

**ОСОБЕННОСТИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ
УГЛЕВОДОРОДОВ И СТРУКТУРЫ
МАКРОЗООБЕНТОСА БУХТ
СЕВАСТОПОЛЬСКАЯ И ВАРНА**

*Т.С. Осадчая, С.В. Алёмов,
Е.В. Тихонова, Т. Консулова*,
В. Тодорова*, Г. Штерева**

Институт биологии южных морей
НАН Украины

г. Севастополь, пр. Нахимова, 2

E-mail: msh@ibss.org.ua

*Институт Океанологии АН Болгарии,

г. Варна, ул 1-го мая, 40

E-mail: konsulova@io-bas.bg

В статье приведены результаты изучения нефтяного загрязнения донных осадков, а также разнообразия и структурных характеристик сообществ макрозообентоса в б.Севастопольская и Варненском заливе по результатам наблюдений 2009 г. Экологическое состояние районов оценивалось в соответствии с расчетом индекса М-АМВІ для донной макрофауны.

Введение. Резкая деградация экосистемы Черного моря в результате усиленного антропогенного воздействия второй половины XX столетия, сопровождавшееся естественной изменчивостью и изменениями климата выразилась в значительных негативных изменениях его экосистем и ресурсов в прибрежных зонах. В течение веков эти зоны являются центрами разнообразной человеческой деятельности, включая индустриализацию, строительство портов и гаваней, разработку природных ресурсов, судоходство, рекреацию, туризм и др. Принимая во внимание исключительную важность качества среды прибрежных зон для собственного успешного экономического развития, Украины и Болгария вместе с другими причерноморскими странами приняли в 1992 г. и ратифицировали в 1994 г. Конвенцию по защите Черного моря от загрязнения, а затем в 1996 г. – Стратегический План действий для реабилитации и защиты.

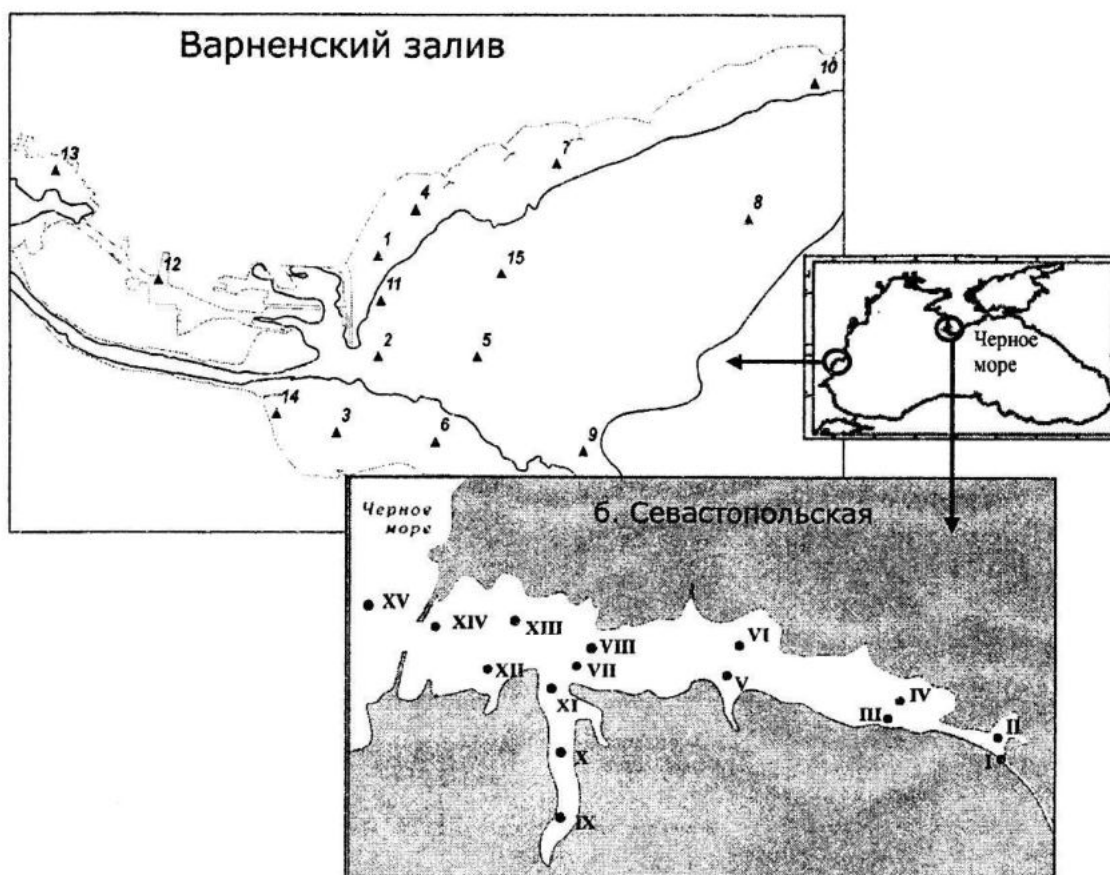
Функциональная специфика прибрежных регионов обуславливает тот факт, что угрозу антропогенного повре-

ждения экосистем составляет не столько массивное, сколько длительно действующее загрязнение. При этом среди широкого спектра загрязняющих субстанций, нефти и нефтепродуктам принадлежит лидирующая роль.

Оценка уровней и особенностей пространственного распределения нефтяных углеводородов в донных осадках прибрежных акваторий Варны и Севастополя составляла одну из задач совместного украинско-болгарского проекта «Сравнительный анализ экологического статуса прибрежных зон Украины и Болгарии». Основным объектом для проведения комплекса химико-аналитических работ с последующим определением оценочных критериев были выбраны донные осадки, которые с позиций экологического мониторинга представляют наиболее надежную и информативную среду для характеристики загрязнения, в том числе, и нефтепродуктами.

Севастопольская бухта, расположенная в юго-западной части Крымского полуострова, представляет полузамкнутую акваторию эстуарного типа с диапазоном глубин от 2 до 20 м. Акватория бухты в значительной степени подвержена воздействию разнообразных загрязнений, среди которых преобладают нефтяные углеводороды. В частности, «накопленный» к настоящему времени объем данных поллютантов в донных осадках прибрежной акватории Севастополя оценивается в 20 тыс. т [1].

Варненская бухта (залив) является второй по величине на болгарском побережье Черного моря. Варненский залив расположен на северном болгарском побережье Черного моря, между мысом Св. Георгия на севере и мысом Галата на юге. Благодаря географическим данным, включая обмелевшее дно, неограниченный водообмен с открытым морем, соединению по двум каналам с озерами Варна и Белослав, бухта характеризуется специфическими гидрологическими и гидрофизическими режимами, что сказывается на распределении / аккумуляции загрязнителей в донных осадках. Накопление и перемещение седиментационного материала определяется двумя разнонаправленными потоками: первый начинается у мыса Св. Георгия с направ-



Р и с. 1. Схема расположения станций отбора проб макрозообентоса на акватории б. Севастопольская и Варненского залива (2009 г.)

лениями SW, а второй направлен от мыса Галата и песчаной косы Аспаруховская в направлении W [2, 3].

Прибрежная зона залива Варны быстро урбанизируется особенно в течение последних трех десятилетий, и различные виды деятельности человека, в том числе для развития туристической инфраструктуры, могут привести к «перезастройке» береговой линии в результате ненадлежащего управления прибрежными зонами [4].

Цель работы состояла в оценке современного состояния загрязнения прибрежных акваторий Украины и Болгарии (регионы Севастополя и Варны) в диапазоне химических и биологических индексов качества прибрежных зон.

Материалы и методы. Пробы макрозообентоса на акватории б. Севастопольская отбирали в июне 2009 г. на 15-ти станциях, расположенных по всей акватории бухты (рис. 1). Отбор проб производился дночерпателем Петерсена с площадью захвата $0,038 \text{ м}^2$ в трёх повторностях. Глубина станций отбора проб от 3 до 19 м. Донный осадок промывался

через сито (диаметр отверстий 1 мм) и фиксировался этанолом (96^0). В июне 2009 г. пробы макрозообентоса были собраны на 15 станциях в заливе Варны с использованием дночерпателя Ван-Вин с площадью захвата $0,1 \text{ м}^2$. Глубина станций отбора проб от 3 до 18 м. Пробы просеивали через сито 0,5 мм и фиксировали 4% раствором формальдегида.

В лабораторных условиях проводилась обработка фиксированного материала. Определяли видовой состав по [5 – 7], численность и сырой вес организмов макрозообентоса (фиксированных). Организмы макрофауны определялись на уровне видов (кроме Turbellaria, Nemertina, Nudibranchia и олигохет). Взвешивание двустворчатых моллюсков проводилось после их вскрытия и удаления фиксирующего раствора из мантийной полости.

В программе DIVERSE пакета PRIMER-5 выполнен расчёт индексов разнообразия Шеннона (по численности, использован логарифм по основанию 2), выравненности Пиелю. Расчет индекса AMBI производился с помощью соот-

ветствующего программного продукта, доступного на официальном сайте технологического центра AZTI Tecnalia [8].

Пробы донных осадков отбирали одновременно с пробами макрозообентоса. Определение нефтяных углеводородов (НУ) в донных осадках проводилось по методикам, описанным ранее [1].

Результаты и обсуждение. Полученные данные показывают, что практически вся донная поверхность Севастопольской бухты, включая контрольный участок (ст. 15; рис. 1) представлена различными илами: до 33 % приходится на черные илы с резким запахом сероводорода, 40 % составляют темно-серые илы и 27 % серые. Средние концентрации нефтепродуктов (НП) составляют: 719,7 мг/100 г сухого осадка для черных, 203,5 и 130,8 мг/100 г для темно-серых и серых илов соответственно. Максимальные концентрации НП отмечены вдоль центрального разреза (ст. 7 – 8) и в Южной бухте (ст. 9 – 11).

Осадки бухты Варна представлены разнокомпонентными песками (от мелко- до крупно-зернистых) со значительными включениями алеврита, гравия и детрита. Содержание НП характеризуется значительным разбросом от 0,04 до 81,8 мг/100 г сухого осадка. Экстремально высокие концентрации отмечены на ст. 12 и 13 (см. рис. 1), расположенных в границах озера Варна, которое подвержено значительной органической на-

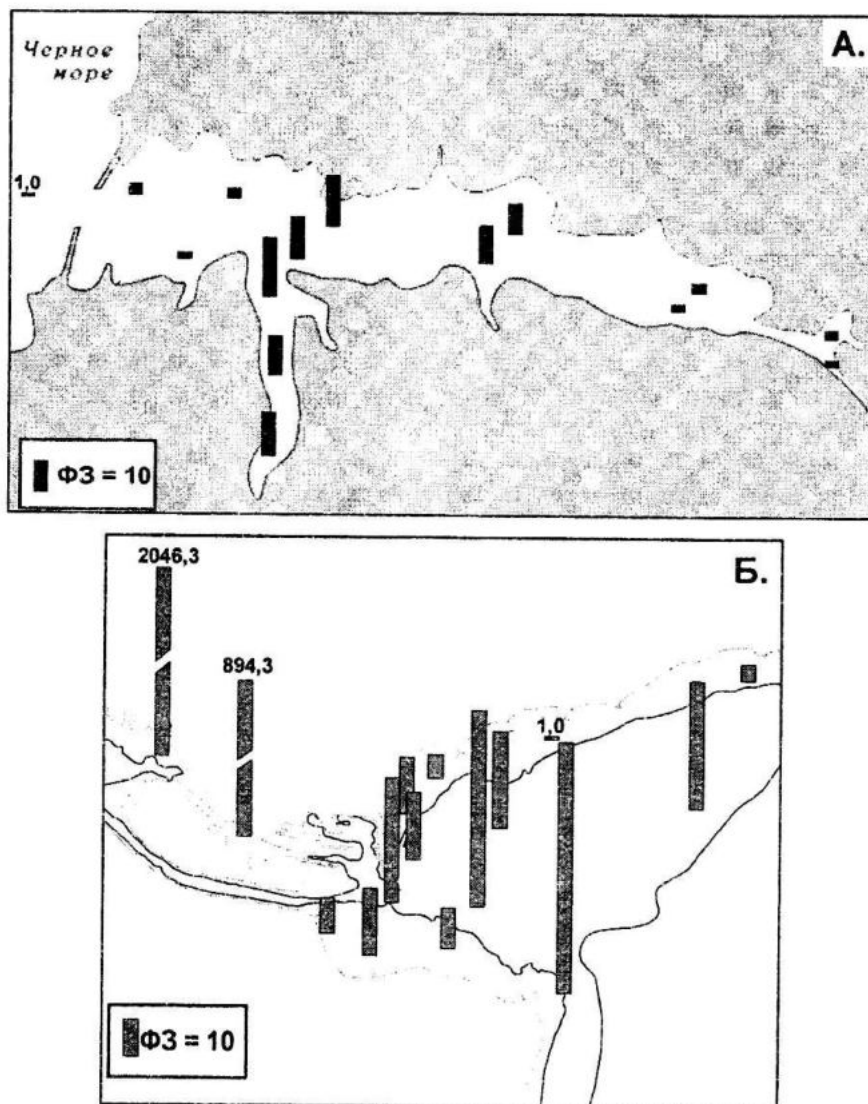
грузке, тепловому загрязнению и характеризуется повышенным уровнем эвтрофикации [9].

Для сравнения уровней и особенностей пространственного распределения НП в донных осадках двух бухт использовался унифицированный критерий – Фактор Загрязнения (ФЗ), рассчитываемый как отношение концентраций НП на фоновом (контрольном) участке к i -му в соответствии с сеткой станций. Количественный диапазон ФЗ для Севастопольской бухты (без контрольного значения $ФЗ = 1$, ст. 15) варьировал от 1,7 до 15,8 (рис. 2). При этом, на 4-х станциях (более 25 % от всех исследованных) величина ФЗ превышала фоновый уровень более, чем на порядок (ст. 6, 8 – 11). Пространственное распределение характеризовалось выраженным трендом повышения антропогенной нагрузки от вершины (ст. 1, 2) к центральной части бухты и последующим снижением к морской области (рис. 3а). По значениям ФЗ (1,7 – 4,1) отмеченные районы могут характеризоваться, как условно благополучные.

Амплитуда вариаций ФЗ для залива Варна показала значительный разброс, главным образом, за счет экстремально высоких концентраций НП в оз. Варна (ст. 12, 13), где соответствующие показатели более чем на три порядка превышали контрольные (рис. 2). По сравнению с б. Севастопольской пространст-



Р и с. 2. Значение Фактора Загрязнения по нефтепродуктам в донных осадках бухт Севастопольской (правая шкала) и Варна (левая шкала, логарифмический масштаб)



Р и с. 3. Пространственное распределение нефтепродуктов (по Фактору Загрязнения) в донных осадках бухт Севастопольской (А) и Варна (Б).

венное распределение НП в донных осадках акватории Варна характеризуется, как мозаичное (рис. 3б): даже на наиболее мористых участках (ст. 8 – 10) значения ФЗ значительно превышали фоновые (ст. 7), и только ст. 4 и 10 могут рассматриваться, как условно благополучные (ФЗ = 5 – 7,5).

В составе макрозообентоса Севастопольской бухты на 15-ти станциях обнаружено 46 видов и высших таксонов, в том числе брюхоногих моллюсков – 8 видов, двустворчатых моллюсков – 14, ракообразных – 5, многощетинковых червей – 17. Помимо этого в составе бентоса встречались *Nemertina* и *Oligochaeta*. Преобладание моллюсков и

многощетинковых червей в составе бентосных сообществ в целом характерно для прибрежных районов Крыма [10].

В Варненском заливе в общей сложности отмечено 70 видов и высших таксонов макрозообентоса. Основными таксономическими группами были полихеты – 28 видов (40,0 %), ракообразные – 20 видов (28,6 %), моллюски – 16 видов (22,9 %). Остальные таксоны входили в состав группы «прочие»: *Actinia equina*, *Branhiostoma lanceolatum* и представителей четырех групп, не идентифицированных до уровня видов. Таким образом, сообщества макрозообентоса Варненского залива при общем более высоком видовом богатстве отличаются меньшей

долей моллюсков и большей долей ракообразных (рис. 4).

В Севастопольской бухте по характеристикам донных осадков и распределению сообществ макрозообентоса выделяется три зоны: вершина бухты (ст. 1 – 4; группа станций С1), центральная часть, включая бухту Южная (ст. 5 – 11; С2), и устьевая часть бухты с прилегающим районом (ст. 12 – 15; С3). В Вершине бухты доминируют *Hydrobia acuta* и *Cerastoderma glaucum*. В центральной части наибольший вклад в общее разнообразие вносят брюхоногие моллюски *Hydrobia acuta*, *Nassarius reticulatus* и представитель ракообразных *Iphinoe elisae*. В устьевом районе бухты общее сходство макрозообентоса в основном определяется присутствием полихет *Heteromastus filiformis* и двух видов двустворчатых моллюсков – *Spisula subtruncata* и *Tellina fabula*.

Общее количество видов на различных станциях колеблется от 6 до 19, при этом более высокое видовое богатство отмечается в вершине бухты и ее устьевой части (рис. 5). Наиболее низкие значения индекса разнообразия H' наблюдались в вершине бухты на ст. 1 и 2 (вследствие резкого доминирования *H. acuta*) и в центральной части; в устье бухты значения индекса H' возрастают.

По результатам классификации анализа численности макрозообентоса Варненского залива выделены три основные группы станций. Группа I (SVB) включала 3 станции, расположенные на юге мелководной части бухты (3 – 7 м глубиной), которая характеризуется песча-

ными грунтами с доминирующими видами: полихетой *Spio filicornis* и двумя псаммобионтными видами моллюсков: *Lentidium mediterraneum* и *Tellina tenuis*. В группе II (CVB) дифференцированы шесть станций, расположенные главным образом в центральной, более глубокой, зоне бухты (8-18 м глубина) со смешанным составом донных осадков – от алевритов до песка. Два вида полихет – *Heteromastus filiformis*, *Polydora cornuta* и олигохеты вносят основной вклад и общее сходство в этой группе. Группа III (NVB) включает 5 станций, расположенных в северной части залива, с песчаным субстратом на глубинах от 7 до 16 м. Сходство здесь определяется в основном наличием трех видов полихет и представителем ракообразных *Upogebia pusilla*. Полностью лишенная организмов макрозообентоса зона отмечена в восточной части озера Варна (ст. В13), где содержание общего органического углерода и углеводородов нефти в отложениях является наиболее высоким [11].

Среднее число таксонов колеблется от 10 на станциях вблизи канала озероморе (ст. В1, В2, В11) и зоне CVB (ст. В8), до 31 вида в зоне смешанного типа осадков (ст. В15) (рис. 5). Среднее значение индекса разнообразия H' ниже также в центральной части (CVB) и в зоне залива, расположенной рядом с каналом (ст. В8 и В14 – 0,93 и 0,94 соответственно). Максимальное значение индекса H' зарегистрировано в южной части залива (SVB) (В3 – 3,16).

Численность макрозообентоса в Севастопольской бухте варьировала от 141

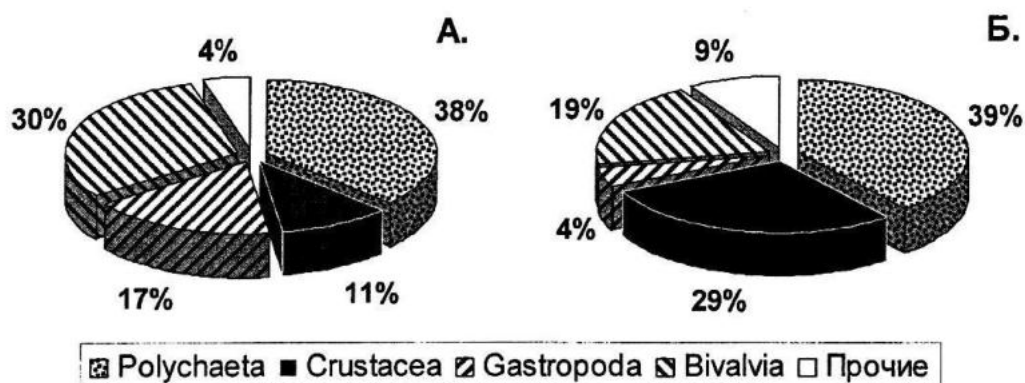


Рис. 4. Соотношение количества видов крупных таксономических групп макрозообентоса б. Севастопольская (А) и Варненского залива (Б)

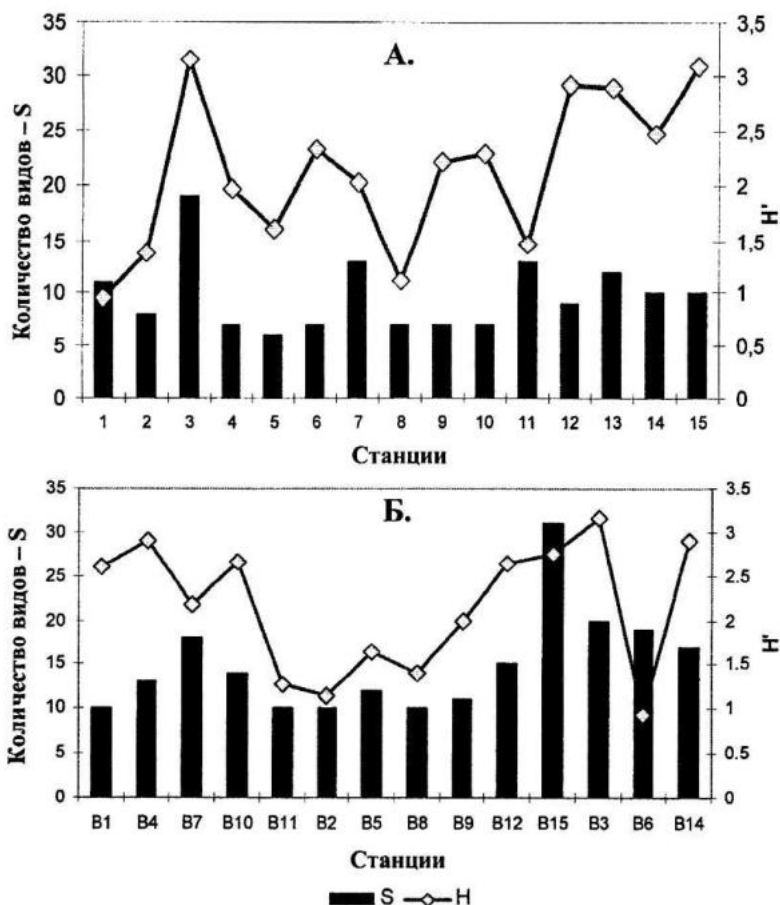


Рис. 5. Количество видов (S) и значения индекса разнообразия Шеннона (H') по станциям в Севастопольской бухте (А) и Варненском заливе (Б)

до 1765 экз./м². Максимальная средняя численность макробентоса наблюдалась в вершине бухты (группа станций С1) за счет *Hydrobia acuta*, численность которой достигала 1535 экз./м² (рис. 6а). В центральном и устьевом районах численность не превышала 1000 экз./м² и минимальная (средняя) наблюдалась на устьевом участке бухты (С3). Наибольший вклад в общую численность в центре бухты вносили полихеты *Heteromastus filiformis* и моллюски *Hydrobia acuta*, в устье – *H. filiformis*, моллюски *Spisula subtruncata* и ракотшельник *Diogenes pugilator*.

Наиболее низкие значения биомассы макробентоса (менее 1,0 г/м²) наблюдались в центральной части бухты на ст. 8 и 10 (рис. 6б). Биомасса на этом участке бухты определялась в основном моллюсками *Nassarius reticulatus* и *Mytilus galloprovincialis*. В вершине бухты биомасса бентоса варьировала в пределах от 1 до 45 г/м², при значительных вкладах в общую биомассу моллюсков – *Abra seg-*

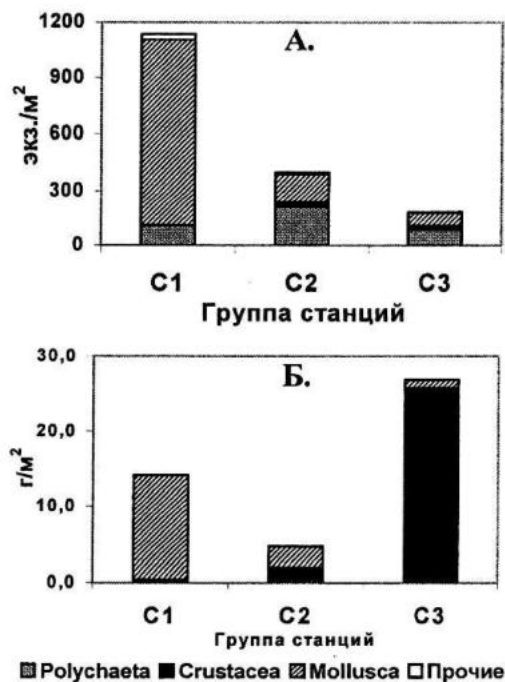


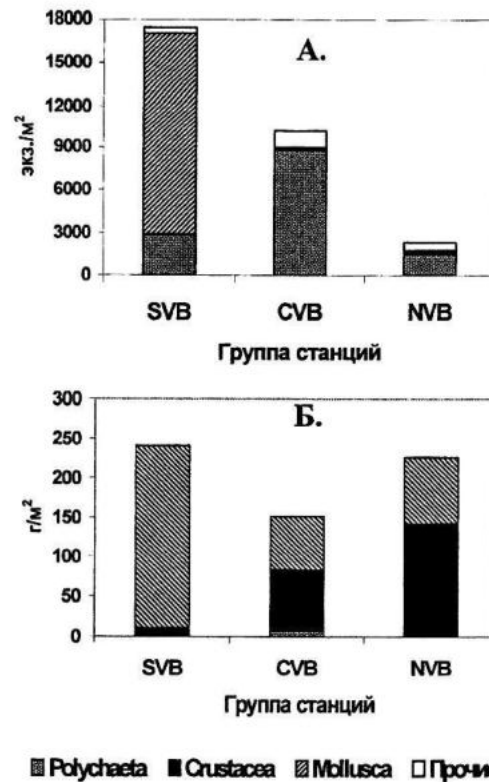
Рис. 6. Средние значения численности (А) и биомассы (Б) макрозообентоса б. Севастопольская по районам

mentum, *Hydrobia acuta*, *Bittium reticulatum*, *N. reticulatus*. Наибольшие средние значения биомассы, отмеченные в устье бухты (участок С3), в основном обуславливали ракообразные *Upogebia pusilla* и *Macropipus holsatus*.

Что касается численности макрозообентоса залива Варна, высокие значения получены для группы станций, расположенных в южной зоне (SVB) - 17440 экз./м² при очевидном доминировании псаммобионтного моллюска *Lentidium mediterraneum* (80,1 %) (рис. 7а). В центральной части залива (CVB) лидирующую позицию занимает наиболее устойчивые к неблагоприятным условиям среды виды полихет (86,0 %). Наименьшая численность макрозообентоса зарегистрирована в районе NVB, где доминируют полихеты (64,0 %). В качестве негативной особенности этой зоны можно отметить минимальное присутствие псаммобионтных моллюсков (50 экз./м²) *Chamelea gallina* и *L. mediterraneum*, которые здесь были характерными видами в предыдущие периоды [11, 12].

Анализ распределения биомассы показывает (рис. 7б), что центральная часть залива (CVB) характеризуется низкими значениями (151,34 г/м²) и определяется равным вкладом представителей ракообразных (в основном *Upogebia pusilla* - 49,9 %) и некоторых видов моллюсков, таких как мидии *Mytilus galloprovincialis* и *Mytilaster lineatus* (единичные экземпляры в зоне канала озеро-море). Значения биомассы зон SVB и NVB сопоставимы: 240,515 г/м² и 226,39 г/м² соответственно. Различия определяются составом доминирующих видов: моллюски *Lentidium mediterraneum*, *Chamelea gallina* и *Tellina tenuis* (94,9 %) в SVB, а в зоне NVB 62,8 % от общей биомассы приходится на ракообразных *Upogebia pusilla*, вместе с некоторыми видами моллюсков - в основном инвазивных иммигрантов *Anadara inaequalis* (36,5 %), которая вытесняет местных *L. mediterraneum* и *Ch. gallina*.

В последние годы использование разнообразия и обилия таксонов макробеспозвоночных, а также присутствия таксонов-индикаторов загрязнения окружающей среды (биотических индексов), стало общепринятым компонентом

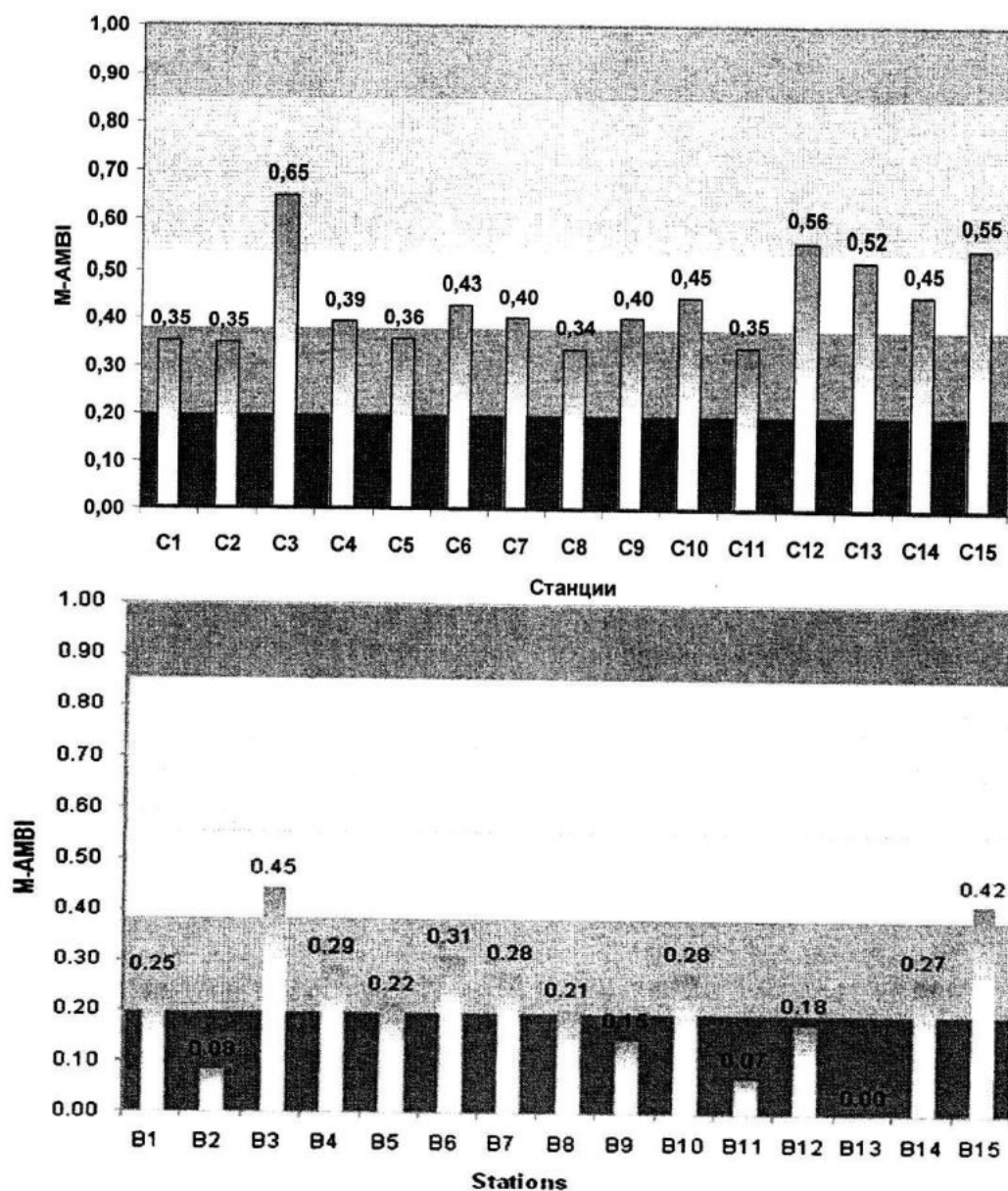


Р и с. 7. Средние значения численности (А) и биомассы (Б) макрозообентоса Варненского залива по районам

экологических оценок состояния окружающей среды. Одним из наиболее распространенных индикаторов для оценки состояния морских экосистем является AMBI (AZTI's marine biotic index) [14].

Рис. 8 представляет экологическое состояние донных макрофауны Севастопольской бухты и Варненского залива в июне 2009 г. в соответствии с индексом М-AMBI. В Севастопольской бухте две станции (ст. 3 и 12) соответствуют хорошему экологическому состоянию, на пяти (ст. 1, 2, 5, 8, 11) состояние характеризуется как «бедное». Большинство станций в Севастопольской бухте соответствует умеренному качеству среды.

В Варненском заливе экологическое состояние только двух станций, классифицируется как "умеренное" (ст. В3 и В15), почти половина станций соответствует "бедному" экологическому состоянию (ст. В1, В4, В5, В6, В7, В8, В10, В14) и 5 станций попадает в "плохой" статус (ст. В2, В9, В11, В12, В13). Это станции, расположенные в озере, в зоне канала озеро-море (ст. В12, В13) или на участке перед каналом (ст. В2, В11). На



Р и с. 8. Значение индекса АМБИ для станций в Севастопольской бухте (вверху) и Варненском заливе (внизу), 2009 г.

участке ст. В9 вероятно сказывается влияние интенсивного судоходства.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют об общем высоком уровне нефтяного загрязнения прибрежных акваторий Севастополя и Варны и, одновременно, показывают, что даже в границах одного водного бассейна (Черное море) особенности гидрологического/динамического режимов, интенсивность водообмена и литологическая структура донных отложений обуславливают характер пространственного распределения поллютантов по площади исследованных районов.

Видовое разнообразие и количественные характеристики макрозообентоса в Севастопольской бухте ниже, чем в Варненском заливе. Вместе с тем, сообщества макрозообентоса в районе Севастопольской бухты по результатам расчета индекса М-АМБИ в основном характеризуют экологическое состояние района как "умеренного загрязнения", а на трети станций состояние характеризуется как «бедное».

Данные, полученные в отношении экологического состояния ценозов макрозообентоса в течение лета 2009 г. свидетельствуют о наличии одного "без-

жизненного" участка в восточной части озера Варна. В северной и южной части залива экологическое состояние макрозообентоса колеблется от "бедного" до "умеренного загрязнения", которые приводят к выводу, что Варненский залив по характеристикам ценозов зообентоса по-прежнему зависит от высокой эвтрофикации и загрязненных вод озера Варна. Следовательно зоны Варненского залива все еще остаются в 2009 г. в категории "зона риска".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алёмов С.В.* Санитарно-биологические аспекты экологии Сева-стопольских бухт в XX веке. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.
2. *Stancheva M., Marinski J., Stanchev H.* Evaluation of maritime construction impact on the beaches in Varna Bay (Bulgarian coast) / Proc. Ninth Int. Conf. «Marine Sciences and Technologies, Black Sea», 2008. – P. 190 – 195.
3. *Dachev V., Cherneva Z.* Longitudinal-Coastal Transfer of the Deposits in the Coastal region of the Bulgarian Black Sea Coast between the Cape of Sivriburun and the Bourgas Bay // Oceanology, Sofia. – 1979, № 4. – P. 30 – 42 (In Bulgarian).
4. *Palazov A., Stanchev H.* Evolution of human population pressure along the Bulgarian Black Sea coast / Proc. 1st Biannual Scientific Conference "Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond". – Istanbul, Turkey, 2006. – v. II. – P. 1056 – 1081.
5. *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей: в 3 т. / АН УССР. ИнБИОМ.* – К.: Наук. думка, 1972. – 3. – 340 с.
6. *Holme N.A., McIntyre A.* Methods for the Study of Marine Benthos. – Oxford: Blackwell Scientific Publications, IBP Hand-book, 1984. – № 16. – 387 p.
7. *Todorova V., Konsulova T.* Manual for collection and treatment of soft bottom macrozoobenthos samples. – 2005. – Online: http://bsc.ath.cx/documents/ExpertNetwork/docs/Expert%20Network%20%20Zoobenthos/Todorova%20Manual_zoobenthos.doc
8. <http://www.azti.es>
9. *Shtereva G., Moncheva S., Doncheva V. etc.* Changes of the chemical parameters in the close coastal Black Sea area (Bulgarian part) as an indicator of the ecological characteristics of the environment / Environmental Protection Technologies for Coastal areas (Ed. R. Arsov), Second International Black Sea Conference, 1998. – P. 51 – 59.
10. *Ревков Н.К.* Таксономический состав донной фауны Крымского побережья Черного моря // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор). – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 209 – 218, 326 – 338.
11. *Shtereva G.* Petroleum hydrocarbons in Varna Bay sediments / Proc. Tenth Intern. Conf. Marine Sciences and Technologies, Black Sea. – 2010. – P. 283 – 287.
12. *Marinov T.* Zoobenthos of the Bulgarian sector of the Black Sea / Sofia: Bulg. Acad. Sci. Publ. 1990. – 196 p.
13. *Konsulova Ts.* Seasonal structure and ecological status of Varna Bay (Black sea) sandy and muddy macrozoobenthic cenoses / Rapp. Comm. Int. Mer Medit., 1992. – v. 33. – P. 42.
14. *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.