



УДК 574.587:504.054

С. И. Рубцова, к.б.н., с.н.с., С.В. Алёмов, к.б.н., с.н.с.

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

ВЛИЯНИЕ ДНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРТОВЫХ АКВАТОРИЙ

Исследовано состояние сообществ макрозообентоса после проведения дноочистительных работ в районе причалов в Севастопольской бухте. Средние значения количественных характеристик и видовое богатство донных сообществ в районе причалов несколько выше, по сравнению с контрольными участками фарватера бухты (различия средних значений не достоверны). В целом, отмечено восстановление сообществ макрозообентоса на участке, где проводились дноочистительные работы. Не отмечено влияния проведенных дноочистительных мероприятий на прилегающую акваторию в районе причалов. Характеристика экологического статуса, выполненная с использованием различных индексов (Н', М-АМБИ, Bentix), показала, что состояние бентосных сообществ в районе причалов в ряде случаев лучше, чем на контрольных участках бухты.

Ключевые слова: портовые акватории, дноочистение, нефтяное загрязнение, макрозообентос, АМБИ, Bentix

Транспортный фактор играет значительную роль в мировой экономике и международных отношениях, при этом появление крупнотоннажных судов с большой осадкой потребовало не только строительства новых портовых сооружений, но и обеспечения достаточных глубин в подходных каналах и портах. Для решения этой проблемы в мировой практике разработаны методы проведения дноуглубительных работ, которые заключаются в расширении и углублении водоёмов путём выемки грунта. Совершенно очевидно, что значительные объёмы дноуглубительных работ оказывают непосредственное воздействие на морские экосистемы.

Основными антропогенными факторами воздействия на водную биоту при строительстве портовых сооружений являются механическое нарушение структуры донных биотопов при изъятии и перемещении больших масс грунта; повышенная мутность воды, возникающая при дноуглублении, вбивании свай, шпунтов. Дноуглубительные работы и отвалы грунта отрицательно сказываются на развитии ряда организмов фито- и зоопланктона, а также бентоса. Ряд организмов исчезает в биоценозе под влиянием повышенной мутности и загрязнения токсикантами, другие уменьшают свою биомассу, нарушаются циклы развития и рост организмов. Значительная часть кормовых для рыб

организмов, особенно донных, уничтожается. При изъятии загрязнённых донных осадков возможно вторичное загрязнение водных масс тяжёлыми металлами, нефтепродуктами и другими токсикантами, накопившимися в грунте [7, 8].

Положительное влияние дноуглубительных работ проявляется в улучшении путей миграции ряда видов рыб, ведущих к местам размножения или нагула, улучшении некоторых экологических факторов, возрастании глубин, изъятии загрязнённых грунтов, в целом – некоторому улучшению гидрохимического режима и т. д. [1].

Негативное воздействие дноуглубления на морские экосистемы может носить постоянный и временный характер. В связи с этим необходимо проведение мониторинговых исследований на участках проведения гидротехнических работ.

В Севастопольской бухте компанией «Авлита» в 2007 г. были проведены дноочистительные работы в районе причалов с целью подчистки дна бухты от мусора и затонувших объектов, которые представляют опасность для судоходства. Были подняты и удалены десятки тысяч кубометров загрязнённых отложений, в которых содержалось большое количество металла и металлоконструкций, мусора и загрязнённого нефтепродуктами ила.

Цель данной работы: исследовать состояние сообществ макрозообентоса после проведения дноочистительных работ в Севастопольской бухте.

Материал и методы. Для определения характеристик донных сообществ исследования вы-

полнялись в 2008 г. на 10 станциях в районе причалов предприятия «Авлита» и на участках фарватера Севастопольской бухты до её устья (рис. 1).



Рис. 1. Расположение станций отбора проб в Севастопольской бухте

Fig. 1 Scheme of the sampling stations in the Sevastopol Bay

Поскольку дноочистительные работы могут оказывать негативное влияние и на прилегающие участки, то станции в районе причалов охватывали не только акваторию, где проводилось дноочищение (ст. 4 – 6), но и соседний участок (ст. 7 – 10). Станции в районе фарватера (ст. 1 – 3) рассматривались как контрольные, т.к. район устья бухты ранее характеризовался более высокими количественными показателями и видовым богатством макрозообентоса [6]. Направленность основных течений в Севастопольской бухте такова, что мутьевые потоки, возникающие при изъятии грунта, не должны оказывать существенного влияния на переотложение донных осадков на этих точках.

Макрозообентос отбирали дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.038 м² в трёх повторностях на каждой станции. Пробы промывали через сито с диаметром ячеек 1 мм и фиксировали этиловым спиртом. В лабораторных условиях проводилась обработка фиксированного материала. Определяли видовой состав по [9 – 11], численность и сырой вес организмов макрозообентоса (фиксированных). Организмы макрофауны определялись на уровне видов (кроме Nematoda, Nemertina, Oligochaeta). Взвешивание двустворчатых моллюсков проводилось после их вскрытия и удаления фиксирующего раствора из мантийной полости.

В программе DIVERSE пакета PRIMER-5 выполнен расчёт индекса разнообразия Шеннона H' (по биомассе и численности, использован логарифм по основанию 2), индекса выравненности Пиелюу J'.

Для определения экологического статуса различных участков акватории проведен расчёт ин-

дексов AMBI (M-AMBI) и BENTIX с помощью соответствующих программных продуктов, доступных на официальных сайтах Технологического центра AZTI Tecnalia (<http://www.azti.es>) и Греческого центра морских исследований (Hellenic Centre for Marine Research, <http://www.hcmr.gr>). При определении экологического статуса акватории учитывали граничные значения индексов H', AMBI, M-AMBI для Чёрного моря, рекомендованные группой экспертов по интеркалибрации [14].

Результаты. В составе донных сообществ исследованного района найдено 32 вида макрозообентоса, в том числе 11 – Polychaeta, 3 – Malacostraca и 15 – Mollusca (5 – Gastropoda и 10 – Bivalvia), а также Nematoda, Nemertina, Oligochaeta. Число видов макрозообентоса варьировало в различных точках от 5 до 18 (табл. 1). В число основных (общая встречаемость свыше 30 %) входят 13 видов полихет и моллюсков, а также олигохеты (табл. 2). На эту группу видов приходится около 80 % численности и более 90 % биомассы макрозообентоса на данных участках бухты. На контрольных станциях (ст. 1 – 3) отмечалось 20 видов макрозообентоса (7 – 11 на отдельных станциях), при этом на всех трех встречались только *Polydora limicola* и *Heteromastus filiformis*. В районе причалов (ст. 4 – 10) найдено 26 видов макрозообентоса (15 – на ст. 4 – 6 и 22 – на ст. 7 – 10), на отдельных станциях количество видов макрозообентоса варьировало от 5 до 18.

Табл. 1 Количественные характеристики и показатели разнообразия макрозообентоса
Table 1 Quantitative descriptions and indexes of variety of macrozoobenthos

| Район (№ станции) | Количество видов (lim) | Численность, экз./м ² | Биомасса, г/м ² | H'(log2) | | J' | |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | A* | B* | A* | B* |
| Фарватер бухты (ст. 1 – 3) | 20 (7 – 11) | 864±209 | 6.38±3.74 | 1.73±0.35 | 1.77±0.27 | 0.53±0.08 | 0.56±0.10 |
| Район причалов (ст. 4 – 10) | 26 (5 – 18) | 1737±779 | 18.55±9.55 | 2.12±0.06 | 1.84±0.17 | 0.64±0.06 | 0.59±0.06 |

* А – по численности, В – по биомассе

Табл. 2 Количественные характеристики основных видов макрозообентоса
Table 2 Quantitative descriptions of basic types of macrozoobenthos

| Вид | Встреча- емость, % | Биомасса, г/м ² | | Численность, экз./м ² | |
|---------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | Фарватер бухты (ст. 1-3) | Район причалов (ст. 4-10) | Фарватер бухты (ст. 1-3) | Район причалов (ст. 4-10) |
| <i>Polydora limicola</i> Annenkova, 1934 | 90.0 | 0.217 | 0.178 | 140 | 94 |
| <i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780) | 80.0 | 0.087 | 0.360 | 88 | 327 |
| <i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864) | 70.0 | 0.388 | 0.024 | 408 | 30 |
| <i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805) | 70.0 | 0.164 | 1.456 | 83 | 739 |
| <i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791) | 70.0 | 0.040 | 6.555 | 4 | 242 |
| <i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778) | 60.0 | 0.057 | 0.176 | 13 | 54 |
| <i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789) | 60.0 | 0 | 0.640 | 0 | 41 |
| <i>Alitta succinea</i> (Frey & Leuckart, 1847) | 50.0 | 0.068 | 0.103 | 4 | 17 |
| <i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818 | 40.0 | 0.977 | 0.215 | 18 | 4 |
| <i>Nassarius reticulatus</i> (Linnaeus, 1758) | 40.0 | 3.241 | 4.823 | 4 | 9 |
| <i>Iphinoe elisae</i> Băcescu, 1950 | 40.0 | 0.004 | 0.007 | 4 | 6 |
| <i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791) | 40.0 | 0 | 0.240 | 0 | 47 |
| <i>Harmothoe reticulata</i> (Claparède, 1870) | 30.0 | 0 | 0.014 | 0 | 24 |
| <i>Oligochaeta</i> | 30.0 | 0.005 | 0.001 | 35 | 6 |

К наиболее распространённым относятся *P. limicola*, *Capitella capitata*, *Hydrobia acuta*, *Mytilaster lineatus* и *Cerastoderma glaucum*, отмеченные на 6 станциях из 7.

Среднее значение индекса разнообразия Шеннона H' в районе причалов несколько выше, чем по фарватеру бухты, за счёт как большего числа видов, так и более высокой выровненности (индекс J') распределения биомассы и численности видов в сообществе (см. табл. 1). Однако различия средних значений статистически незначимы. По величине среднего значения H' (по численности) в соответствии с рекомендациями [14] экологический статус обоих участков в целом характеризуется как «бедный».

Численность и биомасса макрозообентоса распределены неравномерно, при этом

максимальные количественные показатели донных организмов регистрировались в районе причалов (рис. 2). На станциях, расположенных по фарватеру бухты, при общей биомассе бентоса 0.89 – 13.51 г/м² и численности 446 – 1079 экз./м² доминирующими видами являлись *Nassarius reticulatus*, *Nephtys hombergii*, *H. filiformis*.

В районе причалов общая численность зообентоса варьировала в пределах 144 – 6000 экз./м², биомасса 0.32 – 55.22 г/м². Значения численности свыше 1000 экз./м² наблюдались как на участке станций 4 – 6, так и на соседних ст. 7 – 10. Максимальные значения биомассы зарегистрированы на ст. 7 и 10 – свыше 50 г/м² (см. рис. 2).

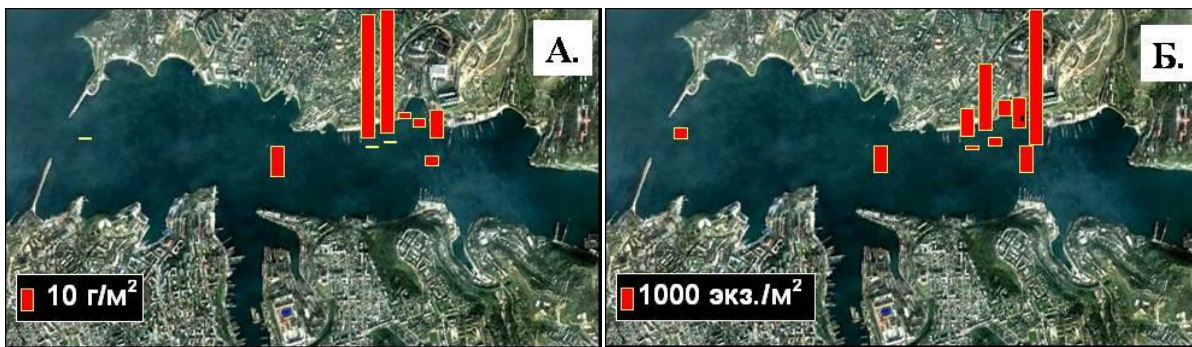


Рис. 2 Распределение биомассы (А) и численности (Б) макрозообентоса
Fig. 2 Distributing of biomass (A) and quantity (B) of macrozoobenthos

На ст. 4 – 6 доминировали *Hydrobia acuta* (численность до 3776 экз./м², биомасса – 6.617 г/м²), на ст. 7 – 10 – моллюски-фильтраторы *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma glaucum*, а также плотоядный моллюск *Nassarius reticulata*. Здесь же отмечена высокая численность *C. capitata* (300 экз./м²).

Таким образом, средние значения количественных характеристик и видовое богатство донных сообществ в районе причалов несколько выше, чем на участках фарватера бухты (см. табл. 2). Однако, в связи с широким диапазоном варьирования значений численности и биомассы различия средних значений не достоверны.

В последние годы общепринятым компонентом экологических оценок состояния окружающей среды стали экологические индикаторы. При оценке состояния морских экосистем европейских морей наиболее распространёнными интегральными показателями отклика сообщества на антропогенные воздействия являются индексы AMBI (М-AMBI) [12] и BENTIX [13]. Они основаны на показателях доминирования различных экологических организмов макрозообентоса мягких грунтов и позволяют ранжировать экологический статус акватории по пяти градациям (от «плохого» до «высокого») в соответствии с рекомендациями WFD 2000/60/ЕС.

На основе данных о видовом составе донных сообществ на разных участках акватории бухты проведены расчёты указанных индексов. Для участков фарватера бухты (ст. 1 –

3) величина индекса AMBI варьировала от 3.07 до 4.15, М-AMBI – от 0.29 до 0.48, что соответствует экологическому статусу от «бедного» до «среднего» (рис. 3). В районе причалов (ст. 4 – 10) значения индекса AMBI варьировали от 1.23 до 4.05, а экологический статус определялся на двух станциях как «бедный» (М-AMBI = 0.37), на трёх – «средний» (М-AMBI = 0.37), на двух – «хороший» (М-AMBI = 0.65–0.67). Ещё большие различия показали результаты расчёта индекса BENTIX (рис. 4), что, очевидно, связано с различными методиками определения соотношения чувствительных и толерантных видов для этих индексов. Так, на участках фарватера бухты по индексу BENTIX на двух станциях определён «бедный» экологический статус, а на одной – «средний». В районе причалов на одной станции экологический статус «бедный», на одной – «хороший», на остальных – «высокий».

Обсуждение. В настоящее время в донных осадках Севастопольских бухт, бывших в начале 20-го столетия «оазисом» жизни [4], находится около 20 тыс. т нефтяных углеводородов, которые являются источником вторичного загрязнения морской воды [5].

Загрязнение донных осадков приводит к снижению разнообразия сообществ донной фауны, иногда вплоть до полного их исчезновения. Так, в 1982 – 1988 гг. количество участков донной поверхности бухты с полным отсутствием макробентической жизни составляло до 10 % [3].

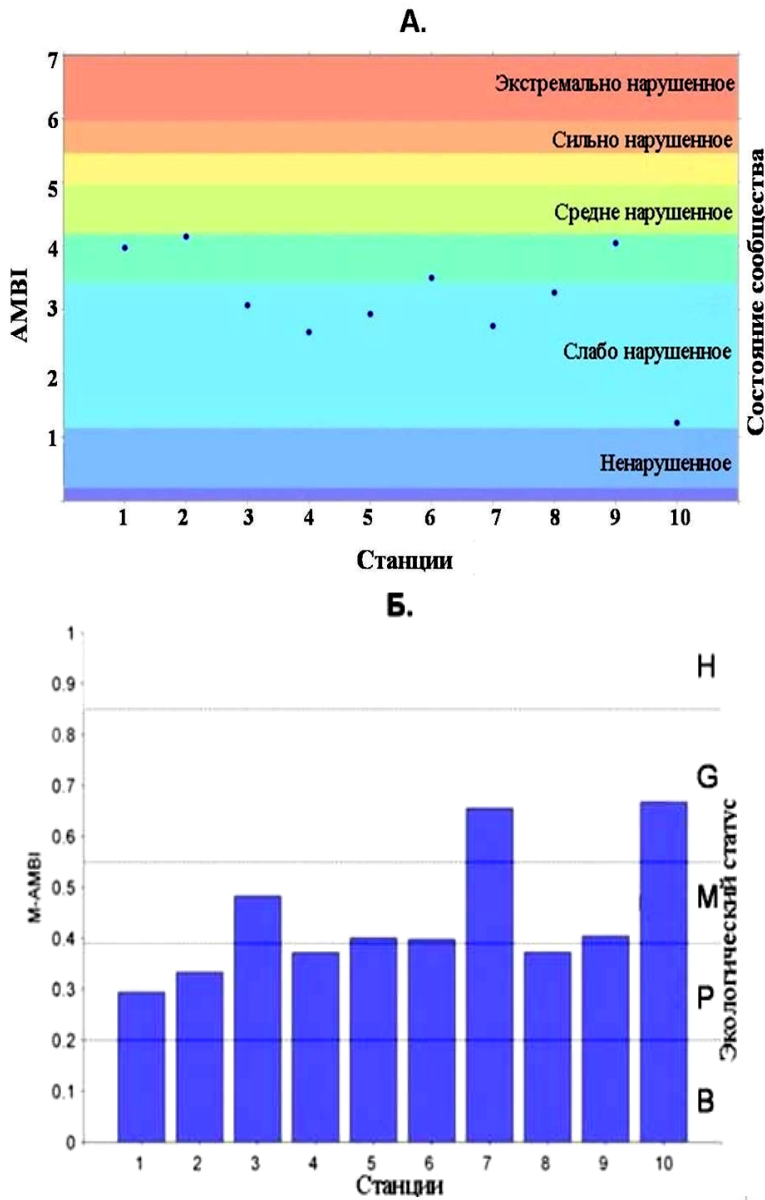


Рис. 3. Значение индексов AMBI (А), М-АМБИ (Б) для различных станций
Fig. 3 Value of indexes of AMBI (А), М-АМБИ (Б) for the different stations

Общее снижение уровня нефтяного загрязнения, наблюдаемое в Севастопольской бухте с 1988 г., сопровождалось улучшением биологического качества донной среды. На фоне исчезновения «абиотических» районов резко снижается доля участков, занимаемых видами-оппортунистами, расширяется зона стабильных условий [3]. При этом на фоне резкого скачка значений «индекса нагрузки загрязнения» (PLI) (в направлении улучшения) в 1991 г., аналогичное повышение «Индекса биологического качества» (BQI) отмечено только в 1994 г. Именно в этот период происходит расширение участков со стабильными условиями среды – с 15 % общей площади донной поверхности в 1991 г. почти до 60 % в 1994 г. В то же время явное ухудшение экологической ситуации в донных осадках бухты, наблюдаемое в 2003 г., отражается в резком

падении значений PLI и BQI.

Таким образом, восстановление бентосных сообществ после разрушающего воздействия загрязнения – процесс длительный как во временном, так и пространственном масштабах.

По данным отдела морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ НАНУ, основное количество нефтепродуктов содержится в поверхностном 1–2-метровом слое донных осадков [6]. Снятие этого слоя фактически обнажит незагрязнённый грунт, на котором можно

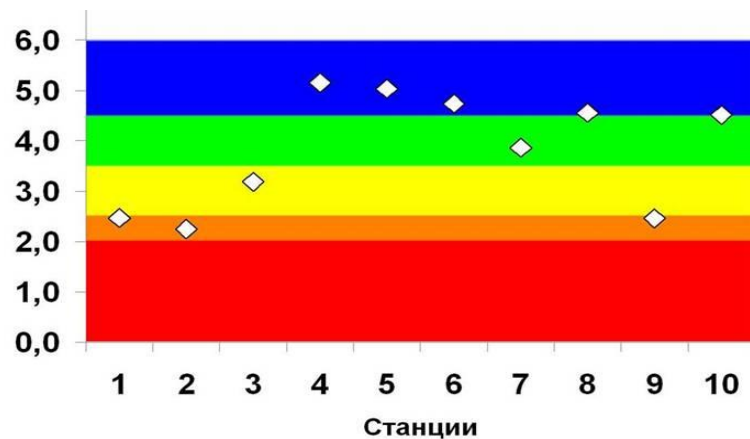


Рис. 4 Значение индекса BENTIX для различных станций
Fig. 4 Value of index of BENTIX for the different stations

ожидать быстрого восстановления донной фауны.

Такой эффект, в частности, наблюдался в б. Южная (г. Севастополь) после поднятия крупного металлического фрагмента [2]. В 2006 г. в этой точке нами обнаружены донные осадки, не типичные для данного района. Если ранее здесь отмечались сильно загрязнённые чёрные илы, то сейчас грунт представлял собой заиленный песок с примесью ракушки. Загрязнённость донных осадков в этой точке в 2 – 3 раза ниже, чем на соседних участках бухты. В этом же месте найдено 22 вида макрозообентоса (в других районах Южной бухты – не более 10), в том числе отмечены взрослые особи видов, которые обычно обитают в относительно чистых или слабозагрязнённых районах (*Gouldia minima*, *Microdeutopus grillotalpa*, *Modiolus adriaticus*, *Pitar rudis*, *Upogebia pusilla*). Эти виды моллюсков и ракообразных в последние 30 лет не встречались в Южной бухте. Их обнаружение в данном месте можно связать с существенным изменением характеристик донных осадков при удалении верхнего загрязнённого слоя (снижение уровня загрязнённости, изменение гранулометрических характеристик донных осадков).

При исследовании участка, на котором проводились дноочистительные работы, отмечено восстановление сообществ макрозообентоса. Количественные характеристики бентоса и показатели разнообразия здесь на уровне участков фарватера бухты. Влияния проведенных дноочистительных мероприятий на прилегающую акваторию в районе причалов не отмечено. Характеристика экологического статуса, выполненная с использованием различных индексов (Н', М-АМБИ, BENTIX), показала, что состояние бентосных сообществ в районе причалов в ряде случаев лучше, чем на контрольных участках бухты (табл. 3). Вместе с тем необходимо отметить, что по значениям индекса BENTIX для большинства станций экологическая ситуация оценивается выше, чем по другим индексам. Индекс BENTIX на настоя-

щий момент не прошел интеркалибрацию для условий Чёрного моря. Возможно, требуется проведение подробных исследований по определению граничных значений этого индекса для черноморского региона.

Как показала мировая практика, основным источником загрязнения портовых акваторий, в том числе нефтепродуктами, являются не столько морские суда, сколько прибрежная инфраструктура. Поэтому дополнительный заход судов в бухту при соблюдении существующего законодательства по недопущению загрязнения моря не должен привести к увеличению нефтяного загрязнения акватории. Для повышения безопасности судоходства на акватории бухты, особенно для крупнотоннажных грузовых и пассажирских судов, необходимо проведение дноочистительных и дноуглубительных работ по фарватеру бухты и в районе причалов. Проведение таких мероприятий может в определённой мере улучшить экологическое состояние морской среды в локальных участках, а в дальнейшем – и в бухте в целом.

Выводы. При проведении мероприятий по очистке донных отложений в районах с высоким уровнем загрязнения морской среды впоследствии наблюдается восстановление донных сообществ. Этот процесс может протекать значительно быстрее, чем в случае естественного восстановления сообществ на загрязнённых акваториях при снижении интенсивности поступления поллютантов в донные осадки. Таким образом, дноочистительные работы, при соблюдении условий минимизации воздействия на прилегающие участки акватории (взмучивание и переотложение загрязнённых грунтов) в краткосрочной и долгосрочной перспективе могут принести ощутимые результаты в деле улучшения экологии Севастопольских бухт.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Т.В. Шадринной за предоставленные данные по содержанию нефтяных углеводородов в донных осадках. Работа выполнена при частичной поддержке проекта PEGASO.

1. Аксёнов В. Ф. Геоинформационные технологии при изучении гидробиологической ситуации в водоемах / *Фундаментальные медико-биологические науки и практическое здравоохранение: сб. науч. трудов 1-й Международной телеконференции (Томск, 20 января-20 февраля, 2010).* – Томск: СибГМУ, 2010. – С. 3.
2. Алёмов С. В., Бурдян Н. В., Гусева Е. В. и др. Санитарно-экологические исследования акватории Севастополя // *Экология моря* – 2007 - Вып. 73. - С. 5 - 15.
3. Алёмов С. В., Осадчая Т. С. Индекс "биологического качества" в оценке экологического состояния прибрежных акваторий // *Экология моря*. – 2004. – Вып. 66. – С. 7 – 11.
4. Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Черного моря // Санкт-Петербург: Записки Импер. Акад. наук, сер. 8. – 1913. – 32, № 1. – 283 с.
5. Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. Черноморский макрозообентос в санитарно-биологическом аспекте. – Киев: Наук. думка, 1985. – 101 с.
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. Мохсен Мохамед Эль-Ширбини Омар. Экологическая чувствительность морских прибрежных экосистем в районах строительства портовых комплексов: на примере Приморского порта, пролив Бьеркезунд Балтийского моря: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Санкт-Петербург, 2005. – 18 с.
8. Рыжков С. С., Брезкун Ю. Б. Влияние дноуглубительных работ на морские экосистемы // *Вісник НУК*. – 2009. – № 2. – С. 138 – 144.
9. *Определитель фауны* Черного и Азовского морей. Свободноживущие беспозвоночные. – К.: Наукова думка, 1968. – Т. 1. – 437 с.
10. *Определитель фауны* Черного и Азовского морей. Свободноживущие беспозвоночные. – К.: Наукова думка, 1969. – Т. 2. – 536 с.
11. *Определитель фауны* Черного и Азовского морей. Свободноживущие беспозвоночные. – К.: Наукова думка, 1972. – Т. 3. – 340 с.
12. Borja A., Franco J., Pérez V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments // *Mar. Poll. Bull.* – 2000. – 40, № 12. – P. 1100 – 1114.
13. Simboura N., Zenetos A. Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index // *Medit. Mar. Sci.* – 2002. – 3. – P. 77 – 111.
14. *WFD intercalibration technical report. Part 3 - Coastal and Transitional Waters. Sect. 2 - Benthic invertebrates* // *JRC Scientific and Technical Reports*, 2009. – P. 19 – 108. (http://circa.europa.eu/Public/irc/jrc/jrc_eewai/library).

Поступила 18 августа 2011 г.

Вплив дноочисних робіт на екологічний стан портових акваторій. С. І. Рубцова, С. В. Альомов. Проведено дослідження стану угруповань макрозообентосу після проведення дноочисних робіт у районі причалів у Севастопольській бухті. Середні значення кількісних характеристик і видове багатство донних угруповань в районі причалів трохи вище, в порівнянні з контрольними ділянками фарватеру бухти (відмінності середніх значень недостовірні). В цілому відзначено відновлення угруповань макрозообентосу на ділянці, де проводилися дноочисні роботи. Не відмічено впливу проведених дноочисних заходів на прилеглу акваторію в районі причалів. Характеристика екологічного статусу, виконана з використанням різних індексів (H', M-AMBI, Benthix), показала, що стан бентосних угруповань у районі причалів у ряді випадків краще, ніж на контрольних ділянках бухти.

Ключові слова: портові акваторії, дноочищення, нафтове забруднення, макрозообентос, AMBI, Benthix

Effect of bottom cleaning works on the condition of port water area. S. I. Rubtsova, S. V. Alyomov. Investigation of macrozoobenthos communities after bottom cleaning works in the piers area in Sevastopol Bay was fulfilled. Mean values of quantitative characteristics and species richness of benthic communities in the piers area is slightly higher compared to the control stations (the differences are not significant). In general, the recovery of macrozoobenthos communities in the area of bottom cleaning were noted. The influence of bottom cleanup on the adjacent waters in the piers area were not observed. Assessment of ecological status using various indices (H', M-AMBI, Benthix) showed that the condition of benthic communities in the piers area in some cases better than in the control areas of the bay.

Key words: harbor waters, bottom cleaning, oil pollution, macrozoobenthos, AMBI, Benthix

