УДК [574.63+551.46.09](262.5)

С. В. АЛЁМОВ, Н. В. БУРДИЯН, Е. В. ГУСЕВА,
Т. В. ШАДРИНА, Л. В. ЕНИНА, Р. В. СОСНОВСКАЯ,
Н. Г. ВОЛКОВ, Е. А. ТИХОНОВА

САНИТАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Проанализировано распределения бактерио-, мейо- и макрозообентоса в зависимости от физико-химических характеристик донных осадков бухты Южная (г. Севастополь, Чёрное море). Содержание нефтяных углеводородов составляло 607,2 – 1458,0 мг/100 г сух. осадка. В вершинной части бухты отмечено снижение концентраций нефтяных углеводородов. Общая численность гетеротрофных бактерий находилась в пределах 10^4 кл./г, плотность мейобентосного населения 9500 – 197800 экз./м^2. Наибольшая средняя плотность мейобентоса приурочена к кутовой части бухты. Соотношение основных групп мейобентоса указывает на более благоприятные условия для существования мейобентосных организмов в вершине бухты. В составе макрозообентоса отмечен 31 таксон. Численность макрозообентоса не превышает 1000 экз./м^2, биомасса на большинстве станций менее 20 г/м^2. В вершине бухты биомасса макробентоса на 1 – 2 порядка выше, чем на остальных участках бухты.

Севастопольские бухты являются тем полигоном, где отрабатываются методы санитарно-биологических исследований с учётом общих прогнозов экологической ситуации на Чёрном море и в Крымском регионе в особенности [11, 12]. В системе Севастопольских бухт особое место занимает бухта Южная. Бóльшая часть акватории бухты занята причальными стенками, на её берегах расположен ряд судоремонтных предприятий. Существенный вклад в загрязнение вод бухты вносят стоки ливневой канализации и аварийные береговые выпуски. Хроническое загрязнение приводит к накоплению загрязняющих веществ в донных осадках, а относительно высокая плотностная стратификация вод в бухте затрудняет поступление кислорода в нижележащие слои водной толщи, что приводит к развитию гипоксии [21] и снижает способность акватории к самоочищению. К тому же, Южная бухта непосредственно с открытым морем не сообщается, а открывается своим устьем в б. Севастопольская. Преобладающие в регионе Севастополя ветры северных, северо-восточных и восточных направлений запирают загрязнённые воды в Южной бухте, вследствие чего экологические условия в бухте на протяжении длительного времени остаются неблагоприятными [6]. Под влиянием продолжительных ветров южных направлений создаётся ситуация, когда загрязнённые воды из бухты Южная сгоняются и аккумулируются в основной части Севастопольской бухты [6]. Учитывая, что объём воды в бухте Южная составляет немногим менее 0,1 объёма вод в бухте Севастопольская, это оказывает негативное воздействие на экологическую обстановку в основной бухте региона.

Ещё в начале прошлого века акад. С. А. Зернов характеризовал бухту Южная как наиболее загрязнённую акваторию, прилегающую к Севастополю [5]. Вследствие значительного загрязнения донных осадков к началу 70-х и далее вплоть до середины 80-х годов XX века почти на всей акватории бухты живые организмы макрозообентоса отсутствовали [11]. За пятнадцатилетний период наблюдений здесь обнаружили только 13 видов макрозообентоса, большинство из которых встречались единично [12]. Дальнейший мониторинг в 1991 – 1997 гг. показал некоторое снижение уровня загрязнения донных осадков нефтяными углеводородами и одновременно рост видового разнообразия, численности и биомассы макрозообентоса [12]. Однако в начале XXI века количественные показатели развития макробентоса вновь снизились [1].

Уровни загрязнения донных осадков бухты нефтяными углеводородами и тяжёлыми металлами и в настоящее время превышают таковые для других акваторий Севастополя.

© С. В. Алёмов, Н. В. Бурдиян, Е. В. Гусева, Т. В. Шадрина, Л. В. Енина, Р. В. Сосновская, Н. Г. Волков, Е. А. Тихонова, 2007

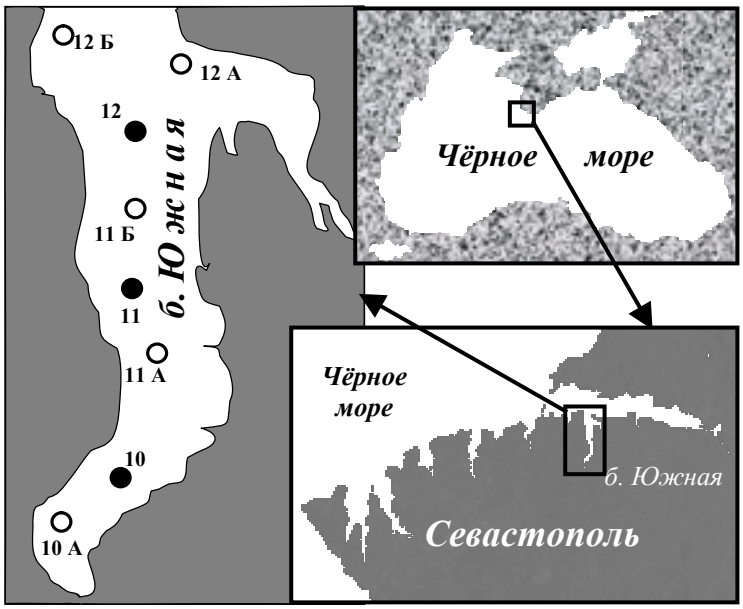

Рисунок 1. Схема станций отбора проб в бухте Южная, 2006 г.
Figure 1. The scheme of sampling stations in Yuzhnaya Bay, 2006

Об этом свидетельствуют как материалы систематического мониторинга [8, 12], так и данные отдельных исследований региона [9, 16, 22]. В последние годы на ряде участков акватории севастопольских бухт проводились дноочистительные работы, что могло привести к изменению характеристик донных осадков. В связи с этим, в июле 2006 г. при проведении плановой экологической съёмки акватории Севастополя проведено более детальное изучение донных осадков и населяющих их сообществ гидробионтов бухты Южная.

Материал и методы. В 2006 г. пробы донных осадков в бухте Южная отобраны на трёх постоянных станциях (ст. 10, 11, 12) многолетнего мониторинга акватории Севастополя [2] и пяти дополнительных станциях (10А, 11А, 11Б, 12А, 12Б) на глубинах от 7 до 15 м (рис. 1). Отбор проб макрозообентоса проводили дночерпателем с площадью захвата 0,038 м^2 в трёх повторностях. Донный осадок промывали через сито с диаметром отверстий 1 мм и фиксировали этанолом (96^0). Обработку фиксированного материала проводили в лабораторных условиях. Определяли видовой состав, численность и сырой вес организмов макрозообентоса (фиксированных спиртом). Взвешивание двустворчатых моллюсков проводили после их вскрытия и удаления фиксирующего раствора из мантийной полости. В программе DIVERSE пакета PRIMER–5 выполнен расчёт индексов разнообразия Шеннона (H') (использован логарифм по основанию 2), выравненности Пиелоу (J), доминирования Симпсона (C). Для оценки количественного развития зообентоса на основе регистрируемых значений численности (A) и биомассы (B) рассчитан комплексный количественный показатель (ABi) по формуле [2]:

$$ABi = \sqrt[2]{Ai * Bi}, \quad \text{где}$$

$$Ai = 10^{(1+\frac{A-1000}{A+1000})} \quad \text{и} \quad Bi = 10^{(1+\frac{B-100}{B+100})}$$

Одновременно с взятием проб для определения макрозообентоса, на каждой станции выполняли подъём ещё одной пробы для определения физико-химических характеристик донного осадка и отбора проб микро- и мейобентоса. С поверхности поднятого монолита грунта в трёх точках по вершинам равностороннего треугольника отбирались мейобентосные пробы стеклянной бюксой с диаметром отверстия 3,3 см и высотой 5 см, которые затем смешивались. Полученную пробу промывали через сито с диаметром отверстия 1 мм, осадок улавливался на мельничный газ. Разбор проб проводили под бинокуляром МБС–1 при увеличении х4 и х7. Данные по численности мейобентосных организмов пересчитывали на 1 м^2.

В донном осадке определяли натуральную влажность, pH, Eh, содержание хлороформ-экстрагируемых соединений (ХЭВ) и нефтяных углеводородов (НУ) по стандартным методикам [7, 10].

Общая численность гетеротрофных и нефтеокисляющих микроорганизмов определялась по ранее разработанным методикам [13]. Выделение тионовых и денитрифицирующих бактерий проводилась по методике, описанной в настоящем сборнике [3].

Результаты и обсуждение. Результаты некоторых физико-химических показателей донных осадков приведены в табл. 1. Для сравнения указаны показатели предыдущих съёмок, проведённых в 2000 и 2003 гг. Донные осадки представлены илом с различными включениями песка, камней и створок раковин. Наибольшее содержание песка отмечено на ст. 10 и, частично, на ст. 10А. Преобладание песка, естественно, сказалось на физических характеристиках грунта в данной точке. Появились признаки окисленности грунтов, что ранее на протяжении 30 лет в бухте Южная не наблюдалось, уменьшилась влажность донных осадков, произошёл некоторый сдвиг pH в щелочную сторону.

Таблица 1. Физические характеристики донных осадков в бухте Южная
Table 1. Physical characteristics of bottom sediments in Yuzhnaya Bay

№ станции	Год	Краткая характеристика донных осадков	Eh, мВ	pH	Натуральная влажность, %
10А	2006	Ил чёрный, с примесью песка, створки, запах H_2S	-29	7,99	59,73
10	2006	Песок чёрный, с примесью ила, крупные створки и мелкая ракуша, запах H_2S	+15	8,11	42,91
11А	2006	Ил чёрный, мягкий, камни, створки, резкий запах H_2S	-174	8,17	62,81
11	2006	Ил чёрный, мягкий, масляный блеск, створки, резкий запах H_2S	-179	8,22	71,74
11Б	2006	Ил чёрный, вязкий, камни, резкий запах H_2S	-179	8,55	71,10
12	2006	Ил тёмно-серый с примесью песка, масляный блеск, запах H_2S	-169	8,52	65,51
12А	2006	Ил чёрный мягкий, маслянистый блеск, резкий запах H_2S	-209	8,50	70,70
12Б	2006	Ил тёмно-серый, маслянистый блеск, с примесью песка, липкий, слабый запах H_2S	-122	8,00	54,67
10	2003	Ил чёрный, резкий запах H_2S, мазута, бытовой мусор	- 104	7,86	63,50
10	2000	Ил чёрный	-75	7,22	61,89

По показателям содержания соединений липидно-углеводородного комплекса (табл. 2) донные осадки относятся к V, самому высокому уровню загрязнения. Примерно половину липидно-углево-дородного комплекса составляют нефтяные углеводороды. Существенное снижение содержания ХЭВ и НУ отмечено в вершине бухты (ст. 10, 10А) и вблизи выхода из неё (ст. 12Б).

Таблица 2. Показатели загрязнения донных осадков бухты Южная, 2006 г.
Table 2. Pollution indices of bottom sediments in Yuzhnaya Bay in 2006

№ станции	ХЭВ, мг/100 г	НУ, мг/100 г	НУ от ХЭВ, %
10 А	1620,0	777,6	48,0
10	1320,0	607,2	46,0
11 А	2620,0	1310,0	50,0
11	2440,0	1146,8	47,0
11 Б	3000,0	1290,0	43,0
12	2700,0	1458,0	54,0
12 А	2400,0	1032,0	43,0
12 Б	1620,0	664,2	41,0

Общая численность гетеротрофных бактерий находилась в пределах 10^4 кл./г, и только на ст. 10 была в несколько раз меньше (табл. 3).

Численность нефтеокисляющих бактерий составляла от десятков до сотен клеток на грамм донных осадков. Следует

Таблица 3. Численность аэробных бактерий в донных осадках бухты Южная, 2006 г.
Table 3. Abundance of aerobic bacteria in bottom sediments (cell/g) of Yuzhnaya Bay in 2006

№ станции	Гетеротрофные бактерии, кл./г	Нефтеокисляющие бактерии, кл./г
10 А	$4,5 * 10^4$	$9,5 * 10^2$
10	$2,5 * 10^3$	$2,5 * 10^2$
11 А	$9,5 * 10^3$	$2,5 * 10$
11	$2,5 * 10^4$	$2,5 * 10$
11 Б	$2,5 * 10^4$	$9,5 * 10$
12	$2,5 * 10^4$	$9,5 * 10$
12 А	$1,5 * 10^4$	$9,5 * 10^2$
12 Б	$2,5 * 10^4$	$4,5 * 10$

подчеркнуть, что, по сравнению со съёмками 70 – 80-х годов прошлого столетия, численность нефтеокисляющих бактерий снизилась в сотни раз, что, на наш взгляд, связано с уменьшением попадания свежих нефтепродуктов в донные осадки.

Группа анаэробных бактерий представляет значительный интерес в санитарно-биологическом отношении. В связи с трудоёмкостью выделения, эти микроорганизмы определялась только на двух станциях: ст. 10 в вершине и ст. 12 у выхода из бухты. В вершине бухты численность анаэробных групп бактерий, по сравнению с 2003 г., возросла на несколько порядков (табл. 4). На выходе из бухты численность тионовых бактерий в 2006 г. сопоставима с их количеством, выделенным в вершине бухты. Численность денитрификаторов составила 150 кл./г, сульфатредукторов – 950 кл./г. Повторный отбор пробы донного осадка на ст. 10 в ноябре 2006 г. показал, что численность исследуемых групп бактерий практически не отличалась или разница составила один порядок величин от результатов, полученных в июле (табл. 4). В ноябре образец грунта представлял собой монолит ила чёрного цвета с поверхностным слоем светлого песка, толщиной 3 – 5 мм, тогда как летом осадок состоял из жёлтого песка с илом.

Таблица 4. Численность анаэробных бактерий в донных осадках бухты Южная на ст. 10
Table 4. Abundance of anaerobic bacteria (cell/g) in bottom sediments on the station 10 in Yuzhnaya Bay

Год, месяц	Денитрифицирующие, кл./г	Тионовые, кл./г	Сульфатредукторы, кл./г
2006 Июль	3000	250000	250
2006 Ноябрь	2500	45000	150
2003 Июль	150	450	25

При выгрузке содержимого дночерпателя в ёмкость, как правило, происходит разрушение монолита донного осадка. Поэтому, помимо традиционно отобранной пробы (из трёх точек образца) для микробиологического анализа, в ноябре 2006 г. стерильным шпателем отобрали ещё две пробы. Проба 10-1 представляла чёрный ил из середины монолита, проба 10-2 – соскоб верхнего слоя донного осадка. В слое чёрного ила денитрификаторы не обнаружены, в поверхностном слое их численность составила 9500 кл./г. Численность сульфатредуцирующих бактерий в середине монолита выше, чем в поверхностном слое донного осадка (соответственно 450 и 250 кл./г), количество тионовых бактерий ниже (соответственно 950 и 30000 кл./г).

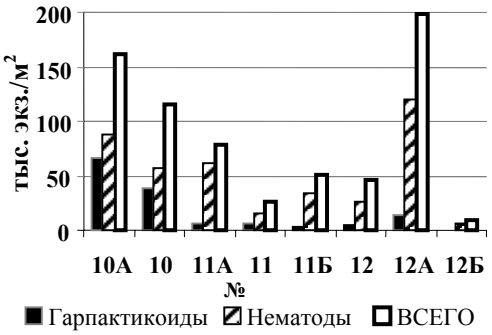

Рисунок 2. Пространственное распределение численности мейобентоса и его основных групп в бухте Южная, 2006 г.
Figure 2. Spatial distribution of abundance and meiobenthos main groups in Yuzhnaya Bay in 2006

Плотность мейобентосного населения изменялась в диапазоне 9,5 – 197,8 тыс. экз./м^2, а среднее значение численности по бухте составило 85,6 ± 23,7 тыс. экз./м^2. Максимальная численность организмов зарегистрирована на ст. 12А, минимальная – на ст. 12Б (рис. 2).

Однако наибольшая средняя плотность приурочена к кутовой части бухты (138,5 ± 23,3 тыс. экз/м^2). По мере продвижения к центральной части средняя плотность уменьшилась – 51,4 ± 15,2 тыс. экз./м^2, а в устьевой возросла – 84,7 ± 57,9 тыс. экз./м^2.

В составе мейобентоса обнаружено 9 таксономических групп животных, но их представленность по бухте различна. Нематоды, гарпактикоиды и олигохеты встречены на всех станциях, полихеты и остракоды – на 7 станциях из 8. Остальные – немертины, кумовые, киноринхи, книдарии – зарегистрированы на 1 – 4 станциях. Максимальное разнообразие мейобентоса отмечено на ст. 12а (9 групп), минимальное – на ст. 11а (4 группы).

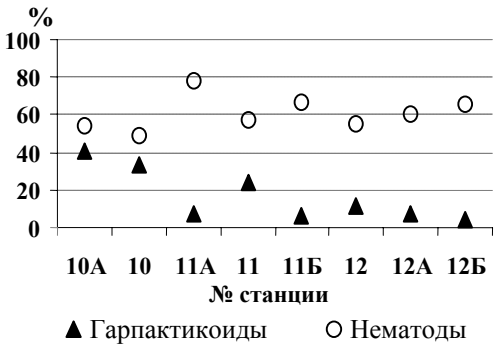

Рисунок 3. Относительная численность основных групп мейобентоса в бухте Южная, 2006 г.
Figure 3. Relative abundance of main meiobenthos groups in Yuzhnaya Bay in 2006

Соотношение основных групп мейобентоса – гарпактикоид и нематод – изменялось при продвижении от вершины бухты к её устью (рис. 3). В кутовой части доля гарпактикоид составила 36,9 ± 3,8 %, нематод – 52,0 ± 2,6 %. В центре бухты это соотношение было 12,5 : 67,4 (ошибка средней 5,9 и 6,0 % соответственно), в устье – 7,3 : 60,4 (ошибка средней 2,1 и 2,98 % соответственно). По соотношению основных групп можно предположить, что наиболее благоприятные условия для существования мейобентосных организмов в настоящее время сложились в вершине бухты, ухудшаясь по мере продвижения к выходу из неё.

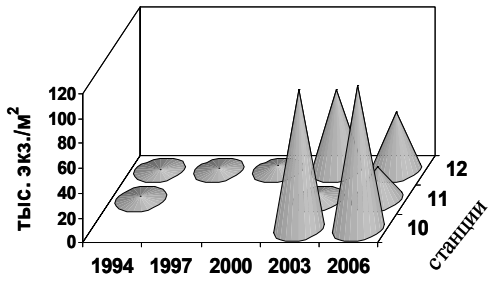

Рисунок 4. Многолетняя динамика плотности мейобентоса в бухте Южная
Figure 4. Long-term dynamics of meiobenthos density in Yuzhnaya Bay

В течение длительного периода в пробах донных осадков бухты Южная мейобентосные организмы встречались единичными особями, а на ст. 10 вплоть до 2003 г. не были обнаружены ни разу (рис. 4). В 2003 г. наблюдалась вспышка численности мейобентоса по всем бухтам Севастополя [4], в том числе и в Южной. Максимальная плотность (как и в 2006 г.) была обнаружена в кутовой части бухты, минимальная – в центре.

В составе макрозообентоса в 2006 г. отмечен 31 таксон, в том числе Crustacea – 8 видов, Polychaeta – 7, Mollusca – 16 (Gastropoda – 7, Bivalvia – 9). В составе донной фауны преобладают моллюски (рис. 5), что неоднократно отмечалось и на других участках прибрежья в районе Севастополя [19, 20], крымского побережья [18] и северо-западной части Чёрного моря [15].

На большинстве станций количество видов составляло 3 – 10, лишь на ст. 10 найдено 22 вида (табл. 5). Формализованные показатели разнообразия (индекс Шеннона) на ст. 10 также

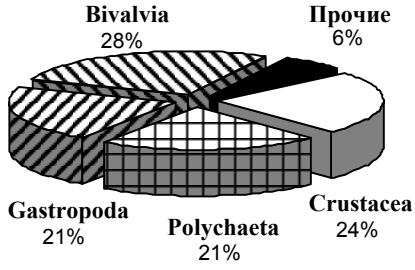

Рисунок 5. Вклады крупных таксономических групп в разнообразие макрозообентоса в бухте Южная, 2006 г.
Figure 5. Contributions of large taxonomic groups to macrobenthos diversity in Yuzhnaya Bay, 2006

Таблица 5. Показатели разнообразия макрозообентоса в бухте Южная в 2006 г.
Table 5. The indexes of macrozoobenthos diversity in Yuzhnaya Bay in 2006

Станция	Число видов	Показатели разнообразия					
		По численности			По биомассе		
		H'	J'	C	H'	J'	C
10a	10	2,11	0,64	0,34	1,17	0,35	0,50
10	22	3,65	0,82	0,12	2,72	0,61	0,20
11a	8	2,25	0,75	0,29	1,03	0,34	0,51
11	5	1,52	0,66	0,49	0,30	0,13	0,92
11b	9	3,03	0,96	0,13	0,86	0,27	0,76
12	9	2,24	0,71	0,30	0,90	0,28	0,71
12a	3	1,50	0,95	0,38	0,07	0,05	0,98
12b	8	1,92	0,64	0,41	1,76	0,59	0,44

выше, чем на остальной акватории бухты, как за счёт большего числа видов, так и большей выравненности распределения биомассы и численности (индекс Пиелоу) и менее выраженного доминирования (индекс Симпсона). Структура сообществ зообентоса на этой станции существенно отличается от остальных районов бухты и более характерна для слабо загрязнённых участков побережья (рис. 6). В целом, сообщества макробентоса бухты в настоящее время характеризуются более низкими показателями разнообразия, по сравнению с другими акваториями региона Севастополя [1, 12].

Из общего состава только 10 видов встречались более чем на 30 % станций. Состав основных видов макробентоса бухты за последние годы существенно не изменился: все виды, встреченные в 2006 г. более чем на трети станций, отмечались в составе донных сообществ в последние 15 лет (табл. 6). Вместе с тем, в 2006 г. здесь впервые за более чем тридцатилетний период наблюдений обнаружен ряд видов: *Cardiophilus baeri* (G. O. Sars), *Gouldia minima* (Montagu), *Microdeutopus grillotalpa* A. Costa, *Modiolus adriaticus* (Lamark), *Pitar rudis* (Poli), *Rapana venosa* (Valenciennes), *Upogebia pusilla* (Petagna), *Rissoa membranacea* Adams, *Iphinoe tenella* G. O. Sars, *Diogenes pugilator* Roux.

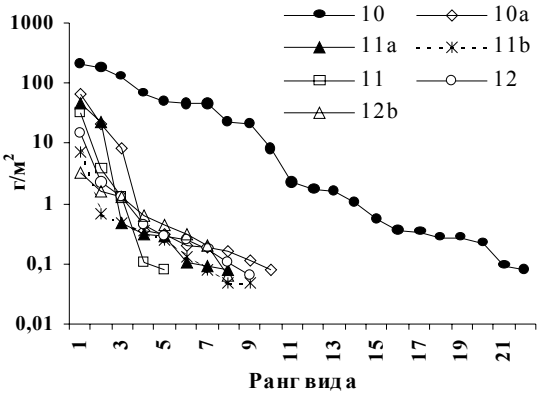

Рисунок 6. Ранжированные кривые биомассы макрозообентоса на станциях в бухте Южная в 2006 г.
Figure 6. Ranked species biomass curves for macrobenthos on the stations in Yuzhnaya Bay in 2006

Первые семь из них найдены

Таблица 6. Встречаемость основных видов макрозообентоса в бухте Южная
Table 6. The occurrence of main macrozoobenthos species in Yuzhnaya Bay

Вид	2006 г. (%)	Встречаемость в предыдущие периоды (год)
Polydora ciliata (Johnston)	87,5	1991, 1997, 2000, 2003, 2004, 2005
Heteromastus filiformis (Claparède)	87,5	2000, 2003, 2004, 2005
Hydrobia acuta (Draparnaud)	75,0	1991, 1994, 1997, 2003, 2005
Cerastoderma glaucum Poiret	62,5	1991, 1994, 1997, 2000, 2003, 2004, 2005
Iphinoe elisae (Bacescu)	50,0	1994, 1997, 2000, 2003, 2004, 2005
Abra ovata (Philippi)	37,5	1991, 1994, 1997, 2000, 2003, 2004, 2005
Nassaruis reticulatus (Linnaeus)	37,5	1991, 1994, 1997,2003, 2004, 2005
Capitella capitata (Fabricius)	37,5	1991, 2000, 2003, 2004
Mytilaster lineatus (Gmelin)	37,5	2000, 2003, 2005
Nemertini	37,5	2003, 2004, 2005

на ст. 10. Интересно отметить, что на этой станции найдены взрослые особи *G. minima, M. adriaticus, P. rudis*, которые обычно обитают в относительно чистых или слабозагрязнённых районах и охарактеризованы Н. Ю. Миловидовой [14] как чувствительные или средне устойчивые загрязнению. Их обнаружение в данном участке можно связать с существенным изменением характеристик донных осадков и, очевидно, со снижением загрязнённости воды в бухте в предыдущие 3 – 4 года. В частности, в 2000 – 2003 гг. в бухте отмечалось снижение смертности зоопланктона, в том числе и личинок [17]. Кроме того, на ст. 10 найдена взрослая особь *U. pusilla.* Ранее, в 2003 – 2005 гг., послеличиночные стадии данного вида встречались нами на различных участках Севастопольской бухты от вершины до устья.

Количественные показатели развития макрозообентоса в целом невелики: на большинстве станций биомасса менее 10 г/м^2, численность не более 1000 экз./м^2 (рис. 7).

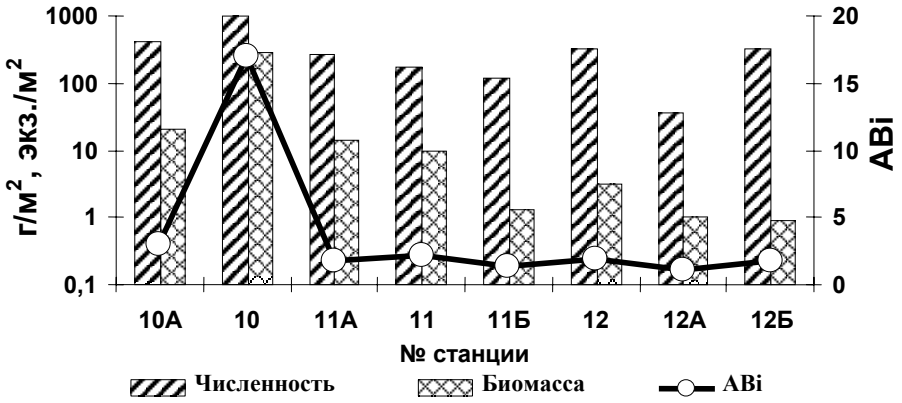

Рисунок 7. Численность, биомасса макрозообентоса и значения индекса ABi в бухте Южная, 2006 г.
Figure 7. Abundance and biomass of macrozoobenthos and ABi index in Yuzhnaya Bay in 2006

Значительное увеличение биомассы зообентоса выявлено на станции 10 (278,5 г/м^2), где донные осадки имели нетипичные для бухты характеристики (см. табл. 1, 2) и, возможно, в предыдущие годы проводились мероприятия по очистке дна. Наибольшие значения биомассы были у *Mytilus galloprovincialis* Lmk. (97,0 г/м^2), *T. reticulata* (55,4), *R. venosa* (32,2), *C. glaucum* (26,5), *U. pusilla* (20,8), *M. adriaticus* (19,5), *P. rudis* (16,2 г/м^2). По сравнению с 2003 г., в этой точке почти на два порядка увеличилась биомасса и вдвое – численность и видовое богатство бентоса. На остальной акватории бухты наибольшая средняя биомасса (2,4 – 0,8 г/м^2) отмечена у *T. reticulata, C. glaucum, Balanus improvisus* Darwin и *M. galloprovincialis*. Наибольшие значения средней численности регистрировались для *H. filiformis* (67 экз./м^2) и *H. acuta* (51 экз./м^2). Как отмечалось выше (см. табл. 6), эти виды встречались практически по всей бухте.

Величина индекса ABi на большинстве станций не превышает 2, повышаясь до значения 3 в вершине бухты и лишь на ст. 10 превышает значение 10 (см. рис. 7). Это, с одной стороны, в целом характеризует бухту как зону с преобладанием видов-оппортунистов [2], а с другой может указывать на тенденцию улучшения состояния донных сообществ в вершинной части бухты. Последний факт подтверждается, в частности, и результатами анализа численности и состава сообществ мейобентоса (см. выше).

Количественные показатели развития сообществ макробентоса и показатели разнообразия достаточно тесно связаны с характеристиками донных осадков (табл. 7). Так, численность и биомасса бентоса в наибольшей степени проявляют положительную корреляцию с величиной окислительно-восстановительного потенциала в донных осад ных осадках и отрицательную с величиной натуральной влажности осадков.

Таблица 7. Связь количественных характеристик и индексов разнообразия макрозообентоса с показателями донных осадков (коэффициент корреляции) в бухте Южная, 2006 г.
Table 7. Correlation of quantitative characteristics and diversity indexes of macrozoobenthos with characteristics of bottom sediments in Yuzhnaya Bay, 2006

Зообентос	Донные осадки				
	Eh	pH	Натуральная влажность	ХЭВ	НУ
Численность	0,90	-0,52	-0,93	-0,74	-0,60
Биомасса	0,76	-0,30	-0,80	-0,61	-0,55
Число видов	0,67	-0,48	-0,27	-0,46	-0,36
ABi	0,78	-0,32	-0,82	-0,64	-0,57
H' (численность)	0,59	-0,01	-0,60	-0,21	-0,20
J' (численность)	-0,29	0,69	0,25	0,41	0,22
C (численность)	-0,39	-0,23	0,40	-0,01	0,01
H' (биомасса)	0,83	-0,56	-0,96	-0,72	-0,65
J' (биомасса)	0,73	-0,64	-0,91	-0,69	-0,62
C (биомасса)	-0,83	0,68	0,94	0,71	0,60

В несколько меньшей степени они связаны с содержанием ХЭВ и НУ в грунте, что может объясняться общим очень высоким уровнем загрязнённости осадков. Следует отметить, что индекс выравненности Пиелоу, рассчитанный по биомассе, проявляет отрицательную корреляцию с содержанием загрязняющих веществ, а рассчитанный по численности – положительную, хотя и небольшую. Это является следствием того, что при возрастании уровня загрязнения донных осадков на фоне общего снижении числа видов в сообществе, большинство видов встречается в единичных экземплярах, что и выражается в увеличении выравненности по численности. В последние годы при определенной стабильности уровня загрязнения донных осадков средние значения показателей развития сообществ макрозообентоса в бухте существенно не различаются (рис. 8).

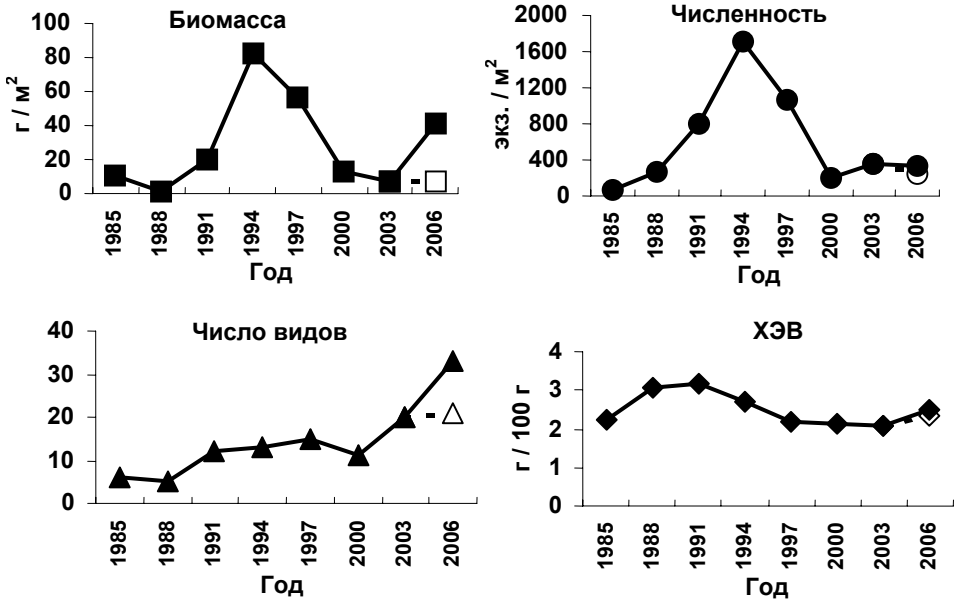

Рисунок 8. Многолетняя динамика количественных характеристик макрозообентоса и содержания ХЭВ в донных осадках бухты Южная (светлыми маркерами обозначены средние значения в 2006 г. без учёта ст. 10)
Figure 8. Long-term dynamics of macrozoobenthos quantitative characteristics and chloroform-extracted compounds content in bottom sediments in Yuzhnaya Bay (light markers designate an average values in 2006 without station 10)

Это особенно заметно, если расчёт средних значений в 2006 г. проводить без учета ст. 10, где характеристики донных осадков и зообентоса в целом нетипичны для данного региона. Однако, если величины биомассы и численности в 2000 – 2006 гг. значительно ниже, чем в 90-х годах XX века, то видовое богатство зообентоса продолжает расти. Очевидно, в последние 15 лет происходит адаптация донных сообществ к суровым условиям в бухте, чему способствовало снижение интенсивности загрязнения донных осадков в середине 90-х годов прошлого века и в начале XXI века. Появление на локальных участках бухты поселений фильтраторов (митилид) создает дополнительные возможности для выживания различных видов и также приводит к увеличению биоразнообразия.

Заключение. 1. Проведенные санитарно-экологические исследования показали, что уровни нефтяного загрязнения донных осадков Южной бухты остаются в настоящее время очень высокими. Снижение концентраций хлороформ-экстрагируемых соединений и нефтяных углеводородов отмечено только в вершинной части бухты, особенно на ст. 10. При этом регистрируется снижение натуральной влажности донных осадков и рост окислительно-восстановительного потенциала вплоть до положительных значений, что ранее на протяжении 30 лет в бухте Южная не наблюдалось. **2.** Распределение аэробных микроорганизмов по бухте достаточно равномерно. Их численность (10^3 – 10^4 кл./г), по сравнению с 2003 г., существенно не изменилась. Численность анаэробных групп бактерий возросла: денитрифицирующих и сульфатредукторов на порядок величин, а тионовых – в тысячу раз (до 2,5 * 10^4 кл./г). По сравнению со съёмками 70 – 80 годов прошлого столетия, численность нефтеокисляющих бактерий снизилась в сотни раз. Возможно, это связано с уменьшением поступления свежих нефтепродуктов в донные осадки. **3.** С 2003 г. в бухте наблюдается рост численности мейобентоса, по сравнению 80 – 90 годами XX века. В 2006 г. показатели численности мейобентоса (9,5 – 197,8 тыс. экз./м^2) в целом соответствовали величинам 2003-го года. Сохранились и общие тенденции в распределении плотности мейобентосных организмов: максимальная плотность обнаружена в кутовой части, минимальная – в центре бухты. Соотношение основных групп мейобентоса указывает на более благоприятные условия для существования мейобентосных организмов в вершине бухты. **4**. Состав основных видов и количественные характеристики макрозообентоса не претерпели существенных изменений, по сравнению с 2000 – 2003 гг. Вместе с тем, наблюдается тенденция роста видового богатства зообентоса в бухте на протяжении последних 15 – 20 лет. На фоне невысоких значений численности и биомассы зообентоса, бедности видового состава на большинстве станций, выделяется ст. 10 в вершине бухты. В этой точке биомасса зообентоса на 1 – 2 порядка больше, чем на остальных участках бухты, а в состав сообщества входит около 70 % от общего числа видов, обнаруженных в бухте. Физико-химические характеристики донных осадков на ст. 10 существенно отличаются от остальных участков бухты, что может быть следствием проведенных дноочистительных работ.

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что в условиях снижения интенсивности поступления загрязняющих веществ в акваторию бухты наблюдается восстановление донных сообществ. При проведении мероприятий по очистке донных осадков эти процессы могут протекать значительно быстрее, чем в случае естественного восстановления сообществ в районах с высоким уровнем загрязнения морской среды.

1. *Алёмов С. В.* Сообщества макрозообентоса в регионе г. Севастополя: современное состояние и многолетние тренды // Наук. зап. Тернопільського нац-го педагог. університету ім. В. Гнатюка. Сер.: Біологія. Спец. вип. “Гідроекологія”. – 2005. – № 4(27). – С. 7 – 9.
2. *Алёмов С. В.* Некоторые методические аспекты расчёта «индекса биологического качества» (BQI) / Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы исследований: Матер. Междунар. науч. конф., 24-27 июля 2006 г. – Херсон, 2006. – с. 6 – 9.

3. *Бурдиян Н. В.* Экспериментальное изучение развития тионовых и денитрифицирующих бактерий в анаэробных и аэробных условиях // Экология моря. – 2007. – Вып. 73. – С. .
4. *Гусева Е. В.* Мейобентос илистых донных осадков некоторых севастопольских бухт (Чёрное море) в период с 1994 по 2003 гг. // Экология моря. – 2004. – Вып. 66. – С. 37 – 41.
5. *Зернов С. А.* К вопросу об изучении жизни Чёрного моря. – Записки Импер. Акад. Наук, сер. 8. – 1913. – **32**, № 1.– 283 с.
6. *Иванов В. А., Овсяный Е. И., Репетин Л. Н.* и др. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. – МГИ НАН Украины. – Севастополь, 2006. – 91 с.
7. *Кирюхина Л. Н.* Влияние гранулометрического состава донных осадков на накопление аллохтонных углеводородов // Экология моря. –1982. – Вып. 10. – С. 36 – 39.
8. *Кирюхина Л. Н., Миронов О. Г.* Химическая и микробиологическая характеристика донных осадков Севастопольских бухт в 2003 г. // Экология моря. –2004. – Вып. 66. – С. 53 – 58.
9. *Костова С. К., Плотицина О. В.* Анализ состояния загрязнения ртутью прибрежных акваторий Крыма / Проблемы биологической океанографии XXI века: Тез. докл. междунар. науч. конф., посвящённой 135-летию ИнБЮМ (19-21 сент. 2006 г., Севастополь, Украина).– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – С. 98.
10. Методы исследования органического вещества в океане. – М.: Наука. – 1980. – 343 с.
11. *Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н.* Черноморский макрозообентос в санитарно-биологическом аспекте. – Киев: Наукова думка. – 1985. – 101 с.
12. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В.* Санитарно-биологические аспекты экологии Севастопольских бухт в XX веке. – НАН Украины, ИнБЮМ. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2003. – 185 с.
13. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Кучеренко М. И.* и др. Самоочищение в прибрежной акватории Чёрного моря. – К.: Наук. Думка, 1975. – 142 с.
14. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Миловидова Н. Ю.* и др. Влияние нефти и нефтепродуктов на морские организмы и их сообщества. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 136 с. (Проблемы химического загрязнения Мирового океана, т.4)
15. *Михайлова Т. В.* Некоторые данные по макрозообентосу филлофорного поля Зернова (Чёрное море) // Экология моря. – 2001. – Вып. 59. – С. 26 – 30.
16. *Овсяный Е. И., Романов А. С., Игнатьева О. Г.* Распределение тяжёлых металлов в поверхностном слое донных осадков Севастопольской бухты // Морск. экол. журн. – 2003. – **2**, 2. – С. 85 – 93.
17. *Павлова Е. В., Мельникова Е. Б.* Выживаемость зоопланктона в прибрежье у Севастополя // Наук. зап. Тернопільського нац-го педагог. університету ім. В. Гнатюка. Сер.: Біологія. Спец. вип. “Гідроекологія”. – 2005. – № 4 (27). – С. 166 – 168.
18. *Ревков Н. К., Болтачева Н. А., Николаенко Т. В., Колесникова Е. А.* Биоразнообразие зообентоса рыхлых грунтов крымского побережья Чёрного моря // Океанология. – 2002. – **42,** № 4. – С. 561 – 571.
19. *Ревков Н. К., Валовая Н. А., Колесникова Е. А.* и др. К вопросу о реакции черноморского макрозообентоса на эвтрофирование // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. – НАН Украины, МГИ. – Севастополь, 1999. – С. 199 – 212.
20. *Ревков Н. К., Сергеева Н. Г., Болтачёва Н. А.* и др. Зообентос в условиях хронического техногенного загрязнения: состав и структурная организация (на примере Севастопольской бухты, Чёрное море) / Проблемы биологической океанографии XXI века: Тез. докл. междунар. науч. конф., посвящённой 135-летию ИнБЮМ (19-21 сент. 2006 г., Севастополь, Украина).– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – С. 33.
21. *Репетин Л. Н., Гордина А. Д., Павлова Е. В.* и др. Влияние океанографических факторов на экологическое состояние Севастопольской бухты (Чёрное море) // Морской гидрофизический журн.– 2003. – № 2. – С. 66 – 80.
22. *Osadchaya T. S., Ovsyani E. I., Kemp R.* et al Organic carbon and oil hydrocarbons in bottom sediments of Sevastopol Bay (Black Sea) // Морск. экол. журн. – 2003. – **2**, 2. – С. 94 – 101.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
г. Севастополь

Получено 10.02.2007

S. V. ALYOMOV, N. V. BURDIYAN, E. V. GUSEVA,
T. V. SHADRINA, L. V. ENINA, R. V. SOSNOVSKAYA,
N. G. VOLKOV, E. A. TIKHONOVA

SANITARY-ECOLOGICAL INVESTIGATIONS OF SEVASTOPOL AQUATORIA (BLACK SEA)

Summary

Distribution of the bacterio-, meio- and macrozoobenthos depending on physical-chemical characteristics of the Yuzhnaya Bay bottom sediments has been analyzed. The content of oil hydrocarbons varied from 607,2 to 1458,0 mg/100 g of dry sediment. Decrease of hydrocarbons concentrations was observed in the top of bay. Total abundance of heterotrophic bacteria was in the range of 10^4 cells/g; the density of meiobenthos population is changed from 9500 to 197800 ind./m^2. The most values of average density and correlation of main groups indicate that the more favourable conditions for meiobenthos organisms are in the top of Southern bay. Macrozoobenthos includes 31 taxa; an abundance did not exceed 1000 ind./ m^2. Biomass on the majority of sites was under 20 g/ m^2 but the most values (on 1 – 2 orders higher) were observed in the top of bay.