

С.В.Алёмов, Т.В.Витер, Е.В.Гусева

*Институт морских биологических исследований
им. А.О.Ковалевского РАН, г.Севастополь*

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА БУХТЫ КРУГЛАЯ (РЕГИОН СЕВАСТОПОЛЯ)

Приведены результаты применения экологических индексов (*BENTIX*, *AMBI*, *M-AMBI*) для анализа многолетних изменений экологического состояния акватории б.Круглая (Чёрное море, регион Севастополя). За 20 лет (1992 – 2012 гг.) на фоне возрастающей антропогенной нагрузки в ряде участков бухты отмечается снижение показателей экологического состояния бентосных сообществ. В загрязненной вершинной части состояния сообществ ухудшилось до «плохого», в центральной части бухты – до «хорошего» или «среднего». Делается вывод, что ранжирование акваторий с использованием всех трех индексов позволит дать более корректную оценку происходящих экологических изменений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *загрязнение, экологическое состояние, макрозообентос, индексы, Черное море*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-2-59-66

Город Севастополь как крупный порт с широко развитой инфраструктурой является одним из наиболее урбанизированных районов Черноморского побережья. Нынешнее развитие Севастополя, не только как военноморской базы, промышленного центра, но и как туристической и рекреационной зоны, определяет необходимость внедрения современных методов для количественной характеристики степени повреждения его прибрежных экосистем, которые могли бы служить инструментами соответствующего менеджмента по сохранению и восстановлению качества морской среды.

Бухта Круглая (г.Севастополь) получила название по своей форме, которая близка к кругу. Протяжённость её составляет 1,4 км, максимальная ширина 0,9 км. Глубина при входе в бухту составляет 17 м, хотя основная часть мелкая – максимальная глубина 5 – 8 м, а около берега намного мельче. На западном побережье расположен один из самых популярных и второй по размеру в городе пляж «Омега». Ввиду небольшой глубины и особенности направления ветров, вода здесь быстро прогревается и становится пригодной для купания раньше, чем на других пляжах города.

Отдельно следует выделить вершину б.Круглой – это водоём с глубиной до 1 – 2 м, возникший на месте ранее существовавшего солёного озера, впоследствии соединившегося с морем. Донные осадки здесь представлены илами со значительным количеством обрывков морской травы и водорослей, и бытовым мусором. По результатам исследований, проведённых в середине 20-х гг. XX в., мощность илового слоя в солёном озере достигала 3 м [1].

Согласно имеющимся сведениям [2], именно в эту часть бухты выведены аварийный сток канализационных вод и ливневой канализации. Ливне-

© С.В.Алёмов, Т.В.Витер, Е.В.Гусева, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.2. С.59-66.

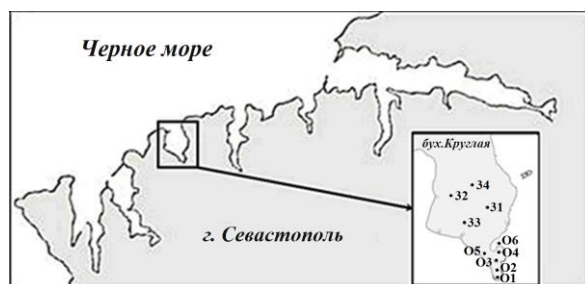


Рис. 1. Схема отбора проб макрозообентоса в бухте Круглая (Севастополь, Чёрное море).

вый сток вызывает распределение, увеличивает количество взвешенных частиц и повышает концентрации биогенных ионов в поверхностном слое и загрязняющих веществ [3]. Содержание нефтепродуктов в ливневых стоках Севастопольского региона в районе бухты Круглая бывает на 1 – 2 порядка

выше, чем в морской воде прибрежных районов [4].

Институтом морских биологических исследований (ранее ИнБЮМ) в б.Круглая регулярные исследования донных осадков и состава сообществ донных организмов проводятся с 1973 г., а с 1991 г. дополнительно на пяти станциях в вершине бухты (рис.1). По полученным данным б.Круглая является одной из наименее загрязнённых нефтяными углеводородами в системе Севастопольских бухт [5]. Вместе с тем, в последние десятилетия активное освоение берегов бухты различными рекреационными объектами, застройка прилегающих территорий и значительный рост транспортного потока приводит к увеличению антропогенного пресса на экосистему бухты.

Учитывая роль бухты Круглая как рекреационной зоны, с одной стороны, и рост антропогенной нагрузки на акваторию, с другой, целью работы было оценить многолетние изменения состояния донных биоценозов бухты с использованием различных экологических индексов.

Материалы и методы. Материалом для анализа послужили пробы макрозообентоса, собранные в 1991 – 2012 гг. на 2-х – 4-х станциях в центральной части бухты и пяти станциях в вершинной её части (рис.1).

Для исследования макрозообентоса на каждой станции донные осадки отбирали дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,038 м² в трёх повторностях (ст.32 – 34) и в двух повторностях ручным водолазным дночерпателем с площадью захвата 0,08 м² (ст.01 – 05). Пробы промывали через сито с диаметром ячеей 1 мм и фиксировали этиловым спиртом. Обработку фиксированного материала проводили в лабораторных условиях. Определяли видовой состав, численность и сырой вес организмов макрозообентоса (фиксированных). Взвешивание двустворчатых моллюсков проводили после их вскрытия и удаления фиксирующего раствора из мантийной полости.

Для определения экологического статуса акватории проведён расчёт индексов *BENTIX* [6] и *AMBI (M-AMBI)* [7]. Они основаны на показателях доминирования различных экологических классов организмов (по устойчивости и чувствительности к органическому загрязнению) макрозообентоса мягких грунтов и позволяют ранжировать экологический статус акватории по пяти градациям (от «плохого» до «высокого») в соответствии с рекомендациями *WFD 2000/60/EC*. Расчёт индекса *AMBI* производился с помощью соответствующего программного продукта, доступного на официальном сайте технологического центра *AZTI Tecnalia* (<http://www.azti.es>). При определении экологического статуса акватории учитывали граничные значения

индекса *AMBI*, *M-AMBI* для Чёрного моря, рекомендованные группой экспертов по интеркалибрации [8].

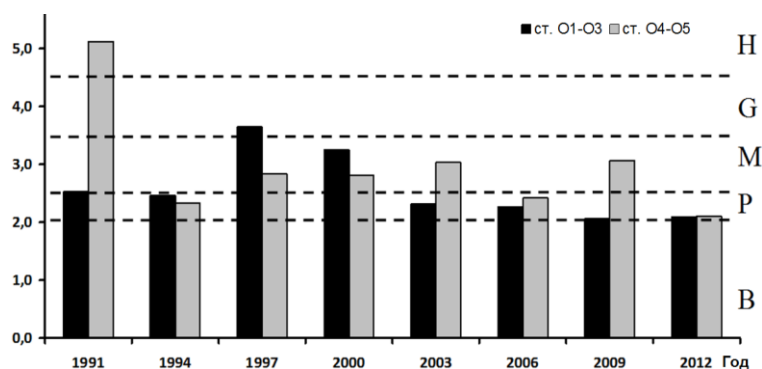
Результаты и обсуждение. В начале XX в. бухту Круглую населяла «богатая фауна чистой воды». К числу донных животных, которых было «очень много и много», относились *Bittium reticulatum*, *Lucinella divaricata*, *Moerella tenuis*, *Gouldia minima* [9]. К концу века, несмотря на возросшую рекреационную нагрузку, донные биоценозы бухты в основном не изменились: преобладали виды, характерные для биотопа чистого прибрежного песка [5]. В трофической структуре бентоса бухты преобладали фильтраторы. По видовому разнообразию и показателям обилия донной фауны б.Круглая и в настоящее время значительно превосходит все портовые акватории Севастополя и соответствует незагрязнённым участкам побережья.

Вместе с тем, в илах вершины бухты к 2000 г. содержание хлороформ-экстрагируемых веществ было 130 – 900 мг/100 г [5], а к 2012 г. на отдельных участках достигало 1800 мг/100 г [10].

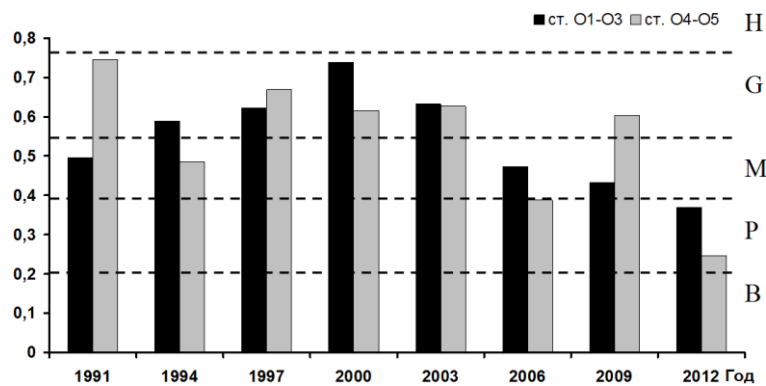
На основании данных по численности видов макрозообентоса, относящихся к различным экологическим группам, произведён расчёт индексов *BENTIX*, *AMBI* и *M-AMBI* для оценки состояния сообществ и экологического состояния акваторий в целом. Для вершины бухты индексы рассчитывали по группам станций: О1 – О3 и О4 – О5, которые значительно (в несколько раз) различаются по уровням загрязнения [10].

По анализу индекса *BENTIX* в вершине бухты ненарушенное состояние донных сообществ наблюдалось только в 1991 г. на ст.О4 – О5. С 1997 г. на иловых станциях (ст.О1 – О3) отмечается тенденция снижения качества донных биоценозов (рис.2). С 2000 г. на всех участках вершины бухты показатели качества сообществ не превышали «среднего», а в 2006 – 2012 гг. снизились практически до «плохого». Согласно значениям индекса *M-AMBI* (рис.3) ухудшение состояния донных сообществ наблюдается с 2000 г., но до 2009 г. даже в самой вершинной части ещё оценивается как «среднее».

В открытой части бухты (ст.31 – 32) значения индекса *BENTIX* демонстрируют ещё более существенные изменения – снижение за 9 – 12 лет качест-



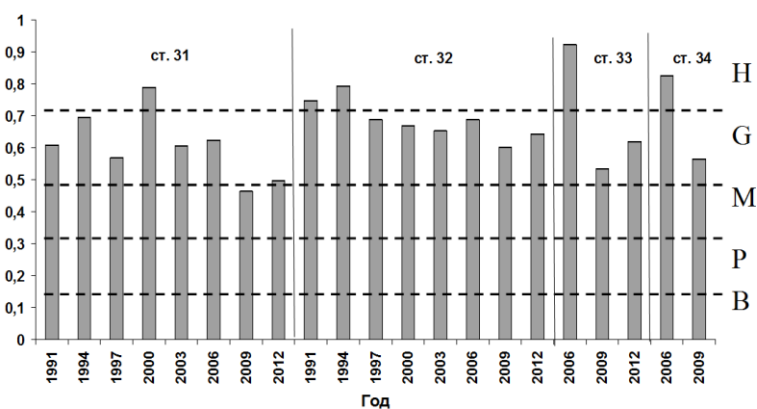
Р и с . 2 . Многолетние изменения значений индекса *BENTIX* в вершине б.Круглая. Здесь и на рис.3 – 5, в таблице классификация экологического качества: В – плохое, Р – бедное (сильно нарушенное), М – среднее (средне нарушенное), G – хорошее (слабо нарушенное), Н – высокое (ненарушенное).



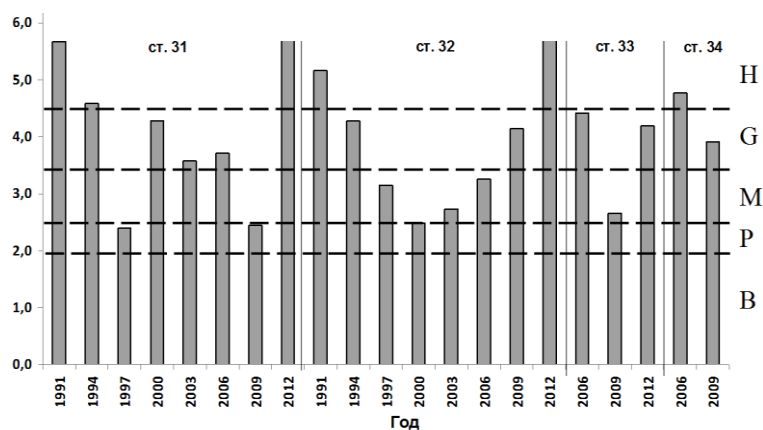
Р и с . 3 . Многолетние изменения значений индекса *M-AMBI* в вершине б.Круглая.

ва сообществ с «высокого» до «плохого» (рис.4). Однако, к 2012 г. наблюдается восстановление показателя качества сообществ. Изменения показателей индекса *M-AMBI* не столь кардинальны (классификация состояния сообществ, в основном, не ниже «хорошего»), но также демонстрируют тенденцию снижения к 2009 – 2012 гг. (рис.5). На ст.32, более отдалённой от загрязнённой вершины бухты, снижение значений индекса (ухудшение состояния сообществ) выражены меньше, чем на ст.31. В отличие от вершины бухты, в центральной её части не наблюдается восстановления исходного качества сообществ к 2012 г. На ст.33 – 34, где в 2006 г. регистрировались наиболее высокие значения индекса, к 2009 – 2012 гг. также наблюдается ухудшение состояния сообществ бентоса.

Сравнивая классификацию экологического состояния акватории, основанную на значениях разных показателей (табл.), следует отметить, что разные индексы зачастую дают различную (иногда значительно отличающуюся) оценку экологического качества акваторий. Одинаковая оценка состояния сообществ по всем трём индексам отмечена только для 5-ти станций или их групп (14 % от всех станций или их комбинаций). Выше совпадение оценок в паре *BENTIX – M-AMBI* – 30 %, максимальное – у *AMBI – M-AMBI*



Р и с . 4 . Многолетние изменения значений индекса *BENTIX* в центральной части б.Круглая.



Р и с . 5 . Многолетние изменения значений индекса М-АМБИ в центральной части бухты Круглая.

– 51 %. Следует отметить, что в случае различия оценок, значения индекса *BENTIX*, как правило, ниже, чем двух других. При этом, оценка состояния сообществ по индексу *AMBI* в основном выше, чем по *M-AMBI*. Так, для иловых, наиболее загрязненных станций вершины бухты (ст.01 – 03) состояние бентосных сообществ по индексу *AMBI* на протяжении всего периода исследований оценивается как «хорошее». В тоже время по двум другим показателям она может снижаться до «плохого». На удаленных от источников загрязнения станциях (ст.31 – 34) по показателям *AMBI* – *M-AMBI* состояние сообществ в основном оценивается как «высокое» или «хорошее». В то же время, индекс *BENTIX* регистрирует ухудшение состояния сообществ до «среднего» или «бедного» (например, ст.31 в 1997 и 2009 гг., ст.32 в 2000 г.)

Возможно, индекс *BENTIX* несколько занижает оценку состояния сообществ, а индекс *AMBI* – завышает. Вместе с тем, наблюдается сходная тенденция варьирования значений индексов на фоне изменения общего уровня загрязнения акватории. В связи с этим, ранжирование акваторий с использованием нескольких показателей позволит дать более корректную оценку происходящих изменений.

Необходимо учитывать, что в процессе расчёта индексов используется библиотека видов, ранжированных по экологическим группам, которая встроена в программное обеспечение. Поскольку данные методические подходы разрабатывались для различных участков морей бассейна Средиземного моря и Атлантического океана, они могут не вполне адекватно характеризовать отклики черноморских биоценозов, особенно адаптированных к хроническому воздействию загрязнения. Помимо того, авторы индексов предлагают использовать для их расчётов показатели численности видов макрозообентоса (*M-AMBI* учитывает также и показатели разнообразия). Очевидно, с этим связано значительное снижение значений *BENTIX* и *M-AMBI* на ст.31 – 32 в 1997 – 2006 гг., когда численность мелких полихет здесь достигала 10 000 экз./м², хотя показатели биомассы и видового обилия были характерны для незагрязнённых участков и значительно выше, чем в других севастопольских бухтах. В тоже время, рост численности мелких детритофагов мог быть

Т а б л и ц а . Классификация экологического состояния акватории (сообществ макрозообентоса) по показателям различных индексов.

№ станции	год	классификация состояния		
		<i>BENTIX</i>	<i>AMBI</i>	<i>M-AMBI</i>
01-03	1991	М	Г	М
01-03	1994	Р	Г	Г
01-03*	1997	Г	Г	Г
01-03	2000	М	Г	Г
01-03	2003	Р	Г	Г
01-03	2006	Р	Г	М
01-03	2009	Р	Г	М
01-03	2012	Р	Г	Р
04-05	1991	Н	Н	Г
04-05	1994	Р	М	М
04-05	1997	М	М	Г
04-05	2000	М	М	Г
04-05	2003	М	Г	Г
04-05	2006	Р	Г	Р
04-05	2009	М	Г	Г
04-05*	2012	Р	Р	Р
31	1991	Н	Н	Г
31	1994	Н	Н	Г
31	1997	Р	Г	Г
31	2000	Г	Н	Н
31*	2003	Г	Г	Г
31	2006	Г	Н	Г
31	2009	Р	Г	М
31	2012	Н	Н	М
32	1991	Н	Н	Г
32	1994	Г	Г	Н
32	1997	М	Г	Г
32	2000	Р	Г	Г
32	2003	М	Г	Г
32	2006	М	Г	Г
32*	2009	Г	Г	Г
32	2012	Н	Н	Г
33	2006	Г	Н	Н
33	2009	М	Г	Г
33	2012	Г	М	Г
34*	2006	Н	Н	Н
34	2009	Г	Н	Г

* – совпадение оценки для всех индексов

вызван обогащением донных отложений центральной части бухты органическим веществом, поступающим с течениями из вершинной части. Всё это указывает на необходимость дальнейших исследований по адаптации этих индексов к условиям Черного моря и поиску дополнительных критериев и показателей оценки состояния сообществ.

Выводы. На фоне возрастающей в последние 20 лет антропогенной нагрузке (уровня загрязнения донных отложений) с помощью различных индексов показаны значительные флуктуации качества состояния сообществ макрозообентоса бухты Круглая. Увеличение загрязнения привело на ряде участков к снижению до «среднего» или «плохого» уровня. Данные процессы затронули как участки, непосредственно примыкающие к источникам загрязнения, так и отдалённые.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме государственного задания «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2) – анализ количественных показателей видов макрозообентоса, и гранта РФФИ «Анализ современного состояния структурно-функциональной организации донных биоценозов Севастопольского региона и их устойчивости под влиянием изменчивости природно-антропогенных факторов» (№ гос. регистрации 18-44-920028) – расчет индексов состояния сообществ и анализ материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дагаева В.А.* Наблюдения над жизнью Солёного озера Круглой бухты у Севастополя // Изв. АН СССР.– 1927.– VI серия, 21:7.– С.1319-1346.
2. *Курфтаркова Е.А., Родионова Н.Ю., Губанов В.И., Бобко Н.И.* Гидрохимическая характеристика отдельных бухт севастопольского взморья // Труды ЮГНИРО.– 2008.– т.46.– С.110-117.
3. *Беляева О.И.* Проблема нефтяного загрязнения ливневых стоков в морской береговой зоне Севастопольской бухты // Ученые записки ТНУ им. В.И.Вернадского.– 2004.– т.17 (56), № 4.– С.105-112.
4. *Мионов О.Г.* Состав органической компоненты ливневых стоков в районе г. Севастополя // Оценка расположенных на суше источников загрязнения морей, омываемых государства СНГ.– Севастополь, 1992.– 1.– С.48-49.
5. *Мионов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В.* Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– 185 с.
6. *Simboura N., Zenetos A.* Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems. including a new Biotic Index // Mediterranean Marine Science.– 2002.– 3/2.– P.77-111.
7. *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.
8. *WFD* intercalibration technical report. Part 3.– Coastal and Transitional Waters. Sect.2. Benthic invertebrates // JRC Scientific and Technical Reports.– 2009.– P.19-108.
9. *Зернов С.А.* К вопросу об изучении жизни Черного моря // Записки Импер. Акад. наук. Серия 8.– 1913.– 32.– № 1.– 283 с.

10. *Тихонова Е.А.* Многолетняя динамика загрязнения органическими веществами донных осадков бухты Круглая (Севастополь, Чёрное море) // Морской биологический журнал.– 2016.– т.1, № 1.– С.70-75.

Материал поступил в редакцию 15.03.2019 г.
После доработки 20.05.2019 г.

S.V.Alyomov, T.V.Viter, E.V.Guseva

LONG-TERM CHANGES OF THE STATE OF MACROZOOBENTHOS
COMMUNITIES IN THE KRUGLAYA BAY (SEVASTOPOL)

To analyze the long-term changes in the ecological state of the Kruglaya Bay (Sevastopol) water area the environmental indices (BENTIX, AMBI, M-AMBI) are applied. For 20 years period (1992 – 2012) due to the anthropogenic load increasing there is a decrease in the indicators of the ecological state of benthic communities in a number of parts of the Bay. The communities' state has deteriorated to "bad" in the polluted top part of the Bay and in the central part of the Bay it has changed to "good" or "medium". It is concluded that the ranking of water areas using all three indices will allow giving a more correct assessment of the environmental changes taking place.

KEYWORDS: pollution, ecological state, macrozoobenthos, indices, the Black Sea