7 Содержание основных классов органических веществ в микроперифитоне Артиллерийской бухты

Fig. 7 Percentage of organic matter main classes in the microperiphyton of Artillery Bay

Нуклеиновые кислоты и их предшественники – аминокислоты и свободные нук-

леотиды – составляли от 50 до 80, липиды – от 12 до 34, доля углеводных соединений не превышала 10 %. С уменьшением температуры воды на всех станциях наблюдалась тенденция увеличения количества липидов в микроперифитоне, коэффициент корреляции при этом составлял $r = 0,5$ (при $n = 18$).

Значительный интерес представляют данные по величине нефтяного загрязнения в перифитоне гидротехнических сооружений. Учитывая особенности нефтяного загрязнения, была проведена одномоментная съёмка на 17 станциях (см. рис. 1), охватывающая весь периметр бухты [5] (табл. 8).

Табл. 8 Содержание НУ в микроперифитоне Артиллерийской бухты ($\text{мг} \cdot \text{г}^{-1}$ сыр. веса)

Table 8 Contents of oil hydrocarbons in the microperiphyton of Artillery Bay ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ wet weight)

№ ст.	Концентрация НУ	№ ст.	Концентрация НУ	№ ст.	Концентрация НУ
1	0.03	7	0.33	13	0.01
2	0.07	8	0.17	14	0.17
3	0.08	9	0.03	15	0.02
4	0.02	10	0.08	16	0.04
5	0.01	11	0.02	17	0.01
6	0.18	12	0.1		

Как можно видеть, максимальное значение нефтяных углеводородов ($0.33 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$) зафиксировано в угловой части бухты, где расположены стоянка городских катеров и выходливневой канализации. Повышенные концентрации (0.18 и $0.17 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$) наблюдались на соседних станциях. Минимальные концентрации нефтяных углеводородов ($0.01 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$) отмечены на станциях с интенсивным водообменом. Распределение нефтяного загрязнения на других станциях можно объяснить неравномерностью миграции нефтяного загрязнения по акватории бухты.

Закключение. 1. Акватория б. Артиллерийская, особенно её вершина, относится к

1. Воробьёва Л. В. Мейобентос украинского шельфа Чёрного моря. – К.: Наук. думка, 1999. – 200 с.
2. Дивавин И. А., Копытов Ю. П., Цымбал И. М. Органическое вещество в морской воде Чёрного моря / Молисмология Чёрного моря. – К. Наук. думка, 1992. – С. 165 – 204.

наиболее загрязнённым участкам акватории Севастополя. **2.** Дальнейшее увеличение антропогенной нагрузки на акваторию бухты и прилегающую береговую линию ведёт к ухудшению основных санитарно-биологических показателей морской среды. **3.** Показана эффективность работы СГО, повышающей способность бухты к самоочищению. **4.** Использование бухты как многолетнего и постоянного исследовательского полигона даёт возможность разработки методического подхода к организации изучения других морских прибрежных акваторий и, в дальнейшем, к разработке системы управления прибрежными морскими акваториями.

3. Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Чёрного моря // Зап. Императ. Акад. наук. – 1913. – **32**, № 1. – 199 с.
4. Козлова О. В. Расчёт фильтрационной активности популяции черноморских мидий, что живёт на молу Севастопольской бухты // Экология моря. – 2007. – Вып. 66. – С. 64 – 66.

5. *Миронов О. А.* Нефтяные углеводороды на поверхности водорослей-макрофитов гидротехнических сооружений // *Экология моря.* – 2007. – Вып. 74. – С. 56 – 58.
6. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В.* Санитарно-биологические аспекты экологии Севастопольских бухт в XX веке // *Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика*, 2003. – 185 с.
7. *Миронов О. Г.* Санитарно-биологические исследования на морских полигонах в Севастопольских бухтах (Чёрное море) // *Экология моря.* – 2009. – Вып. 77. – С. 84 – 87.
8. *Миронов О. Г.* Санитарно-биологические направления исследований акваторий контактной зоны «суша – моря» // *Экология моря.* – 2001. – Вып. 57. – С. 85 – 90.
9. *Миронов О. Г., Ковальчук Н. Л., Крючков Г. И.* Загрязнение донных осадков Севастопольских бухт. // *Экологические аспекты защиты техники и материалов. Теория и практика натур-*
ных испытаний. Сб. докл. II-ой науч.-практ. конф. (Адлер, 27 – 29 апр. 1998 г.). – Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцева, РАН. – М., 2000. – С. 71 – 73.
10. *Миронова Т. О., Муравьёва И. П.* Динамика органического вещества в перифитоне гидротехнических сооружений // *Экология моря.* – 2009. – Вып. 77. – С. 88 – 90.
11. *Муравьёва И. П., Гапонюк Т. О.* Некоторые факторы, влияющие на самоочищение морской воды // *Экология моря.* – 2004. – Вып. 66. – С. 79 – 81.
12. *Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / Под общей ред. О. Г. Миронова: НАН Украины, ИнБЮМ. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – 192 с.*

*Поступила 04 января 2011 г.
После доработки 25 ноября 2011 г.*

Моніторинг екологічного стану Артилерійської бухти (Севастополь, Чорне море). **О. Г. Миронов, С. В. Алёмов, Т. С. Осадчая, О. В. Гусева, Т. О. Миронова, І. П. Муравйова, О. А. Миронов, Л. В. Енина, Д. А. Алифанова, М. Г. Волков.** Багатолітній моніторинг Артилерійської бухти показав, що по рівню вмісту в донних осіданнях органічних речовин основних класів, а також нафтових вуглеводнів, бухта відноситься до найбільш забруднених акваторій регіону Севастополя. У морській воді розчинена органічна речовина складає приблизно 70 % від сукупної органічної речовини, кількість нафтових вуглеводнів в 80 % випадків перевищувало ГДК. Виявлені феноли до 5 мкг/л. Відмічена тенденція підвищення концентрації ліпідів в морській воді із збільшенням чисельності діатомових водоростей ($r = 0,62$). У таломас макрофітів виявлені ті ж органічні сполуки, що і в морській воді. Загальна чисельність гетеротрофних і нефтеокислюючих бактерій в морській воді і в донних осадах відповідала середнім показникам цих груп мікроорганізмів в Севастопольській бухті. У донних осадах мейобентос знаходиться в депресивному стані, про що свідчить спрощення таксономічного складу та збільшення загальної чисельності за рахунок нематод. На чисельність і біомасу макрозообентосу помітно впливає інтенсивність господарської діяльності. Отримані нові дані про трансформацію забруднюючих речовин на кордоні контактної зони «море – субстрат – атмосфера». Показана провідна роль мікроперифітона контактно й зони в цих процесах.

Ключові слова: Артилерійська бухта (Чорне море), забруднення, самоочищення, штучні рифи, хімічний склад гідробіонтів

Ecological monitoring of Artilleriyskaya Bay (Sevastopol, Black Sea). **O. G. Mironov, S. V. Alyomov, T. S. Osadchaya, E. V. Guseva, T. O. Mironova, I. P. Muravyova, O. A. Mironov, L. V. Enina, D. A. Aliphanova, N. G. Volkov.** The analysis of long-term monitoring results of the Artillery Bay are represented. In the sea water of the Artillery Bay dissolved organic matter is approximately 70% of the total organic matter. The amount of oil hydrocarbons in 80 % of cases exceeded the MPC. Phenols were found up to 5 micrograms per liter. The tendency of increasing lipid concentrations in sea water with an increase in the number of diatoms has a correlation coefficient of $r = 0,62$. Thaloms of algae macrophytes contained same compound of organic substances, found in sea water. The total number of heterotrophic and oil-oxidizing bacteria in seawater and bottom sediments corresponded to the average performance of these groups of microorganisms in the Sevastopol Bay. The bay is among the most polluted in the region of Sevastopol by the level of content of major classes of organic substances, as well as oil hydrocarbons in bottom sediments. Meiobenthic community of the bottom sediments is suppressed, as evidenced by the simplification of the taxonomic composition and the increase in the total number due to nematodes. Intensity of economical activity on the coast of bay influences on a quantity and biomass of macrozoobenthos. The new data about transformation of pollutants on the border of contact zone “sea - substrate – atmosphere” is got. The leading role of microperiphyton in these processes was marked.

Key words: Artilleriyskaya Bay (Black Sea), pollution, self-purification, artificial reefs, hydrobionts' chemical composition.