

Российская академия наук
Федеральное агентство научных организаций
Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского
Институт океанологии имени П. П. Ширшова
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Межведомственная ихтиологическая комиссия
Центральное Управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам
по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и
акклиматизации ФГБУ «ЦУРЭН»
Российский фонд фундаментальных исследований

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, БИОИНДИКАЦИЯ,
НОРМИРОВАНИЕ**

**Всероссийская научная конференция с международным участием,
посвященная 125-летию профессора В. А. Водяницкого**

СБОРНИК СТАТЕЙ

Севастополь, 28 мая – 1 июня, 2018 г.



Севастополь
«Колорит»
2018

Печатается при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-04-20013

Ответственный редактор

д.б.н., проф. Руднева И. И.

Рецензент

д.б.н., проф. Филенко О. Ф.

Редакционная коллегия: д.б.н., проф. Солдатов А. А., к.б.н., доц. Залевская И. И.

3 14 **Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование** : сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого, Севастополь, 28 мая – 1 июня, 2018 г. – Севастополь : «Колорит», 2018. – 327 с.
ISBN 978-5-60-400-20-8-7

В сборнике представлены статьи участников Всероссийской научной конференции с международным участием «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование», посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого, которая состоялась 28 мая – 1 июня 2018 г. в Севастополе. Широко обсуждаются проблемы современного статуса и тенденций экологических изменений морей Российской Федерации. Приведены сведения об источниках загрязнения, основных загрязняющих веществах, их содержании в окружающей среде и в тканях гидробионтов. Представлены результаты исследований и оценки состояния водных организмов и биологических сообществ, подвергающихся разным видам антропогенного воздействия. Рассмотрены объекты и методы биоиндикации морской среды и экологического мониторинга, а также проблемы нормирования и биотестирования загрязнения морей и океанов. Особое внимание уделено экологическим последствиям нетоксичного загрязнения морских экосистем (радиоактивное, электромагнитное, механическое и пр.).

Предназначен для широкого круга биологов, экологов, гидробиологов, специалистов в области аквакультуры, охраны окружающей среды и рыболовства.

УДК 574.24
ББК 26.221+28.080.1

Pollution of marine environment: ecological monitoring, bioassay, standardization:
collection of the papers of the Russian scientific conference with international participation devoted to 125th anniversary of prof. V. A. Vodyanitsky, Sevastopol, May 28 – June 1, 2018. – Sevastopol: "Colorit", 2018. – 327 p.
ISBN 978-5-60-400-20-8-7

The original papers of the participants of the Russian scientific conference with the international participation "Marine pollution: ecological monitoring, bioassay, norming" devoted to 125th anniversary of professor V. A. Vodyanitsky, which was held on May 28 – June 1, 2018 in Sevastopol are presented. The problems of recent state and the main trends of ecological changes of the seas of Russian Federation are discussed. The information about the pollution sources, highly distributed contaminants, their content in the marine environments and in the tissues of aquatic organisms is presented. The results of the study and the evaluation of marine organism's status and populations impacted on different kinds of anthropogenic activity are presented. The test-organisms and the bioassay methods of marine environments are shown, as well as the problems of norming and ecological evaluation of the pollution level of the seas and ocean are observed. The attention focused on the ecological consequences of non-toxic pollution of marine environment namely radioactive, electromagnetic, mechanical, etc. These papers are intended for specialists in biology, ecology, hydrobiology, aquaculture, environment protection, ichthyology, and other adjacent sciences.

Утверждено к печати Учёным советом
ФГБУН «Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского РАН» (протокол № 3 от 03 апреля 2018 г.)

© Авторы статей, 2018
© ФГБУН ИМБИ РАН

ISBN 978-5-60-400-20-8-7

Шашко А. В. Шашко Л. Н. Накопление и содержание цезия-137 в организме рыб, обитающих в водоемах припятского полесья // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. 2009. № 2. С. 4–17.

TOXIC ELEMENTS CONCENTRATION AND RADIONUCLIDES IN THE TISSUES OF BLACK SEA FISH SPECIES

Omelchenko S. O.

*Crimean Institute of post-diploma pedagogical education, Simpheropol, Russia,
svet.omelchenko@mail.ru*

Abstract. The concentration of toxic elements and radionuclides, contained in the muscle tissue of knout goby (*Mesogobius batrachocephalus*) and horse mackerel (*Trachurus mediterraneus ponticus*) from different water areas of the Black Sea and the Kerch Strait were studied. The level of toxic elements in tissues of fish in the Karantinnaya Bay is higher than those in the fish from the Kerch Strait, except for horse mackerel in the Kerch Strait, which is marked by a higher level of cadmium, arsenic and lead. Caesium-137 and strontium-90 activity is the highest in tissues of horse mackerel, which characterizes high mobility.

Key words: fish, Black Sea, heavy metals, radionuclides.

УДК 574.5(262.5)

КОМПЛЕКС «ДОННЫЕ ОСАДКИ — БЕНТОС» В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Осадчая Т. С., Алёмов С. В., Витер Т. В.

*Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Россия, ots51@mail.ru*

Аннотация. Настоящая статья представляет обзор многолетних изменений экологического статуса Севастопольской бухты на основе известных вариаций антропогенного фактора (нефтеуглеводородное загрязнение) и соответствующих откликов биоты (макрозообентос).

Ключевые слова: морская среда, загрязнение, донные осадки.

ВВЕДЕНИЕ

Принимая во внимание тот факт, что с момента основания города (1783 г.) акватория Севастопольской бухты обеспечивает, в первую очередь, портовые услуги для военно-морских и промышленно-гражданских целей, присутствие нефти и нефтепродуктов в различных объектах морской среды вполне объяснимо. Данный вид загрязнения уже не одно десятилетие рассматривается, как постоянно действующий антропогенный фактор, уже внесший свой негативный вклад в структуру прибрежных экосистем.

Мониторинговые наблюдения за динамикой и особенностями воздействия нефтяного загрязнения на биоту (макрозообентос в данном обзоре) были начаты отделом морской санитарной гидробиологии в 1973 г. и с заданной периодичностью (одна экологическая съемка раз в три года) продолжаются и в настоящее время. Большой объем накопленного химико-биологического материала позволяет анализировать

происходящие изменения в различных масштабах времени, что, в свою очередь, дает возможность вероятного прогноза в отношении активности процессов самоочищения морской среды по трансформации уже накопленного в значительных количествах нефтеуглеводородного загрязнения.

Цель настоящей работы состояла в сравнении пространственно-временных трендов антропогенного (по нефтяным углеводородам) и биологического (по характеристикам макрозообентоса) факторов по результатам комплексных экологических съемок Севастопольской бухты 2000 и 2009 гг. (рис. 1).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Основные методологические подходы к исследуемым объектам — донные осадки и макрозообентос, включая диапазон регистрируемых показателей и аналитические методы, подробно представлены в публикациях О.Г. Миронова с соавторами (2003), Вилсона и др. (2008).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 приведены основные анализируемые физико-химические показатели донных осадков. Как следует, большинство осадков представлены алевро-пелитовыми илами (от серых до чёрных) с резко выраженным запахом сероводорода; смешанные субстраты (песок с примесью раковин моллюсков, светлые илы и пр.) наблюдались только на отдельных станциях. Показатели натуральной влажности варьировали с характерным трендом снижения соответствующих значений от черных к серым илам и затем — к смешанным субстратам. Диапазон изменения рН свидетельствовал об относительной стабильности кислотно-щелочного баланса (от почти нейтральных до слабощелочных условий) для большинства анализируемых проб в анализируемом временном масштабе.

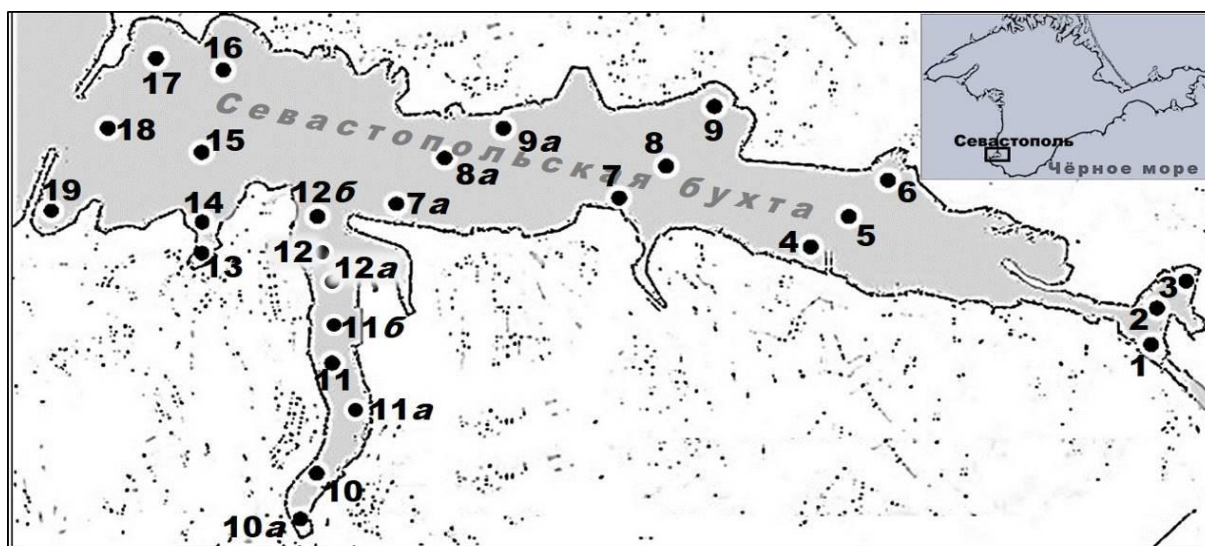


Рисунок 1. Карта-схема отбора проб донных осадков в Севастопольской бухте (2000, 2009 гг.; литера «а» соответствует дополнительным станциям 2009 г.).

Таблица 1

Физико-химические показатели и концентрации нефтяных углеводородов (НУ, мг/100 г сухого осадка) в различных типах донных осадков Севастопольской бухты

2000 г.					
Тип осадка/показатель	%*	Влажность, %	pH	Eh, mV	НУ, мг 100г ⁻¹
Илы: Черные	47.4	42.00 ÷ 78.51	7.05 ÷ 8.04	(+21) ÷ (-189)	82.0 ÷ 1708.8
Темно-серые	26.3	54.83 ÷ 66.35	7.16 ÷ 7.60	(+1) ÷ (-167)	34.0 ÷ 250.8
Серые	10.5	49.90 ÷ 67.53	7.30 ÷ 7.55	(+21) ÷ (- 89)	40.0 ÷ 114.0
Другие**	15.5	26.56 ÷ 72.69	7.90 ÷ 8.17	(+251) ÷ (-114)	1.0 ÷ 14.0
2009 г.					
Илы: Черные	31.6	50.40 ÷ 69.26	7.08 ÷ 7.85	(-178) ÷ (-114)	143.8 ÷ 1369.5
Темно-серые	31.6	50.56 ÷ 67.49	7.38 ÷ 7.82	(-174) ÷ (-55)	90.4 ÷ 856.6
Серые	26.3	35.85 ÷ 54.07	7.47 ÷ 7.56	(- 69) ÷ (-247)	19.0 ÷ 196.0
Другие**	10.5	18.05 ÷ 33.50	7.52 ÷ 7.75	(- 20) ÷ (- 29)	24.3 ÷ 189.3

Примечание: * — % от общего количества станций; ** — пески, ракуша или смешанный субстрат

Наиболее значительные временные изменения характеризуют окислительно-восстановительные условия донной среды бухты, а именно: если в 2000 г. положительные значения Eh, свидетельствующие об окислительных процессах, регистрировались на отдельных станциях западного района акватории, то в 2009 г. осадки с такими условиями не наблюдались ни на одной станции (см. табл. 1). Отмеченный переход к доминированию отрицательных Eh свидетельствует о неблагоприятных условиях в донной поверхности бухты в отношении как уже накопленного (к 2000 г.), так и вновь привнесенного (к 2009 г.) загрязнения, поскольку процессы деградации нефтяных углеводородов в осадках с низкими концентрациями кислорода значительно замедляются (Кирюхина, Губасарян, 2000).

Пространственное распределение фактора загрязнения показывает выраженное временное сходство (рис. 2А) и подтверждает наличие зон повышенного концентрирования нефтяного загрязнения в одних и тех же районах бухты: внутренняя (центральная) часть акватории и Южная бухта (рис. 1; ст. 7–9а; ст. 10–12b) с донной поверхностью, покрытой, преимущественно, иловыми осадками с отрицательными Eh сохраняют статус зон с высокой антропогенной нагрузкой на протяжении десятилетия. Зафиксированное сужение площади с чрезвычайно высокими концентрациями углеводородов (черный цвет на рис. 2А) к 2009 г. сопровождалось повышением соответствующих значений в северо-западной части залива, где еще десять лет назад фактор загрязнения не вызывал беспокойства.

Соответствующий анализ биологических данных показал не только перераспределение по индексу встречаемости (табл. 2), но общее снижение и количества видов макрозообентоса (52 вида в 2009 г. против 68 в 2000 г.) и основных количественных характеристик (рис. 3).

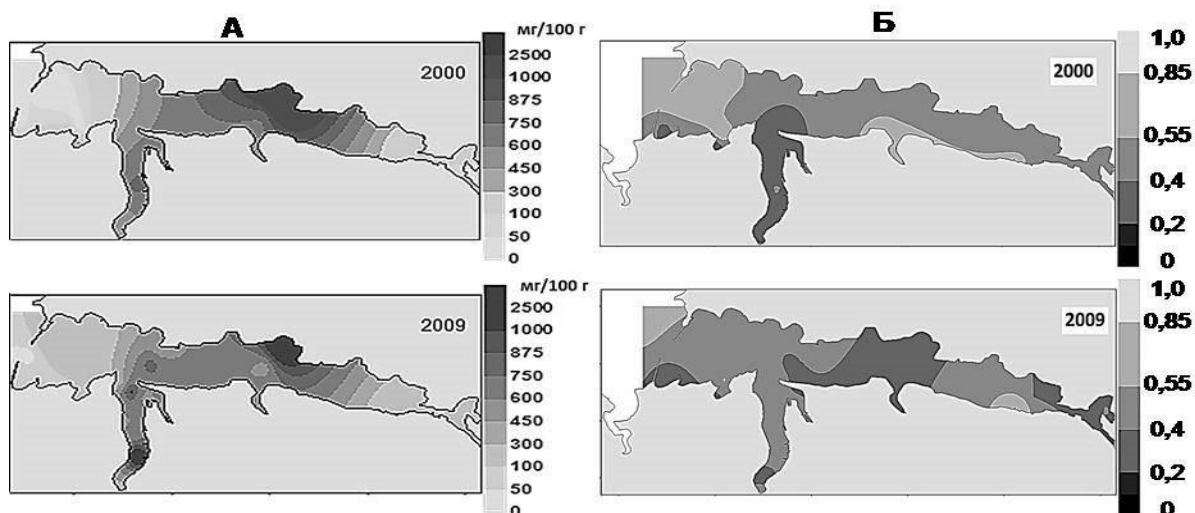


Рисунок 2. Пространственно-временная динамика антропогенного фактора (А) и экологического качества донной среды по индексу М-АМБИ (Б) Севастопольской бухты.

Таблица 2

Встречаемость (%) основных видов макрозообентоса Севастопольской бухты					
Виды	2000 г.	2009 г.	Виды	2000 г.	2009 г.
<i>Capitella capitata</i>	81	32	<i>Parvicardium exiguum</i>	38	21
<i>Iphinoe elisae</i>	81	26	<i>Melinna palmata</i>	31	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	75	42	<i>Rissoa parva</i>	31	16
<i>Nassarius reticulatus</i>	69	26	<i>Diogenes pugilator</i>	25	21
<i>Abra segmentum</i>	69	58	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	25	11
<i>Heteromastus filiformis</i>	63	74	Gammaridae	50	-
<i>Bittium reticulatum</i>	56	39	<i>Abra nitida</i>	19	37
<i>Hydrobia acuta</i>	56	79	<i>Tellina fabula</i>	-	37
<i>Amphibalanus improvisus</i>	50	37	<i>Polydora limicola</i>	19	32
<i>Nephtys hombergii</i>	44	32	<i>Spisula subtruncata</i>	13	26
<i>Mytilaster lineatus</i>	44	37	<i>Alitta succinea</i>	19	26

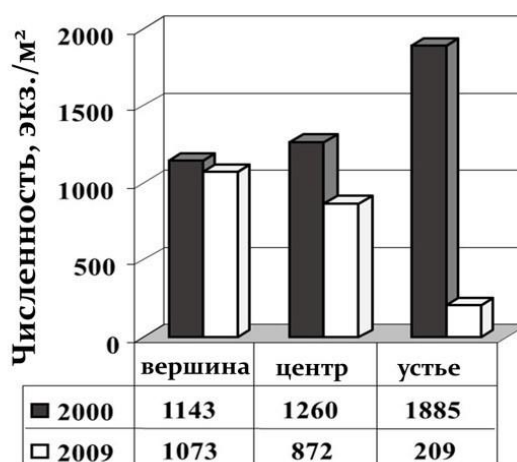
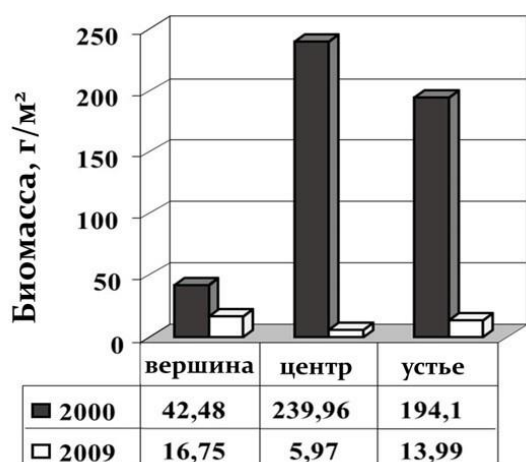


Рисунок 3. Многолетняя динамика биомассы и численности макрозообентоса в различных районах Севастопольской бухты.

В 2000 г. основной вклад в общую биомассу макрозообентоса Севастопольской бухты вносили моллюски: в наибольшей степени *Bivalvia* и в наименьшей — *Gastropoda*. *Mytilus galloprovincialis*, *Mytilaster lineatus* с максимальными значениями биомассы доминировали в центральном и устьевом районах акватории; *Nassarius reticulatus*, *Abra segmentum* и *Cerastoderma glaucum* при достаточно высоких значениях аналогичного показателя отмечались практически повсеместно; доля полихет и ракообразных была незначительна по биомассе, но заметна по вкладу в общую численность. Градиент общей численности макрозообентоса в 2000 г. характеризовался ростом от вершины к устью бухты и определенным множеством ансамблей, ответственных за отмеченное пространственное распределение, а именно: *C. glaucum*–*N. reticulatus*–*A. segmentum* доминировали в вершинной части бухты, *N. reticulatus* и *C. glaucum* — в центральном и в устьевом районах. Моллюски *Loripes lucinalis*, *Spisula subtruncata*, *Chamelea gallina*, встречаемые, как правило, в относительно благополучных (в отношении нефтяного загрязнения) областях были зарегистрированы в устье при достаточно высоких показателях биомассы. Трофическая структура макрозообентоса этого периода, на фоне широкой распространенности церастодермы и мидий в различных районах бухты, характеризовалась преобладанием сестонофагов.

Сравнение всех количественных показателей в 2000 и 2009 гг. свидетельствуют о значительных изменениях (в сторону ухудшения) общего статуса макрозообентоса Севастопольской бухты: снижение общей биомассы практически по всем выделенным районам акватории, но особенно существенное (в более, чем в 40 и 13 раз, соответственно) в центральном и устьевом районах. Аналогичное, но не столь резкое, падение общей численности в исследуемых районах приведено на рисунке 3. Наименее «пострадавшей» по биомассе, но только по сравнению с другими районами, может рассматриваться вершинная часть акватории, а по численности — вершинный и центральный районы бухты. Драматические изменения отмечены для моллюсков *M. galloprovincialis* и *M. lineatus*, а именно: будучи одними из основных «инвесторов» в общей биомассе и численности макрозообентоса в 2000 г., *M. galloprovincialis* в 2009 г. практически не встречались, а биомасса и численность *M. lineatus* снизились на два порядка.

Видовое разнообразие (по индексу Шеннона) варьировало между отдельными районами бухты, но в качестве основного многолетнего тренда следует отметить значительное увеличение разнообразия в терминах биомассы во внутренней области акватории, заметное сглаживание разброса соответствующих показателей к 2009 г. и общее снижение значений индекса по численности (табл. 3).

Таблица 3

Видовое разнообразие (индекс Шеннона) макрозообентоса в различных районах
Севастопольской бухты

Район бухты	Биомаса		Численность	
	2000 г.	2009 г.	2000 г.	2009 г.
Вершина	1.66	1.48	2.48	1.75
Центр	0.70	1.61	2.19	1.73
Устье	1.76	1.16	2.78	2.42
Общее	1.53	1.40	2.55	1.99

Количественные оценки «качества» донной макрофауны по индексу M-AMBI (Vorja et al., 2007) показали снижение к 2009 г. общего количества участков/станций с «хорошим экологическим статусом» — до 7% против 26% в 2000 г. Доля районов с «плохими» условиями среды увеличилась до 33% против 20% соответственно (рис. 2Б).

Сходство пространственно-временного распределения биологических и антропогенных факторов (рис. 2) подтверждает их тесную взаимозависимость и указывает на высокую надежность сигналов «бедствия», посылаемых населяющей биотой — практически все количественные характеристики макрозообентоса для большинства исследованных станций демонстрировали тенденцию к снижению вдоль градиента загрязнения.

Проанализированные данные показали, что долгосрочная антропогенная нагрузка уже определила различия в состоянии всех бентосных местообитаний по установленным градиентам нефтяного загрязнения. Зарегистрированное в 2009 г. ухудшение физико-химического профиля донной поверхности в северо-западной части залива и, как следствие, ухудшение биологического (донного) качества, указывают на распространение загрязнения в районах, ранее считавшихся экологически благополучными. Причины зарегистрированных негативных явлений могут быть обусловлены и объективной подвижностью мелкозернистых донных отложений, подвергающихся постоянному перемешиванию и перемещению, в том числе и в результате жизнедеятельности обитающей в них биоты, под воздействием волнового перемешивания, течений, вследствие навигации, и интенсивного строительства вдоль береговой полосы. Что касается конкретного антропогенного фактора — нефтеуглеводородного загрязнения, период утилизации нефтяных углеводородов сообществами бентосных организмов (как морских, так и пресноводных) оценивается в 10–20 лет (Hawkins et al., 2002). Таким образом, уже накопленное в предшествующей антропогенной истории (и продолжающее накапливаться в результате постоянного экономического развития города) загрязнение донных осадков может оказывать значительное влияние на общее экологическое качество прибрежной морской среды в течение очень долгого времени.

Настоящая работа выполнена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ "Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем", номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кирюхина Л. Н., Губасарян Л. А. Биогеохимические характеристики черноморских осадков Крымского шельфа // Экология моря. 2000. Вып. 50. С. 18–21.

Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алемов С. В. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 185 с.

Borja A., Josefsen A. B., Miles A., Muxika I., Olsgard F., Phillips G., Rodriguez J. G., Rygg B. An approach to the intercalibration of benthic ecological status assessment in the North Atlantic ecoregion, according to the European Water Framework Directive // Marine Pollution Bulletin. 2007. Vol. 55, iss. 1-6. P. 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.018>

Hawkins S. J., Gibbs P. E., Pope N. D., Burt G. R., Chesman B. S., Bray S., Proud S. V., Spence S. K., Southward A. J., Langston W. J. Recovery of polluted ecosystems: the case for long-term studies // Marine Environmental Research. 2002. Vol. 54, iss. 3–5. P. 215–222. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(02\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(02)00117-4)

Wilson J. G., Osadchaya T. S., Alyomov S. V. Long-term changes in the status of Sevastopol Bay and the Crimean coast: anthropogenic and climatic influences // Hydrobiologia. 2008. Vol. 606, iss. 1. P. 153–160. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9351-y>

THE COMPLEX "BOTTOM SEDIMENTS - BENTOS" IN EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL STATUS OF SEVASTOPOL BAY (BLACK SEA)

Osadchaya T. S., Alemov S. V., Viter T. V.

*The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol, Russia,
ots51@mail.ru*

Abstract. The results of perennial changes in environmental status of the Sevastopol Bay based on the known variations of anthropogenic factor (oil pollution) and related responses of macrofaunal communities are present.

Key words: marine environment, pollution, bottom sediments.

УДК 628.193+620.193.8

ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ БИОЦИДАМИ ПРОТИВООБРАСТАЮЩИХ КРАСОК И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОТИВОАДГЕЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

¹Отвалко Ж. А., ²Раилкин А. И., ¹Фомин С. Е., ³Кулева Н. В.,
¹Коротков С. И., ¹Кузьмин С. В., ³Чикадзе С. З., ¹Горелова Е. В.,
¹Суханова Т. Е.

¹ФГУП «НИИСК», Санкт-Петербург, Россия, zhanna-otvalko@yandex.ru

²ООО «БиоМорЗащита», Санкт-Петербург, Россия, railkin@yandex.ru

³ФГОУВПО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, kuleva@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены экологические последствия загрязнения морской среды биоцидами противообрастающих красок. Анализируются основные подходы к созданию экологически безопасной защиты от биообрастания. Обсуждаются результаты и перспективы разработки противоадгезионных каучук-эпоксидных противообрастающих покрытий.

Ключевые слова: биоциды противообрастающих красок, загрязнение, экологическая безопасность.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из источников загрязнения морских и океанических вод тяжелыми металлами, в настоящее время преимущественно соединениями меди, являются противообрастающие покрытия. Вместе с тем, именно медные биоциды остаются на сегодняшний день наиболее эффективным химическим средством защиты от морского биологического обрастания плавсредств и многих других технических объектов (Раилкин и др., 2017). Использование в течение многих десятилетий в судовых покрытиях весьма токсичных оловоорганических веществ и закиси меди привело к их накоплению, особенно в прибрежной наиболее активной зоне хозяйственной деятельности, переносу по цепям питания, аккумулярованию в гидробионтах. Это вызвало уже в 70–е — 80–е годы прошлого века нарушения эмбриогенеза ряда моллюсков и других беспозвоночных, снижение численности многих видов и деградацию некоторых морских экосистем (Раилкин, 2008). Указанные негативные