



УДК 574.587:551.465.8 (262.5)

В. Е. Заика, чл.-корр. НАН Украины, гл. науч. сотр., **Е. А. Иванова**, вед. инж.

Н. Г. Сергеева, докт. биол. наук, зав. отделом,

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

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕЙОБЕНТОСА В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ С АНАЛИЗОМ ВЛИЯНИЯ ДОННОЙ ГИПОКСИИ

Изучено распределение, сезонная динамика мейобентоса и реакция на колебания гипоксии в трех точках Севастопольских бухт. Проведено сравнение с реакцией макробентоса на гипоксию. Во многих группах бентоса общая численность снижается с приближением сероводорода в грунте к поверхности. При низком обилии группы эта разница менее заметна. У нематод, наоборот, численность тем выше, чем ближе к поверхности граница сероводорода. Более детальные сведения можно получить, если вместо групп сравнивать конкретные виды.

Ключевые слова: Чёрное море, мейобентос, локальные и сезонные различия, гипоксия

В придонных морских водах гипоксия встречается нередко. Так, низким содержанием кислорода характеризуются большие водные пространства ниже галоклина в Балтийском море, а его прибрежные области тоже испытывают дефицит кислорода, особенно после весеннего цветения фитопланктона [12]. Сильное воздействие гипоксии наблюдается во фьордах Швеции [7]. Особенно часто недостаток кислорода отмечается в эстуарных водах разных частей Мирового океана [8, 15]. Известно, что донные животные имеют видовые различия в своих реакциях на гипоксию, но если сравнивать размерные группы, то мейофауна, в целом, к гипоксии менее чувствительна, чем макрофауна [7, 11, 13].

В Чёрном море, помимо постоянной аноксии в громадном объёме глубинных вод, регистрируется изменчивое по сезонам явление придонного кислородного дефицита в мелководных прибрежных районах. Недостаточное насыщение вод кислородом наблюдается в придонном слое Севастопольских бухт. Здесь степень кислородного дефицита изменчива, имеет сезонные колебания [3, 5]. При исследовании верхнего слоя грунта выявлено, что вертикальное распределение кислорода и граница появления сульфидов в грунте б. Севастопольская тоже изменчивы [4].

В совместном исследовании химиков и биологов [1] показано, что в зависимости от сезона

и места наблюдения граница появления сульфидов располагается от поверхности грунта до глубины > 60 мм. Ранжированный по глубине появления сероводорода ряд данных, принятый в качестве косвенного показателя степени гипоксии, сопоставили с численностью макробентоса. Установлено, что общая численность макробентоса снижается по мере приближения сероводорода к поверхности грунта, при этом реакция разных таксономических групп неодинакова [1].

В период упомянутого выше совместного исследования в рамках ЕС проекта 7th FP "In situ monitoring of oxygen depletion in hypoxic ecosystems of coastal and open seas, and land-locked water bodies" (HYPOX, #226213) (<http://www.hypox.net/>) были получены материалы не только по макро-, но и по мейобентосу [1]. В настоящей статье проведено сравнение общей численности мейобентоса в трёх исследованных точках, даётся анализ его сезонных изменений, в частности в связи с глубиной границы сероводорода в грунте. Реакция мейобентоса на гипоксию сравнивается с таковой макробентоса.

Материал и методы. Материал собран в районе г. Севастополя в трех точках (на микрополигонах), отличающихся характером и степенью антропогенной нагрузки (рис.1). Первая точка (1) расположена в бухте Омега, вторая (2), условно

названная «внешний рейд», – на севастопольском взморье и служит контролем. Третья точка (3) расположена в Севастопольской бухте, у входа в Южную бухту. Детальная экологическая характеристика мест сбора материала дана в работе по макробентосу [1].

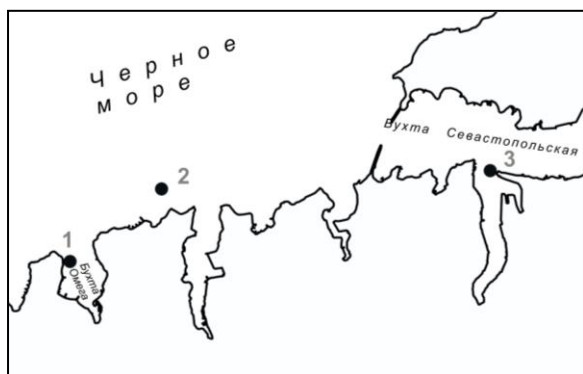


Рис. 1 Схема отбора проб в бухтах Севастополя. 1 – бухта Омега (Круглая), 2 – Внешний рейд, 3 – Севастопольская бухта (у входа в Южную бухту)

Fig. 1 Sampling sites in the Sevastopol Bays: 1 – Omega Bay (Kruglaya), 2 – “Outer road”, 3 – Sevastopol Bay (at an input in the Yuzhnaya Bay)

Точки отбора проб различались по глубине: в б. Омега 8 – 10 м, на внешнем рейде 18 – 21 м, в б. Севастопольская 11 – 16 м. Сбор материала проводи-

ли в различные сезоны года с 23 июля 2009-го по 8 июля 2010 г. За этот период получено 23 пробы бентоса и 15 проб для химических анализов.

Отбор колонок грунта для изучения бентоса выполнял водолаз трубчатым мейобентосным пробоотборником, площадью 18.1 см² и высотой 5 см. Пробоотборник *in-situ* герметично закрывался. Пробы брали в трех повторностях. В лаборатории пробы грунта промывали через сита, верхнее сито имело диаметр ячеей 1 мм, нижнее – 63 мкм. Животных, как одноклеточных, так и многоклеточных, задержанных нижним ситом, считали мейобентосом.

Химические параметры (концентрации кислорода и сероводорода) измеряли в поровой воде полярографически, с использованием стеклянного Au-Hg микроэлектрода [1].

Результаты и обсуждение. Сезонная динамика обилия мейофауны. Данные для трёх исследованных точек, усреднённые по месяцам, показывают большие сезонные и локальные различия общей численности (табл.1, рис. 2). Обратим внимание на два пика численности, в которых она превышала 1 млн. экз./м² в июле 2009-го (б. Севастопольская и «внешний рейд») и в мае 2010 г. (б. Омега).

Табл. 1 Общая численность мейобентоса (экз./м²) в трех точках
Table 1 Total meiobenthos density (ind./m²) for three studied sites

Точка/ Дата	07. 2009	09. 2009	10. 2009	12. 2009	01. 2010	03. 2010	05. 2010	07. 2010
Б. Севастопольская	1 197 656	111 136	184 000	354 936	74 888	84 272	-	426 696
«Внешний рейд»	1 139 880	449 144	161 184	308 016	159 528	90 712	320 896	286 856
Б. Омега	160 816	188 968	338 192	170 016	313 536	251 712	1053 400	176 088

При сравнении обилия по основным таксономическим группам видно, что главный вклад в июльский пик 2009 г. в б. Севастопольская внесли нематоды (рис. 3), а на внешнем рейде – гарпактикоиды (рис. 4). Известно, что названные группы мейобентоса доминируют во многих морских акваториях, но 60 % майского пика 2010 г. составили одноклеточные животные (мягкоракоевидные фораминиферы и *Grotia* sp.), тогда как вклад нематод и гарпактикоид в сумме не превышал 30 %. В точке «внешний рейд» во всех пробах независимо от сезона доминировали гарпактикоиды, тогда как в б.

Севастопольская постоянно доминировали нематоды. В б. Омега в 2009 г. в 3 пробах из 4-х доминировали нематоды, тогда как в 2010 г. доминирование перешло к фораминиферам и громиидам.

Как видно, в пределах района исследований существуют заметные различия в локальном доминировании групп. На локальные различия накладываются сезонные изменения обилия основных звеньев мейофауны. Возможно, сказываются и несовпадения периодов массового размножения разных таксономических групп.

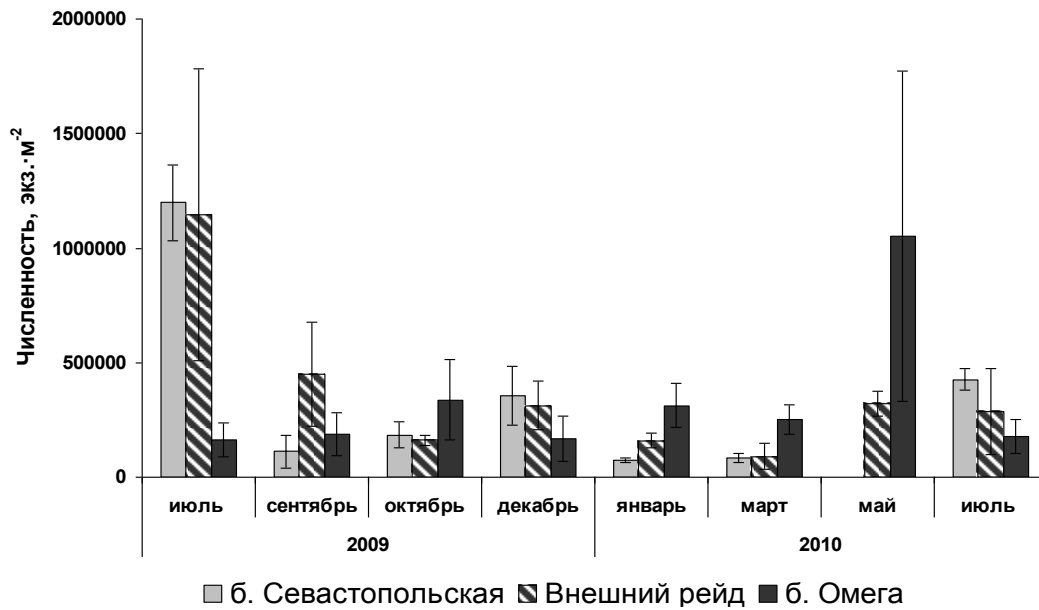


Рис. 2 Динамика общей численности мейофауны (со стандартным отклонением) в трех исследованных точках Севастопольских бухт

Fig. 2 Total meiobenthos density with standard deviations from three studied locations of Sevastopol Bays

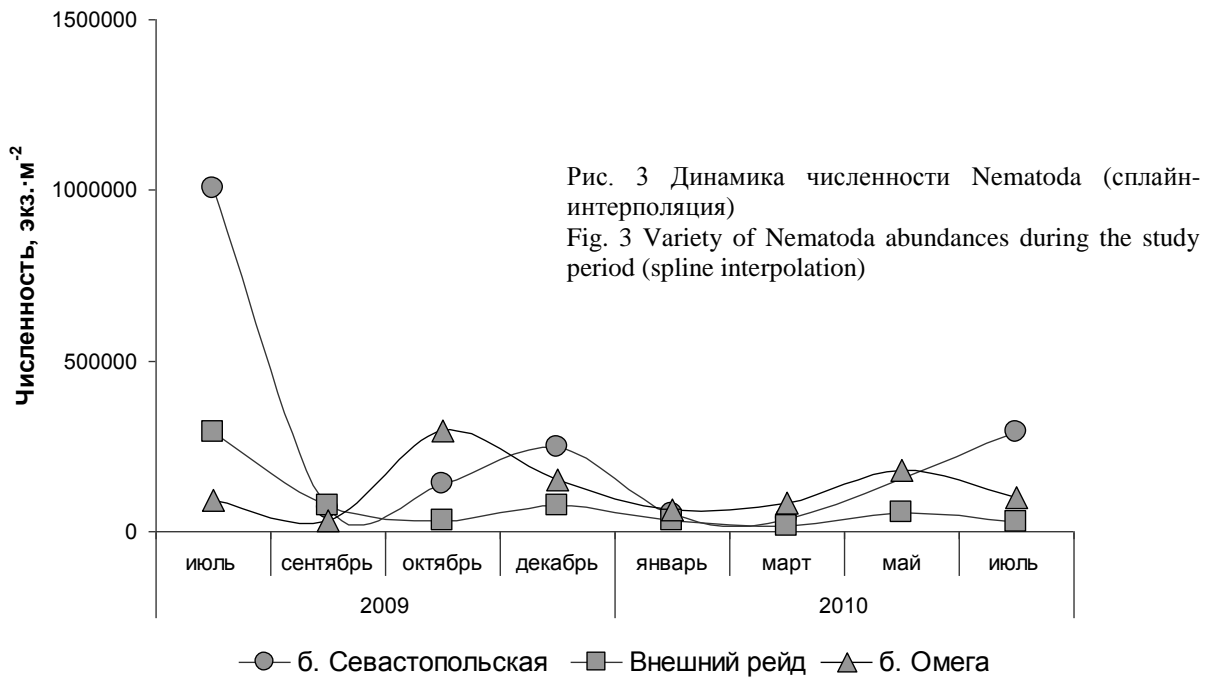


Рис. 3 Динамика численности Nematoda (сплайн-интерполяция)

Fig. 3 Variety of Nematoda abundances during the study period (spline interpolation)

Реакция мейобентоса на гипоксию. Для анализа использовали 23 пробы мейобентоса, для которых были одновременно получены результаты химических исследований. Полученные данные по вертикальному распределению H_2S в грунте показали, что наиболее резкие колебания его величин по глубинам наблюдались в б. Омега [1]. В качестве индикатора, от-

ражающего уровень гипоксии непосредственно в грунте, после предварительного анализа результатов по всем точкам было решено использовать глубину появления сероводорода. На основании изменения концентраций H_2S в колонках грунта был составлен ранжированный ряд (табл. 2).

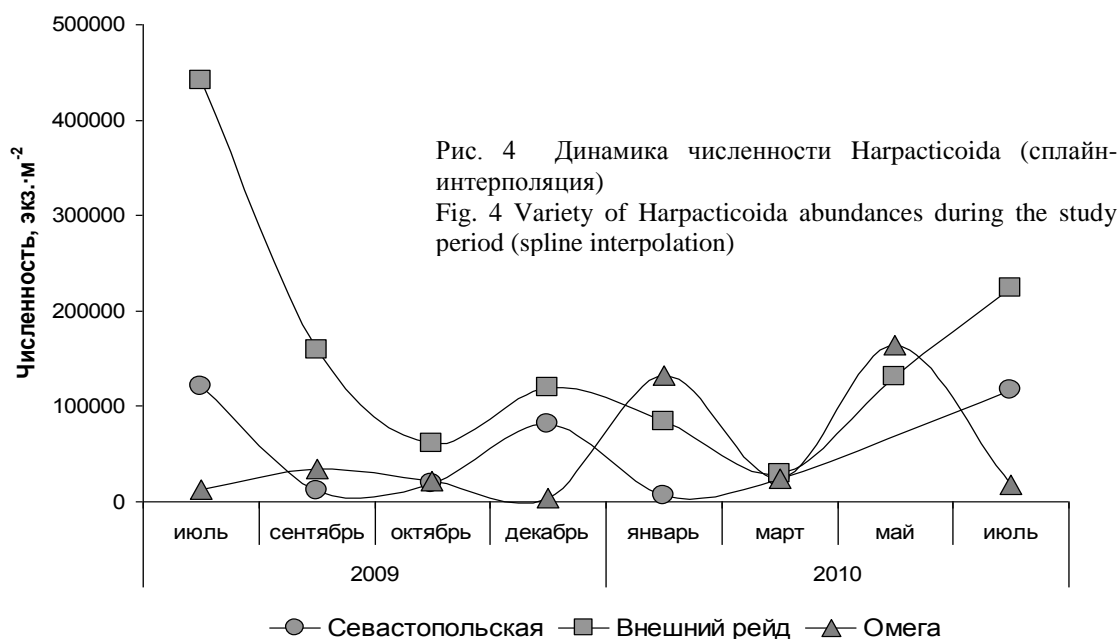


Табл. 2 Глубина залегания верхней границы сероводорода в грунте (данные ранжированы по глубине) [1]
Table 2 Range of depth of H₂S appearance at sediment core [1]

Глубина (мм) появления H ₂ S*	Место отбора пробы**	Месяц и год
0	(1)	VII 2009
0	(1)	XII 2009
2	(3)	X 2009
2	(3)	III 2010
3	(3)	VII 2009
4	(3)	XII 2009
12	(3)	IX 2009
17	(3)	I 2010
22	(2)	VII 2009
34	(1)	III 2010
36	(1)	IX 2009
36	(2)	X 2009
60	(1)	V 2010
> 60	(2)	II 2010
> 60	(2)	I 2010

*В двух первых случаях сероводород регистрировался даже в первых мм придонной воды; вместо двух последних на графиках (рис. 4 – 8) использовали значение 70
**(1) – б. Омега, (2) – Внешний рейд, (3) – б. Севастопольская

*In first two cases the hydrogen sulphide was registered even at upper millimeters of bottom water; instead of two last cases at the figures 4-8 were shown values 70

** (1) – Omega (Kruglaya) Bay, (2) – Outer road, (3) – Sevastopol Bay (Yuzhnaya Bay)

Ранее [1] было показано, что общее обилие макробентоса снижается по мере увеличения степени гипоксии (т.е. по мере приближения сероводорода к поверхности грунта). Хотя точки на графиках располагаются «рыхло» и общее их число недостаточно для статистически надежных выводов, были построены ориентировочные линии тренда. Когда пределы колебаний численности в исследуемом месте больше, зависимость обилия от степени гипоксии проявлялась рельефнее. Это наблю-

далось в б. Омега. Учитывая, что высокая численность бентоса, скорее всего, сопровождается высоким обилием числа видов, различающихся, в частности, реакцией на глубину границы сероводорода, мы на всех графиках по макробентосу отдельно приводили кривые для б. Омега и для суммы двух других точек.

При исследовании реакции отдельных таксономических групп макрофауны на гипоксию выяснилось, что некоторые группы не следуют описанной общей тенденции. У таких

групп, как гастроподы и ракообразные, численность тем больше, чем ближе к поверхности расположена граница сероводорода.

Описанный метод предварительного анализа был использован для данных по мейобентосу. В составе этой размерной группы такие представители ракообразных, как Harpacticoida, реагировали на положение глубины сероводорода умеренным повышением численности по мере заглужения границы H_2S . При этом описанная реакция проявилась толь-

ко в б. Омега (рис. 5). Более чётко подобная реакция видна в такой группе мейобентоса, как турбеллярии (рис. 6). Отклик нематод в б. Омега был нейтральным, а в двух других точках, данные по которым объединили, оказался сходным с откликом у ракообразных макробентоса (рис. 7). Заметим, что если исключить самое большое значение численности нематод, то общая тенденция повышения обилия с приближением границы сероводорода к поверхности сохранится.

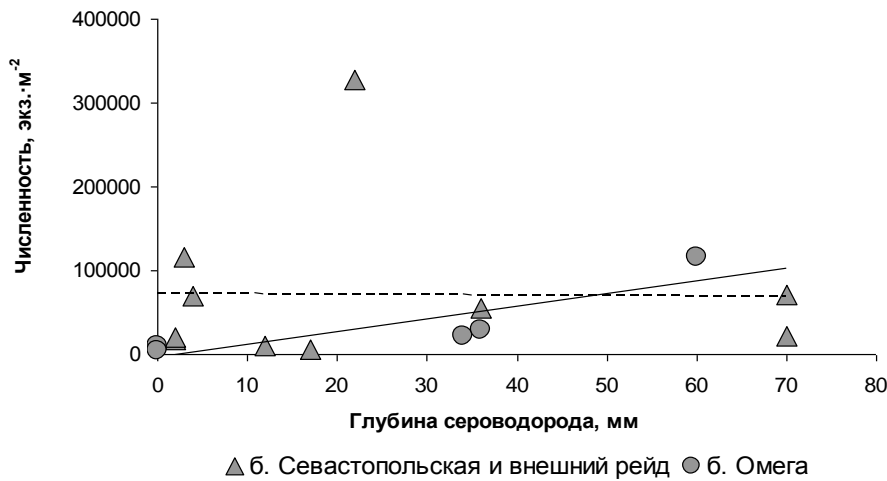


Рис. 5 Общая численность Harpacticoida и глубина сероводорода

Fig. 5 Harpacticoida densities vs. depth of H_2S appearance in the sediments

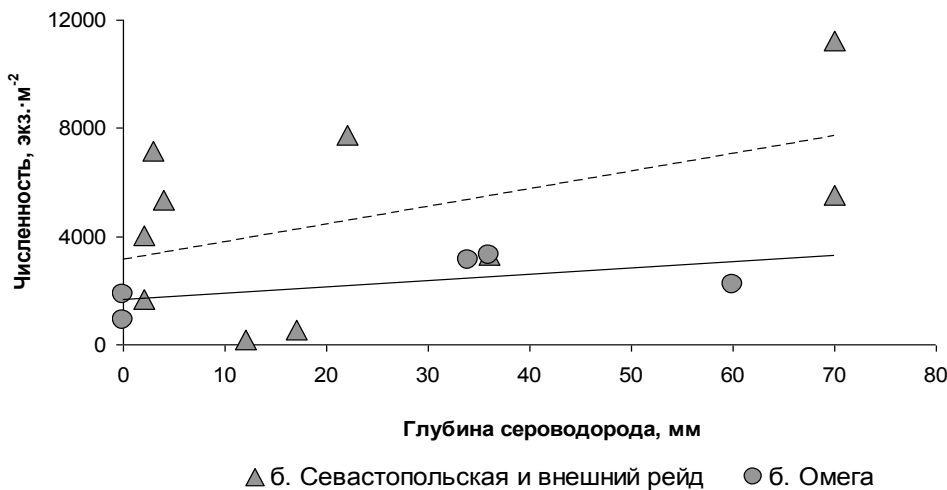


Рис. 6 Общая численность Turbellaria и глубина сероводорода

Fig. 6 Turbellaria densities vs. depth of H_2S appearance in the sediments

Известно, что чем ближе к поверхности регистрируется сероводород в поровой воде, тем меньше максимальная численность и амплитуда колебаний обилия исследованных групп макробентоса [1]. Это особенно ясно видно, если объединить данные по трём

пунктам исследования в один массив, причём описанное явление наблюдалось во всех таксономических группах макробентоса, кроме Crustacea. Тем самым выявлены различия в характере реакции разных таксонов на изменение глубины появления сероводорода в осадке.

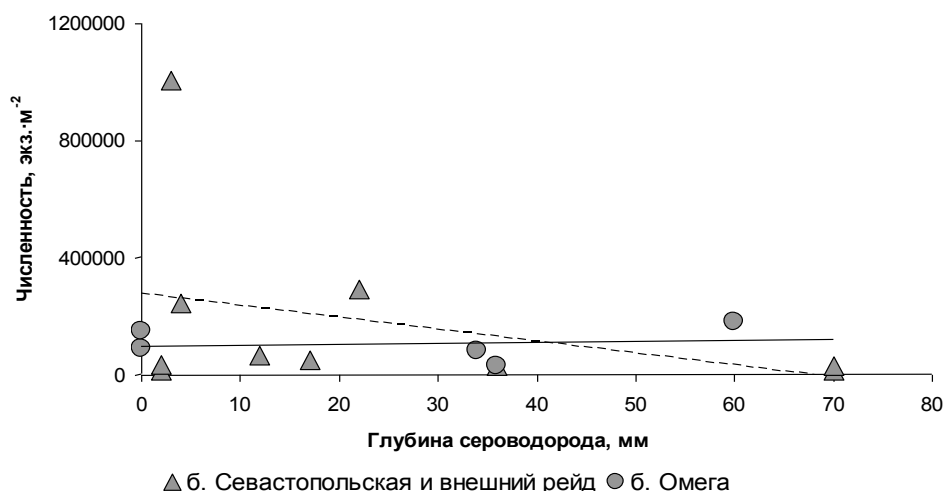


Рис.7 Общая численность Nematoda и глубина сероводорода
Fig. 7 Nematoda densities vs. depth of H₂S appearance in the sediments

Полученные линии трендов по гарпактикоидам относительно глубины появления сероводорода противоречат трендам, отражающим общую реакцию ракообразных макробентоса. Объяснение этому будет получено не ранее получения сведений о распределении зообентоса в связи с гипоксией на большем материале и с учётом видового состава. Об этом свидетельствуют имеющиеся данные. Некоторые виды гарпактикоид (*Sarsameira parva*, *Tachidiella minuta*, *Archesola typhlops*, *Mesochra* sp.) обнаружены в зоне гипоксии, граничащей с сероводородной зоной Чёрного моря [2, 10], и могут считаться более терпимыми к условиям гипоксии.

В прибрежной зоне мыса Тарханкут в условиях острой гипоксии, переходящей в аноксию, в районе высачивания метана из дна обнаружен специфичный для данного биотопа вид гарпактикоид *Darcythompsonia fairlensis* (Scott, 1899). При этом он представлен монопопуляцией, обитающей в толще грунта до 9 см, где концентрация сероводорода в 4 – 7 раз превышает таковую в глубинной зоне Чёрного моря [14]. Этот же вид обнаружен Е. А. Колесниковой в б. Омега (неопубл. данные) в сезоны, когда наблюдалась гипоксия в донных осадках. *D. fairlensis* известен для других морей только в гипоксических и аноксических зонах мелководья в разлагающемся растительном материале [9].

Показано [6], что нематоды – многочисленная группа вблизи верхней границы перманентной сероводородной зоны, а некоторые виды проникают и на большие глубины Чёрного моря. Проблема состоит в видовом определении нематод, чтобы разобраться в предпочтениях каждого вида, в том числе в оптимумах в отношении содержания кислорода в среде обитания, поэтому анализ, проведённый на уровне групп, является сугубо предварительным. Единственный вид, приспособленный к обитанию в условиях острой гипоксии, но имеющий высокую численность, может привести к изменению наблюдаемых трендов для группы.

Выводы. Полученные результаты, вместе с данными предыдущей работы [1] приводят к следующим заключениям: **1.** Численность каждой исследованной группы макро- и мейобентоса в трёх точках в районе Севастополя показала ту или иную зависимость от изменений глубины появления сероводорода в грунте. Это означает, что в данном районе гипоксия оказывает влияние на обилие бентоса. **2.** Показана возможность использования глубины появления сероводорода при изучении реакций бентоса на гипоксию. Этот показатель также позволяет оценить локальные условия водообмена в грунте, о чём свидетельствует значительная изменчивость этого показателя в исследованных точках. **3.** В исследованных

группах донных животных обычно выявляется снижение общей численности при приближении границы сероводорода в грунте к поверхности. При низком обилии группы такая реакция менее заметна, чем при высокой численности. **4.** У таких групп, как гастроподы и ракообразные (в макробентосе), а также нематоды (в мейобентосе), обнаружена обратная тенденция: их численность тем больше, чем ближе к поверхности расположена граница сероводорода. **5.** Для более детального исследования опи-

сываемых явлений необходимо перейти от групп к конкретным видам.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке ЕС 7th FP project "In situ monitoring of oxygen depletion in hypoxic ecosystems of coastal and open seas, and land-locked water bodies" (HYPOX, #226213). Авторы выражают признательность м.н.с. Тимофееву В. А. за помощь в отборе донных осадков, а также вед. инженерам Кошелевой Т. Н. и Лукьяновой Л. Ф. за первичную камеральную обработку материала.

- 1 Заика В. Е., Коновалов С. К., Сергеева Н. Г. Локальные и сезонные явления гипоксии на дне Севастопольских бухт и их влияние на бентос // Морск. экол. журн. – 2011. – **10**, № 3. – С. 15 – 25.
- 2 Колесникова Е. А., Сергеева Н. Г. Первая находка *Darcythompsonia fairlensis* (Copepoda, Harpacticoida) в Чёрном море // Морск. экол. журн. – 2011. – **10**, № 1. – С. 72.
- 3 Кондратьев С. И. Особенности пространственного распределения растворенного кислорода в Севастопольской бухте в различные сезоны 2006 – 2007 гг. // Морск. гидрофиз. журн. – 2010. – №2. – С. 63 – 76.
- 4 Орехова Н. А., Коновалов С. К. Полярография донных осадков Севастопольской бухты // Мор. гидрофиз. журн. – 2009. – № 2. – С. 52 – 56.
- 5 Свищев С. В., Коновалов С. К., Кондратьев С. И. Закономерности сезонных изменений содержания и распределения кислорода в водах Севастопольской бухты // Мор. гидрофиз. журн. – 2011. – № 4. – С. 64 – 78.
- 6 Сергеева Н. Г. Мейобентос глубинной сероводородной зоны Чёрного моря // Гидробиол. журн. – 2001. – **37**, № 3. – С. 3 – 9.
- 7 Austen M. C., Wibdom B. Changes in and slow recovery of a meiobenthic nematodes assemblage following a hypoxic period in the Gullmar Fjord basin, Sweden // Mar. Biol. – 1991. – **111** – P. 139 – 145.
- 8 Buzzelli Ch. P., Luettich R. A., Powers S. P. et al. Estimating the spatial extent of bottom-water hypoxia and habitat degradation in a shallow estuary // Mar. Ecol. Progr. Ser. – 2002. – **230**. – P. 103 – 112.
- 9 Cristoni C., Colangelo M. A., Ceccherelli V. U. Spatial scale and meiobenthic copepod recolonisation: testing the effect of disturbance size in a seagrass habitat // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2004. – **298** (1). – P. 49–70.
- 10 Kolesnikova E. A. On finding *Archesola typhlops* (Sars, 1920), the harpacticoid new for the Black Sea, at depths greater than 100 m // Mar. Ecol. J. – 2010. – **9**, № 1. – P. 52
- 11 Levin L. A., Ekau W., Gooday A. J., Jorissen F. et al. Effect of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. // Biogeosciences Discuss. – 2009. – **6**. – P. 3563 – 3654.
- 12 Modig H., Olafson E. Responses of Baltic benthic invertebrates to hypoxic events. // J. Exp. Mar. Biol. – 1998. – **229**. – P. 133 – 148.
- 13 Moodley L., van der Zwaan G. J., Herman P. M. J., Kempers L., van Breugel P. Differential response of benthic meiofauna to anoxia with special reference to Foraminifera (Protista: Sarcodina). // Mar. Ecol. Progr. Ser. – 1997. – **158**. – P. 151 – 163.
- 14 Sergeeva N., Konovalov S., Kolesnikova E., Chekalov V. Response of the meiobenthos communities to the hypoxia in the coastal zone (Tarkhankut, Crimea, the Black Sea) // INQUA 501 Seventh Plenary Meeting and Field Trip. (Odessa, Ukraine, Aug. 21 – 28, 2011): Abstr. – Odessa, 2011 – P. 151–154.
15. Suzuki T. Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem // J. Environ. Qual. – 2001. – **30**. – P. 291 – 302.

Поступила 11 октября 2011 г.

Сезонні зміни мейобентосу в бухтах Севастополя з аналізом впливу донної гіпоксії. В. Є. Зайка, К. О. Іванова, Н. Г. Сергеева. Вивчено розподіл, сезонну динаміку мейобентосу і реакцію на коливання гіпоксії в трьох точках севастопольських бухт. Проведено порівняння з реакцією макробентосу на гіпоксію. У багатьох групах бентосу загальна чисельність знижується з наближенням сірководню в ґрунті до поверхні. При низькій численності групи ця різниця менш помітна. У нематод, навпаки, чисельність тим вища, чим ближче до

поверхні межа сірководню. Більш детальні відомості можна отримати, якщо замість груп порівнювати конкретні види.

Ключові слова: Чорне море, мейобентос, локальні і сезонні відмінності, гіпоксія

Seasonal changes of meiobenthos of the Sevastopol Bays with the analysis of influence of bottom hypoxia. V. E. Zaika, E. A. Ivanova, N. G. Sergeeva. This study investigates the distribution, seasonal changes of meiofauna taxa and meiobenthic response to variety of hypoxic environments at three locations of Sevastopol Bay. The comparative analysis between macro- and meiobenthos reactions on hypoxic conditions was done. For some benthic taxa was registered the decreasing in total density while the hydrogen sulfide arises up to sediment surface. Contrary, for Nematoda were observed the increasing their density while the hydrogen sulfide arises up to sediment surface. High abundant taxonomic groups had shown more clearly the tendency than low abundant groups. Species identification could provide more detail ecological information than coarse taxonomic resolution studies.

Key words: Black Sea, meiobenthos, local and seasonal changes, hypoxia