

ИНДЕКС "БИОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА" В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Приведены данные по оценке "биологического качества" донной среды с применением широко используемого западными исследователями "The Biology Quality Index" (BQI). Показана целесообразность комплексного подхода (на базе химических и биологических данных) в оценке экологического состояния донной среды любой прибрежной акватории.

Комплексная характеристика экологического состояния любой прибрежной акватории объединяет два основных направления мониторинговых исследований – химическое и биологическое. Первое дает представление об "истории" того или иного вида загрязнения, его пространственном, количественном и качественном распределении в границах выделенного района. Задача биологического направления состоит в оценке степени поражающего воздействия конкретного загрязнителя или их комплекса на биоту и отклика последней на различных организационных уровнях. Сами по себе химический или биологический мониторинг не могут полностью обеспечить полную характеристику экологического качества исследуемой акватории. Только интегральный анализ всех имеющихся данных позволяет выявить наиболее "горячие" моменты произошедших и происходящих под влиянием антропогенного пресса изменений, давая тем самым возможность объективной оценки экологического качества среды и наиболее реального прогноза по ее возможному улучшению.

Макрозообентос является одним из узловых звеньев биотического круговорота вещества и трансформации энергии в прибрежных экосистемах. Пространственная стабильность и относительное долголетие макробентосных организмов и сообществ делает их наиболее удобными объектами в исследовании долговременных изменений морской среды под воздействием загрязнения. Легко интерпретируемые количественные характеристики, такие как биомасса, численность, количество видов, положены в основу большинства используемых в экологическом мониторинге индексов видовой разнообразия и "индексов бентосного здоровья" (Шеннонна – Винера, Пиелоу и пр.) [3, 5, 6, 8].

Все индексы, характеризующие морское загрязнение, на базе фаунистических характеристик можно разделить на две категории: 1) популяционного уровня, включающего перечень видов или индексы разнообразия и 2) индивидуального, отражающего физиологический или биохимический отклик биоты [4]. Очевидно, что любой рассчитываемый количественный показатель в определенной мере упрощает ситуацию, и ни один из методологических подходов не лишен недостатков, связанных, в основном, с трудностью идентификации источника воздействия на живые объекты в природной среде. В частности, отклик организма на естественный стресс (изменение температуры, солености и т.п.) может перекрывать соответствующую реакцию на одновременное воздействие относительно небольших концентраций загрязнителя, а биологические характеристики отражают, скорее, воздействие общего стресса, чем специфического загрязнения [7]. Последнее особенно важно для акваторий, в течение длительного времени подверженных разнообразному антропогенному воздействию, к каковым, в частности, относится Севастопольская бухта.

Цель настоящей работы состояла в характеристике "биологического качества" донной среды в терминах BQI (The Biology Quality Index) и PLI (Pollution Load Index) и сравнении экологического состояния Севастопольской бухты с различными акваториями Европы.

Методика. В основу используемого в настоящем исследовании "Индекса биологического качества" (The Biology Quality Index - BQI) положены отклики биоты на

произведенное воздействие на популяционном уровне [6, 8]. Методический подход при расчетах BQI включает, в частности, распределение исследуемых участков по трем характерным категориям-зонам, определяемым как:

А – абиотическая зона – зона с полным отсутствием макробентоса;

В – оппортунистическая зона – зона доминирования видов-оппортунистов или г-стратегов;

С – стабильная зона – сообщество в этой зоне характеризуется значительным разнообразием видов, составом, характерным для данного типа осадка и высокими количественными показателями макрозообентоса.

Все выделенные зоны (в соответствии с количеством каждой) соотносятся к общей площади исследуемой акватории-эстуарии по уравнению: $A+B+C=1,0$. Индекс биологического качества (BQI) рассчитывается по [8]:

$$BQI = 10^{(C-A)},$$

где С – доля стабильных зон, А – доля абиотических зон. "Оппортунистическая" зона (В) в формуле не используется. Количественные значения BQI рассматриваются в диапазоне от 0,1 до 10 соответственно убыванию антропогенной нагрузки, т.е. максимальная величина характеризует незагрязненную акваторию.

Первичным материалом для расчета BQI по Севастопольской бухте (Черное море) послужили данные химико-биологической съемки, проводимой ежеквартально с октября 2002 по июль 2003 гг. на семи станциях (схему станций см. в [2]). 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 определяли таксономический состав макрозообентоса, численность и массу фиксированных организмов. Для выделения доминирующих видов в программе SIMPER пакета PRIMER-5 определялся вклад отдельных видов в сходство сообществ на каждой станции.

При ранжировании всей площади донной поверхности бухты на абиотические, биотические и стабильные зоны учитывали предварительные данные [1], полученные для региона Севастополя. К стабильным зонам, в частности, относили станции, где доминирующими формами являлись моллюски-фильтраторы при общих достаточно высоких количественных показателях макробентоса (биомасса более 50 г/м², численность – около 1000 экз./м² или выше, число видов – более 10). При рассмотрении изменения значений индекса BQI в историческом масштабе (1985 – 2003 гг.) использовалась обширная база биологических данных отдела морской санитарной гидробиологии Ин-БЮМ [1]. Методика расчета используемого в данной работе показателя химического качества донной среды ("индексы нагрузки загрязнения" – PLI) описана в настоящем сборнике [2].

Результаты и обсуждение. Количественные показатели макрозообентоса в исследуемых период (2002 – 2003 гг.) существенно варьировали на различных станциях (табл. 1). При этом на 4 станциях доминирующими видами были фильтраторы: *Chamelea gallina*, преобладающая на песчаных биоценозах открытых акваторий и в незагрязненных бухтах, и *Cerastoderma glaucum*, – на илистых и илисто-песчаных биотопах бухт. Вместе с тем, на ст. 2 и 7 отмечались низкие значения биомассы бентоса, на ст. 7, к тому же, и обедненный видовой состав. Таким образом, к зоне С нами причислены только ст. 1 и 6. Рассчитанное значение для зоны С составило 0,29, величина BQI – 1,93.

На рис. 1 представлено временное перераспределение соотношения зон А, В и С в соответствии с изменениями антропогенной нагрузки в донных осадках Севастопольской бухты. Для 2003 г. количество зон и соответствующая величина BQI приведены по материалам бентосной съемки, проведенной в июле 2003 г. по стандартной сетке станций 1985 – 2000 гг. [1]. Как наиболее драматичный по экологическому качеству характеризуется период с 1985 по 1988 гг., когда количество участков донной поверхности бухты, отнесенных к зоне А (с полным отсутствием макробиотической жизни),

составляло до 10 % (рис 1а). Заметное улучшение "биологического качества" донной среды наблюдается с началом последнего десятилетия ушедшего века, и период с 1994 по 2000 гг. можно характеризовать как относительно стабильный.

Таблица 1. Количественные показатели макрозообентоса на станциях мониторинга в Севастопольской бухте

Table 1. Quantitative parameters of macrozoobenthos at monitoring stations in Sevastopol Bay

| Станция | Количество видов | Биомасса, г/м ² | Численность, экз./м ² | Доминирующий вид, % |
|---------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 18 ± 2,4 (15 – 20) | 66,39 ± 40,23 (21,06 – 119,75) | 941 ± 565,1 (440 – 1772) | <i>Chamelea gallina</i> - 60,8 |
| 2 | 15,75 ± 4,6 (10 – 20) | 27,85 ± 15,83 (8,61 – 45,97) | 990 ± 468,5 (307 – 1421) | <i>Cerastoderma glaucum</i> - 51,8 |
| 3 | 9 ± 5,2 (2 – 14) | 93,16 ± 176,73 (0,23 – 363,62) | 418 ± 306,5 (35 – 763) | <i>Nephtys hombergii</i> - 68,3 |
| 4 | 13,5 ± 2,0 (11 – 16) | 17,11 ± 7,89 (10,95 – 28,87) | 872 ± 199,8 (728 – 1173) | <i>Tritia reticulata</i> - 37,9 |
| 5 | 12 ± 4,1 (7 – 17) | 27,81 ± 31,11 (3,35 – 73,35) | 1059 ± 661,2 (605 – 2053) | <i>Tritia reticulata</i> - 51,5 |
| 6 | 15 ± 4,5 (9 – 19) | 92,87 ± 88,63 (16,95 – 212,75) | 7060 ± 4593,4 (675 – 11132) | <i>Cerastoderma glaucum</i> - 42,9 |
| 7 | 9,5 ± 2,0 (7 – 12) | 11,64 ± 10,71 (4,32 – 27,90) | 311 ± 208,4 (167 – 620) | <i>Cerastoderma glaucum</i> - 46,8 |

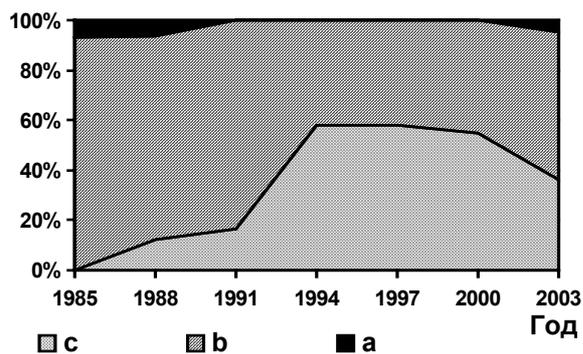


Рисунок 1. Многолетние изменения соотношения зон (А, В, С) с различным качеством бентосных сообществ
Fig. 1. Long-term changes of ratio of zones (A, B, C) having the benthic communities various quality

На фоне исчезновения абиотических районов (А) резко снижается доля участков, занимаемых видами - оппортунистами (В), а зона стабильных условий (С) расширяется до 60 % от общей площади донной поверхности бухты. Анализ многолетней динамики "индекса биологического качества" (BQI) подтверждает данное заключение (рис. 2). Значения BQI в 1994 - 2000 гг. возросли в среднем в 5 раз, по сравнению с предшествующим десятилетием.

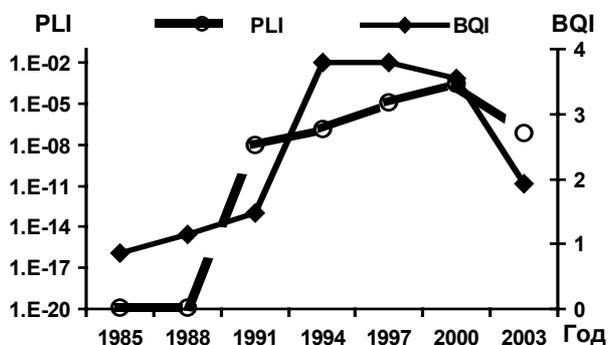


Рисунок 2. Многолетние изменения значений BQI и PLI в Севастопольской бухте
Fig. 2. Long-term changes of BQI and PLI values in Sevastopol Bay

Исходя из принципа комплексного подхода к оценке экологического качества среды, был проведен анализ многолетней динамики BQI и PLI (индекса нагрузки загрязнения). Как следует из рис. 2, и тот и другой показывают удовлетворительное сходство во временном масштабе, т. е. общее снижение уровня антропогенной нагрузки (нефтяного загрязнения), наблюдаемое с 1988 г., сопровождалось улучшением биологического качества донной среды. Тем не менее, на временном интервале 1985 - 2003 гг. можно выделить несколько периодов, отражающих определенные тенденции динамики улучшения/ухудшения биологического и химического качества. Например, на фоне резкого скачка (в направлении улучшения) значений "индекса нагрузки загрязнения" (PLI) в 1991 г., сопровождаемого полным исчезновением абиотической зоны (см. рис. 1), аналогичное повышение BQI отмечено только в 1994 г.. Именно в этот период происходит расширение участков со стабильными условиями среды (С) – от 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 Севастопольской бухты, наблюдаемое в 2003 г., отражается в резком падении значений и PLI и BQI (см. рис. 2). Причем, снижение биологического качества среды сопровождается вновь обнаруживаемыми абиотическими участками (А) и расширением площади "оппортунистической" зоны В (см. рис.1). Таким образом, восстановление бентосных сообществ после разрушающего воздействия – процесс более длительный как во временном, так и пространственном масштабах.

Следует отметить, что изменения значений BQI достаточно хорошо коррелируют не только со степенью загрязненности донных осадков в бухте, но и с изменениями количественных характеристик макрозообентоса (средних значений по бухте), несмотря на то, что последние лишь косвенно учитываются при расчете данного индекса (рис. 3).

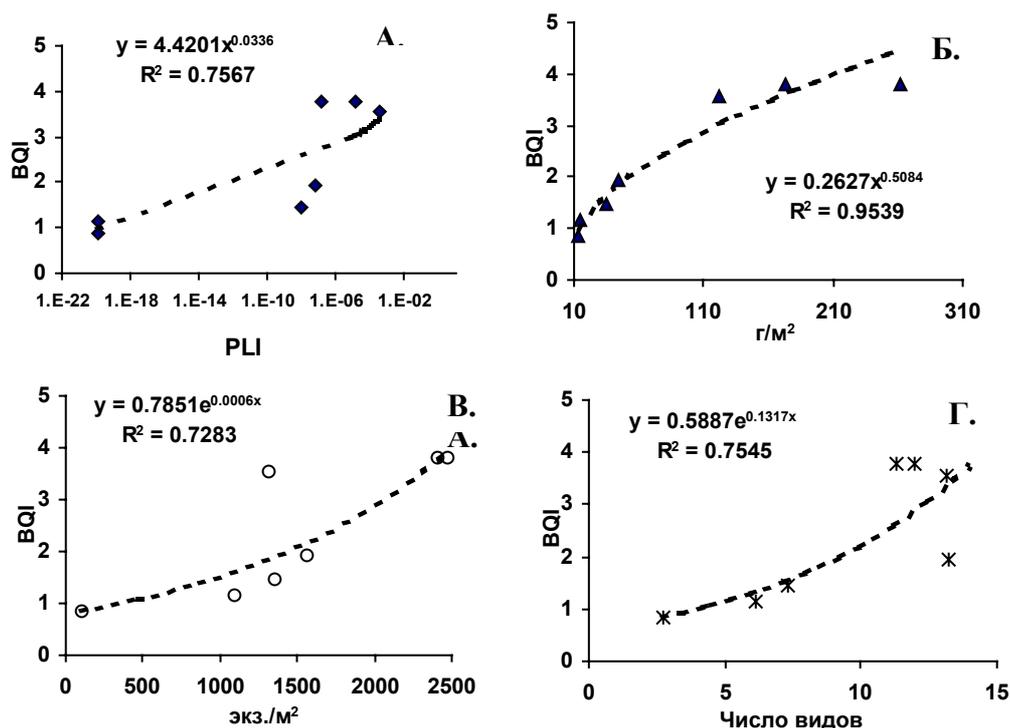


Рисунок 3. Изменение "индекса биологического качества" (BQI) в зависимости от уровня загрязнения донных осадков (А), средних значений биомассы (Б), численности (В) и среднего числа видов на станции (Г) в Севастопольской бухте в период 1985 - 2003 гг.

Fig. 3. Change BQI in dependence on bottom sediment pollution degree (А), average macrobenthos biomass (Б), abundance (В) and number of species at station (Г) in Sevastopol Bay in 1985 - 2003

Сравнение экологического статуса Севастопольской бухты с различными географическими регионами [9] в терминах "Biology Quality Index" за период 1994 - 2003 гг. показало, что, например, в различных эстуариях Ирландии диапазон BQI составляет 0,10 – 9,42, Франции – 3,87–7,65, в Севастопольской бухте – 2,0–3,7. Приведенные показатели подтверждают актуальность проблемы загрязнения прибрежных районов в европейском масштабе.

Проведенное исследование показывает, что сам по себе количественный показатель биологического качества донной среды (BQI), без соотнесения с химическими характеристиками, является малозначимым. К основному преимуществу данного индекса следует отнести возможность его численного представления на базе единого методического подхода и, следовательно, сравнения экологических ситуаций не только в границах конкретной акватории во временном масштабе, но и в различном географическом масштабе. Очевидно, что повышение качества самой экологической экспертизы морской среды возможно лишь при комплексном анализе как можно более широкого спектра химических и биологических данных.

Благодарности. Первичные материалы по 2002 - 2003 гг., а также программный пакет PRIMER-5 получены при поддержке гранта ИНТАС 07-788 "Evaluation of coastal pollution status and bioindicators for the Black Sea (BIOBS)"

1. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В.* Санитарно-биологические аспекты экологии Севастопольских бухт в XX веке. – Севастополь, 2003. – 185 с.
2. *Осадчая Т. С., Алёмов С. В., Шадрина Т. В.* Экологическое качество донных осадков севастопольской бухты - ретроспектива и современное состояние // Экология моря. - 2004. – Вып. 66. – С. 82 – 87.
3. *Протасов А. А.* Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикоология. - Киев, 2002. - 105 с.
4. *Dauer D. M.* Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure // Mar.Poll. Bull. - 1993. – 26. – P. 249 - 257.
5. *Leppakowski E.* Monitoring the benthic environment of organically polluted river mouth / Alabaster J.S. (ed.) biological monitoring of inland fisheries.- Barking, Surrey: Applied Science Publ., 1977.- P. 125 - 132.
6. *Pearson T., Rosenberg R.* Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment // Oceanography and Marine Biology Annual Review. – 1978. - 16. - P. 229 - 311.
7. *Wilson J. G.* The uptake and accumulation of Ni by *Cerastoderma edule* and its effect on mortality, body condition and respiration rate // Mar. Environ. Res. – 1983. - 8. – P. 129 - 148.
8. *Wilson J. G., Jeffrey D. W.* Europe wide indices for monitoring estuarine pollution / Richardson D.H.S. (ed.) Biological indicators of pollution. – Dublin: Royal Irish Academy, 1987. – P.2 25 - 242.
9. *Wilson J. G.* Evaluation of estuary quality status at system level using the Biological Quality Index and the pollution load index // Biology and Environment: Proceeding of the Royal Irish Academy, 2003. – 103B, N2. – P. 49 - 57.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
г. Севастополь

Получено 15.12.2004

S. V. ALYOMOV, T. S. OSADCHAYA

**USE OF THE BIOLOGICAL QUALITY INDEX
FOR AN EVALUATION OF AREA WATER ECOLOGICAL STATE**

Summary

The data on evaluation of bottom environment "biological quality" with apply of the "Biology Quality Index" (BQI) widely used by western researches are given. An expediency of comprehensive approach (on the basis of chemical and biological data) for an evaluation of bottom environment ecological state of any offshore strip is shown.