



В. Е. Заика¹, чл.-корр. НАН Украины, **С. К. Коновалов**² чл.-корр. НАН Украины, зав. отд.,
Н. Г. Сергеева¹, докт. биол. наук., зав. отд.

¹ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина
² Морской гидрофизический институт Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

ЛОКАЛЬНЫЕ И СЕЗОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ ГИПОКСИИ НА ДНЕ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МАКРОБЕНТОС

В трёх точках севастопольского побережья (Севастопольская бухта, внешний рейд, бухта Омега) в течение года выполнены полярнографические исследования вертикального распределения кислорода и сероводорода в поверхностном слое грунта и сборы макробентоса. Отобрано 15 колонок грунта для химических анализов и 23 пробы бентоса. В зависимости от расположения точки и сезона года граница появления H_2S менялась от поверхности грунта до глубины >60 мм. Составлен ряд данных, ранжированный по глубине появления сероводорода. Этот ряд приняли как показатель степени гипоксии и сопоставили с общей численностью бентоса, с обилием его основных групп. Общая численность макробентоса снижается по мере приближения границы сероводорода к поверхности грунта. Среди таксономических групп это же выявилось у Annelida и Bivalvia. В то же время, реакция Gastropoda различалась в отдельных точках, а обилие Crustacea повышалось с приближением H_2S к поверхности грунта. Для объяснения влияния гипоксии на макробентос необходимо учитывать видовой состав каждой группы и экологические свойства каждого вида.

Ключевые слова: Чёрное море, гипоксия, сероводород, численность макробентоса.

В биологической океанографии различают воды с достаточным ("нормальным") содержанием растворённого кислорода и воды с экологически значимым его дефицитом. Условия существования в таких типах вод именуется соответственно нормо- и гипоксией. При гипоксии многие аэробные организмы испытывают затруднения в своей жизнедеятельности, поэтому возникновение гипоксии приводит к нарушению структуры донных сообществ, сокращению биологического разнообразия и в пределе – исчезновению ряда аэробных бентосных форм. Когда выяснилось, что нижний уровень толерантности бентосных форм прибрежной зоны наблюдается при концентрации кислорода менее $2 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$, эту величину приняли в качестве границы между нормоксией и гипоксией [17]. Позже установили, что глубоководный бентос выдерживает концентрацию около $1 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ [18]. Это сделало принятой границу условной. Её несколько смещают ещё и при использовании разных единиц измерения концентрации кислорода. Так, границей называют и

$2.8 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ($2 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$) [15], и $2 - 3 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ [www.esa.org], или $2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, приводя соответствующие эквивалентные показатели ($1.4 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$, $63 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$) [14].

Одной из часто обсуждаемых причин гипоксии является антропогенная эвтрофикация, но низкое содержание кислорода нередко наблюдается и в ненарушенной человеком водной среде. В любом случае, явление дефицита кислорода, в том числе гипоксии, возникает тогда, когда скорость биолого-химического потребления кислорода превышает скорость его поступления в результате физических или биологических процессов. Так, постоянный и сильный дефицит кислорода ($<0.5 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$), наблюдается у дна на шельфе и в батии северной части Индийского океана, охватывая более половины акватории [9]. Впрочем, обычно природная гипоксия является проблемой прибрежных и эстуарных вод.

В годовом ходе содержания кислорода в поверхностном слое вод в 1998 – 2009 гг. во всех

районах Севастопольской бухты можно выделить два периода: перенасыщения с марта по сентябрь и недонасыщения с октября по февраль. В придонном слое вод во всех районах бухты наблюдается постоянное недонасыщение вод кислородом. Степень дефицита кислорода в придонном слое изменяется по акватории, при этом наблюдаются сезонные и межгодовые колебания уровня дефицита кислорода под влиянием физических и биолого-химических процессов [4, 8]. Концентрация O_2 обнаруживает четкую сезонную периодичность с максимумом в феврале – марте и минимумом в августе – сентябре. Обычно минимум O_2 в придонной воде выражен тем резче, чем дальше от входа в бухту производится измерение. В отдельные годы при высокой температуре воды, ослабленной вентиляции вод и высокой скорости продуцирования органического вещества в поверхностных водах в некоторых участках бухты концентрация O_2 в придонной воде снижалась ниже $2 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ [2], а в 2009 г. в придонном слое вод внутренней части бухты впервые обнаружено явление аноксии (отсутствие кислорода), при этом концентрация сероводорода достигала $0.8 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ (неопубл. данные). Результаты недавних полярнографических исследований поровой воды в донных отложениях Севастопольской бухты [6] показали, что кислород в колонку грунта проникает не глубже 2 – 5 мм. Концентрация кислорода на поверхности осадков не превышает $99 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$ у входа в бухту и снижается вплоть до нулевых значений в Южной бухте и центральных и внутренних районах, при этом сероводород поднимается к самой поверхности осадка. В целом, это согласуется с данными по другим районам Чёрного моря [1, 10, 12].

Таким образом, зообентос Севастопольской бухты подвержен влиянию как сезонных, так и многолетних колебаний уровня содержания кислорода вплоть до ярко выраженных условий гипоксии и даже аноксии. Воздействие гипоксии испытывают как обитатели поверхности дна (эпифауна), так и представители макро- и мейобентоса, погружённые в толщу грунта (инфауна), где на содержание кислорода влияют многие факторы: температура, концентрация органических веществ, освещение, течения и биотурбация [11].

В настоящей статье показана связь общей численности основных групп черноморского макрозообентоса с глубиной появления в грунте сероводорода на фоне изменчивости прочих условий.

Материал и методы. Материал собран в трёх точках севастопольского побережья: бухта Омега (точка 1), внешний рейд (2; служит контролем) и Севастопольская бухта (3) (фактически – на микрополигонах), отличающихся характером и степенью антропогенной нагрузки (рис. 1), приводящей к возникновению локальной и сезонной гипоксии в местообитаниях бентоса.

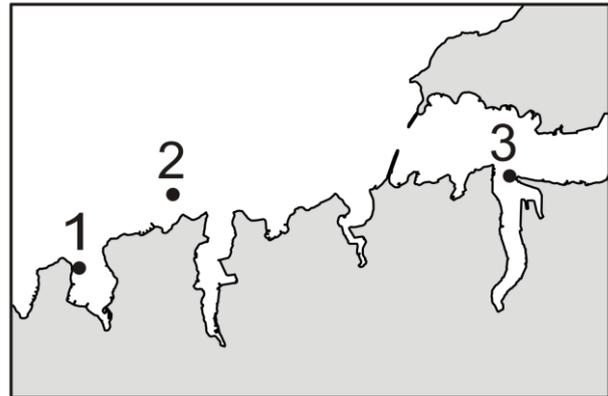


Рис.1 Места отбора проб в бухтах Севастополя: 1 – бухта Омега (Круглая), 2 – контрольная точка (“внешний рейд”), 3 – Севастопольская бухта (у входа в Южную бухту)

Fig.1 Sampling sites in the Sevastopol bays: 1 – Omega (Kruglaya) Bay, 2 – reference site (“Outer road”), 3 – Sevastopol Bay (Yuzhnaya bay)

Все три точки исследования различались по глубине: в б. Омега – 8 – 10 м, внешний рейд – 18 – 21 м, б. Севастопольская – 11 – 16 м. Сбор материала начал 23 июля 2009 и окончен 8 июля 2010 гг. За этот период получено 15 колонок грунта для химических анализов и 23 пробы бентоса.

При отборе колонок грунта для химического анализа цилиндрический пробоотборник с герметичными крышками погружался в грунт водолазом вручную. Глубина проникновения пробоотборника в грунт зависела от структуры грунта. После отбора пробы сразу же доставлялись в береговую лабораторию, где анализ проб проводился полярнографически, с использованием стеклянного Au-Hg микроэлектрода [6, 13].

Пределы обнаружения O_2 – $5 \text{ мкМ} \cdot \text{л}^{-1}$, H_2S – $0.5 \text{ мкМ} \cdot \text{л}^{-1}$. Полярнографическое профилирование производилось на всю глубину отобранной колонки грунта. Сравнение районов отбора проб по результатам полярнографического анализа колонок донных осадков дано в [5].

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 брались в трёх повторностях. Такой метод отбора проб используется обычно для количественных проб мейобентоса, но даёт возможность оценивать количество макробентоса, кроме наиболее крупных и редких форм. Полученные результаты по макробентосу не следует напрямую сравнивать с количественными данными дночерпательных проб. Но для решения поставленной нами задачи метод вполне адекватен, поскольку все материалы по макробентосу получены одним и тем же способом. В лаборатории пробы грунта промывали через сита: верхнее имело диаметр ячеей 1 мм, нижнее – 63 мкм. Фауна, задержанная на верхнем сите, рассматривалась нами как макробентос, на нижнем – мейобентос.

Результаты и обсуждение. Бухта Омега представляет собой мелководную акваторию протяженностью до 1 км в средней части. Глубины в центральной части бухты достигают 5 м и 10 м на границе с открытым морем. Дно песчано-илистое с небольшим количеством ракушечного материала. Водообмен с открытым морем ограничен, за исключением зимних сгонно-нагонных штормовых течений северного и северо-западного направлений. По этой причине воды бухты хорошо аэрированы в холодный период года за счёт динамики вод и вертикального конвективного перемешивания. В тёплый период года для бухты характерна вертикальная стратификация вод за счёт наличия сезонного термоклина, определяющего двухслойную структуру вод и слабое вентилирование придонного слоя при относительно высокой температуре, способствующей интенсивному расходованию кислорода в различных биолого-химических процессах.

Источники промышленного загрязнения в бухте отсутствуют, однако сброс бытовых сточных вод и интенсивное новообразование органического вещества в тёплый период года приводят к ярко выраженному дефициту O₂ на поверхности и в глубине донных осадков.

Второй район («внешний рейд») представляет собой открытый прибрежный участок моря с глубинами 15 м и более. Донные осадки представлены крупнозернистым песком и обломочным ракушечным материалом с малым содержанием ила. Для района характерно наличие достаточно интенсивных вдольбереговых течений. Воды и поверхность донных осадков хорошо аэрированы во все сезоны года. Колебания величин концентрации кислорода определяются в основном сезонным ходом его растворимости от температуры. Локальные источники промышленных и бытовых сточных вод отсутствуют.

Севастопольская бухта вдаётся вглубь берега на 7 км, ширина бухты вблизи выхода в открытое море достигает 1 км. Глубины изменяются от 22 м в мористой части до 2 – 3 м в вершине при средней глубине 12.5 м. Донные осадки представлены карбонатными, песчаными, глинистыми, илистыми фракциями с преобладанием алевритопелитовых фракций [7]. Водообмен существенно затруднён из-за вытянутой и разветвленной формы бухты, а также из-за искусственно созданных защитных молов на входе в бухту, в 3 раза сокративших интенсивность естественного водообмена. Влияние зимних штормов ограничено наиболее внешней частью бухты. В холодный период года воды бухты вертикально однородны, в тёплый период года сезонный термоклин определяет устойчивую двухслойную структуру вод.

Бухта испытывает значительное антропогенное воздействие, вызванное интенсивным промышленным использованием её акватории и сбросом значительного количества бытовых сточных вод (не менее 32 точек сброса) и ливневой канализации. В результате наблюдается сильное загрязнение донных осадков бухты тяжёлыми металлами, нефтепродуктами и другими химическими элементами, а также органическим веществом и биогенами, поддерживающими высокий уровень эвтрофирования. Особенно загрязнена Южная бухта [2, 6, 16]. Ограниченный водообмен, двухслойная струк-

тура вод и высокая скорость новообразования органического вещества, интенсивное антропогенное и техногенное загрязнение приводят к дефициту кислорода в придонном слое вод, что является постоянной особенностью Севастопольской бухты. При этом, как отмечено выше, в некоторых её районах обнаружены случаи полного исчезновения кислорода в придонном слое вод и появление сероводорода в концентрации $0.8 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$.

После предварительного анализа результатов было решено использовать ранжированный ряд глубины появления сероводорода в грунте (табл. 1, рис. 2).

Табл. 1 Глубина залегания верхней границы сероводорода в грунте (данные ранжированы по глубине)
Table 1 The depth of the hydrogen sulfide upper boundary laying in the bottom ground (the data are ranged according to the depth)

Глубина (мм) появления H_2S^*	Место отбора пробы	Месяц и год
0	I	VII. 2009
0	I	XII 2009
2	III.	X 2009
2	III	III 2010
3	III	VII2009
4	III	XII 2009
12	III	IX 2009
17	III	I 2010
22	II	VII2009
34	I	III 2010
36	I	IX 2009
36	II	X 2009
60	I	V2010
> 60	II	II 2010
> 60	II	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.

*In two first cases hydrogen sulfide was registered even in the first mm of the near-bottom water; inside the last two at fig. 4 – 8 we used figure 70

Сезонная динамика макробентоса. В трёх изученных точках отмечаются существенные различия в общей численности и диапазоне изменений численности макробентоса в каждой точке в период исследований (табл. 2).

В июле 2009 г. во всех точках наблюдалась низкая численность, но далее в б. Омега наблюдались большие пики, из которых основной был в мае 2010 г. Пики обилия перемежались его резкими падениями. Таким образом, в бухте Омега обнаружены наибольшие колебания численности макробентоса за весь период исследований. В противоположность этому, на входе в бухту Южная постоянно регистрировали относительно стабильную низкую численность. На «внешнем рейде» численность макробентоса показала промежуточные величины с умеренными колебаниями во времени (рис. 3).

Обращаясь к таксономическому составу макробентоса, убеждаемся, что в бухте Омега по численности преобладали Annelida. Поэтому изменение их обилия для данной бухты соответствует приведённому на рис. 3 изменению общей численности макробентоса. Если кривая общей численности показывала основной пик в мае 2010 г., то Bivalvia имели основной пик в марте того же года (в б. Омега и на «внешнем рейде»), или даже в январе (б. Южная), где он был незначительным (рис. 4).

Отмеченное варьирование обилия макробентоса в трёх точках может объясняться различием в глубине, в морфологических и химических свойствах осадков, опосредованно связанных с особенностями водообмена, количеством и качеством питательного субстрата, наличием веществ и экологических условий (сероводород, тяжёлые металлы, отсутствие кислорода, и т. п.), подавляющих процессы жизнедеятельности. В каждой из точек на них накладывались сезонные колебания температуры и других условий.

Влияние положения границы сероводорода в толще грунта. Из многих упомянутых факторов, определявших интегральную величину численности макробентоса, попытаемся выделить воздействие колебания окислительно-восстановительных условий в толще грунта. Для анализа использовали данные изучения 15 проб макробентоса (табл. 2), для которых

Табл. 2 Численность основных групп макробентоса в исследованных районах
Table 2 The main macrobenthos groups abundance in the regions studied

Группа	Точка	2009 г.				2010 г.			
		VII	IX	X	XII	I	III	V	VII
Annelida	III	5 796	3 680	2 944	3 864	3 680	3 680	-	920
	II	2 208	4 232	3 496	2 760	4 048	2 024	3 128	3 128
Bivalvia	I	2 944	17 112	4 968	1 472	21 160	2 760	50 600	3 312
	III	276	552	552	184	920	0	-	368
Gastropoda	II	3 680	3 128	1 288	4 048	2 944	9 384	8 832	1 840
	I	1 840	5 152	736	368	3 680	6 808	4 232	1 104
Arthropoda	III	0	368	736	368	368	368	-	0
	II	2 760	4 600	3 128	7 728	2 208	5 520	4 416	1 656
Arthropoda	I	552	1 288	1 472	2 024	2 024	2 208	368	368
	III	828	920	736	368	4 048	736	-	0
Arthropoda	II	1 472	1 104	736	920	0	368	736	368
	I	0	368	184	184	1 472	0	0	0

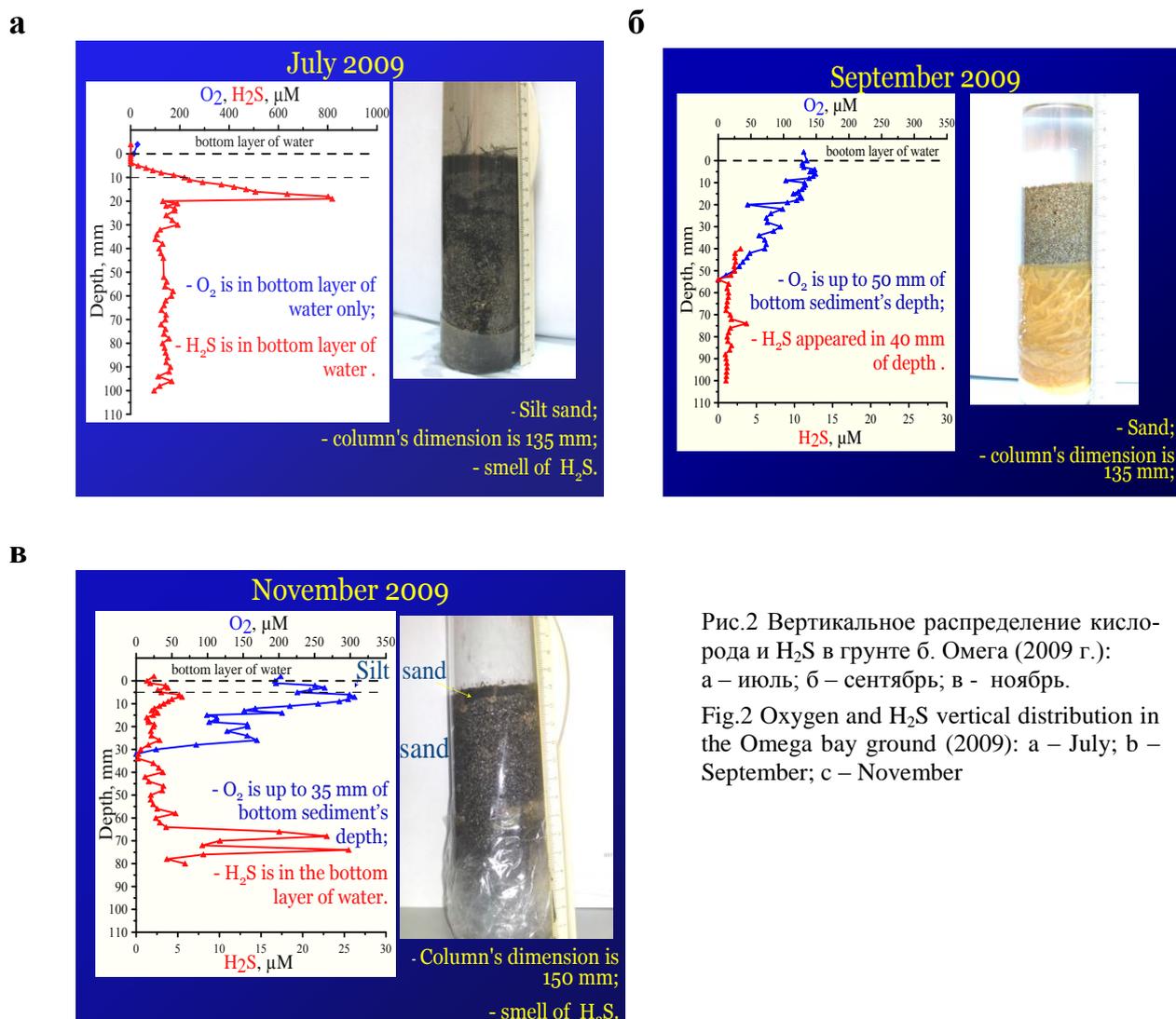


Рис.2 Вертикальное распределение кислорода и H₂S в грунте б. Омега (2009 г.): а – июль; б – сентябрь; в - ноябрь.

Fig.2 Oxygen and H₂S vertical distribution in the Omega bay ground (2009): a – July; б – September; c – November

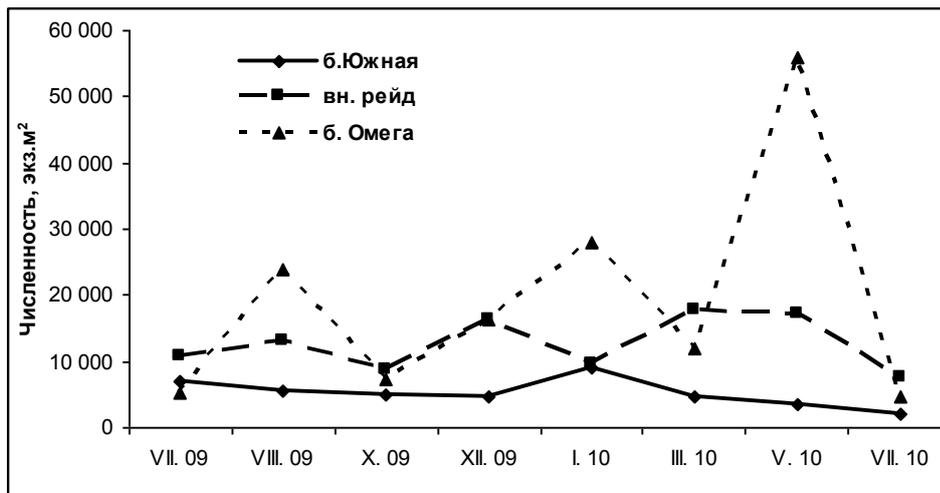


Рис. 3 Динамика общей численности макробентоса: бухта Южная, бухта Омега и “внешний рейд”
Fig. 3 General macrobenthos quantity in Yuzhnaya bay, Omega bay and “other road”

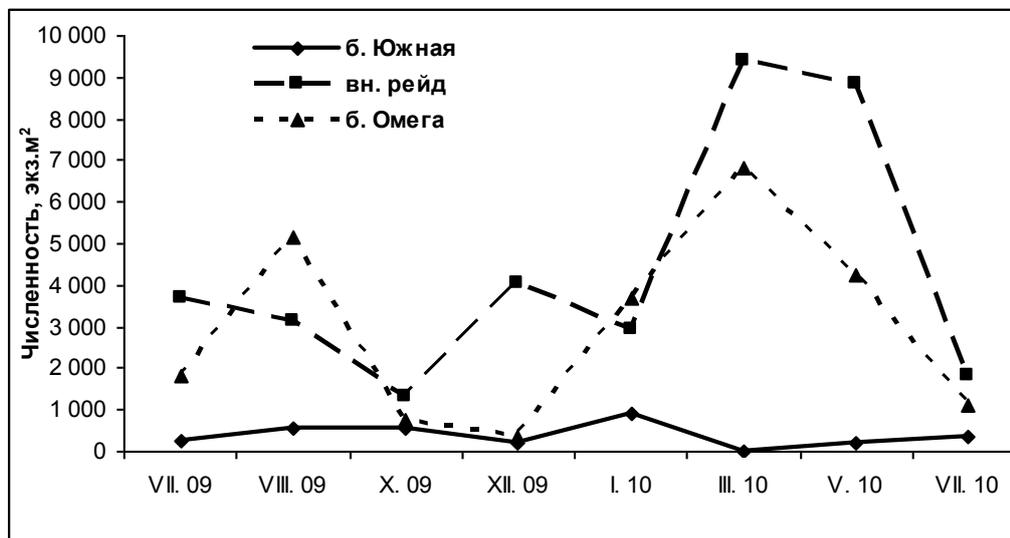


Рис. 4 Динамика численности Bivalvia в трех точках: бухта Южная, бухта Омега и “внешний рейд”
Fig.4 Bivalvia abundance dynamics in three points: Yuzhnaya bay, Omega bay and “other road”

одновременно получены результаты химических исследований (табл. 1).

Сопоставление данных по содержанию O_2 и H_2S в пробах грунта привело к заключению, что можно основываться как на содержании кислорода, так и на данных о глубине появления сероводорода в грунте, но в последнем случае сравнение с реакцией макробентоса получается более чётким и наглядным. Достаточно сравнить положение границы сероводорода в грунте в разные месяцы (табл. 1), чтобы убедиться в больших сезонных изменениях этого показателя.

Ранжировав данные по глубине появления сероводорода, можно видеть, что получен-

ный ряд естественно распадается на три группы: (1) H_2S наблюдается на поверхности донных осадков и даже в придонной воде (2 случая), (2) H_2S появляется на глубине 2 – 4 мм (4 случая), (3) H_2S регистрируется на глубинах 12 – 36 мм и более (9 случаев). При этом выясняется, что все пробы в точке «Южная бухта» попадают в третью группу, в точке «внешний рейд» – во вторую (4 пробы) и третью (2 пробы) группу, а точка в б. Омега показывает наиболее переменные результаты: 3 пробы попали в третью группу, а 2 пробы – в первую. Выход сероводорода к поверхности наблюдался именно в б. Омега в июле и декабре, но в

октябре H_2S отмечен в грунте на глубине 36
мм.

Описанные колебания обсуждаемого показателя, несомненно, связаны с сезонными изменениями экологических условий и, возможно, отражают также пространственные особенности эволюции геохимических и биогеохимических процессов. Это даёт возможность сравнить как локальные (в точках изме-

рений), так и сезонные колебания уровня гипоксии. График, связывающий общую численность макробентоса с глубиной появления сероводорода (рис. 5), чётко показывает, что обилие макробентоса снижается по мере увеличения степени гипоксии, с которой связана глубина залегания границы H_2S .

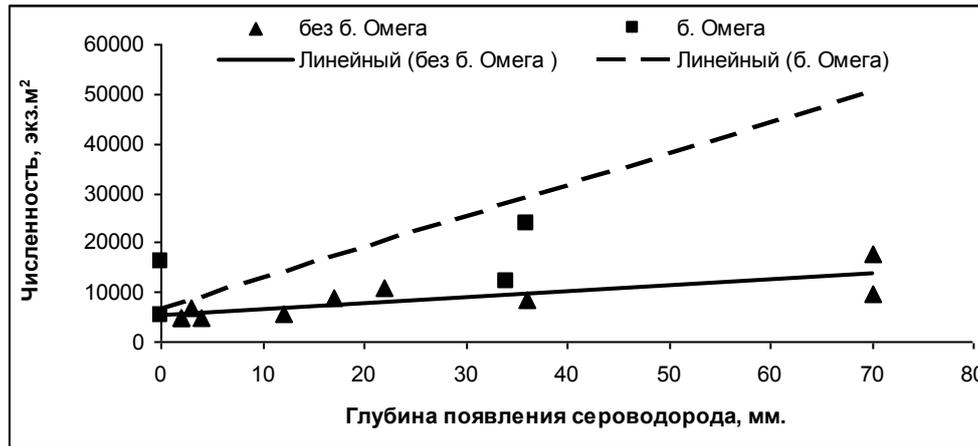


Рис. 5 Общая численность макробентоса в связи с глубиной появления сероводорода в грунте (сплошная линия – б. Омега, прерывистая – объединённые данные по двум другим точкам)

Fig. 5 General macrobenthos abundance depending on the hydrogen sulfide appearance depth in the ground (firm line – Omega bay, dash line – united data for two other points)

В Южной бухте и на «внешнем рейде» все точки графика следовали зависимости, близкой к линейной. Для б. Омега наблюдается такая же линейная зависимость, но с другим углом наклона. Отличие б. Омега – в повышенном обилии макробентоса, что хорошо видно на линейных трендах, вычисленных отдельно для б. Омега и объединённых остальных данных (рис. 4). Таким образом, влияние гипоксии проявляется одинаковым образом во всех районах отбора проб, но другие характеристики также влияют на общую численность макробентоса. Учитывая своеобразие б. Омега, далее на графиках мы использовали тот же подход, т.е. данные для б. Омега рассматривали отдельно от остальных.

Рассмотрим теперь связь численности отдельных таксонов макробентоса с глубиной появления сероводорода. Соответствующая зависимость для Annelida представлена на рис. 6.

В б. Омега, где аннелиды сильно преобладали, расположение точек было почти таким же, как на предыдущем графике. Численность Annelida в двух других точках была постоянно близкой к минимальной, независимо от глубины появления H_2S .

Обилие Bivalvia растёт одинаковым образом с увеличением глубины залегания границы сероводорода (рис. 7), как в б. Омега, так и в остальных исследованных районах (Севастопольская бухта и "внешний рейд").

Численность Gastropoda возрастает с увеличением глубины залегания границы сероводорода в Севастопольской бухте и на "внешнем рейде". Что касается б. Омега, то там, в декабре 2009 г., при подъёме сероводорода на поверхность донных осадков, было найдено много гастропод, что и привело к появлению статистически незначимого обратного тренда (рис. 8).

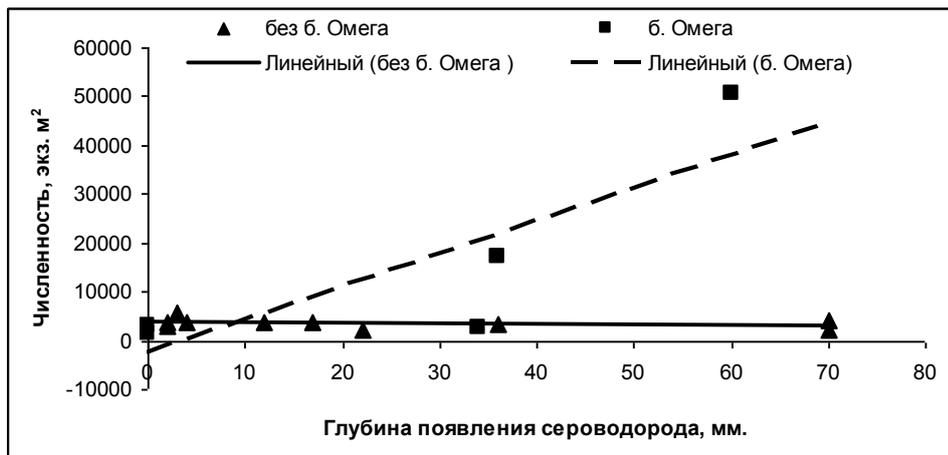


Рис. 6 Общая численность Annelida в связи с глубиной появления сероводорода в грунте (сплошная линия – б. Омега, прерывистая – объединённые данные по двум другим точкам)

Fig. 6 General Annelida abundance depending on the hydrogen sulfide appearance depth in the ground (firm line – Omega bay, dash line – united data for two other points)

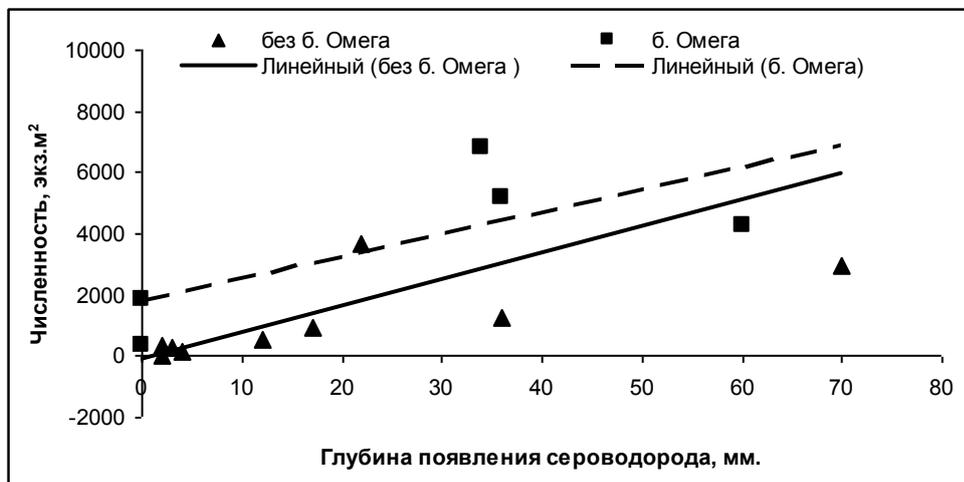


Рис. 7 Общая численность Bivalvia в связи с глубиной появления сероводорода в грунте (сплошная линия – б. Омега, прерывистая – объединённые данные по двум другим точкам)

Fig. 7 General Bivalvia abundance depending on the hydrogen sulfide appearance depth in the ground (firm line – Omega bay, dash line – united data for two other points)

Даже если отбросить точки, соответствующие выходу сероводорода на поверхность донных осадков, зависимость численности Gastropoda в б. Омега от глубины появления сероводорода будет существенно иной, по сравнению с другими точками отбора проб. Учитывая подвижность гастропод, можно предполагать разные причины наблюдаемого типа зависимости. При поиске объяснений нужно учитывать видовую принадлежность моллюсков, их экологические особенности и тип питания. Сказанное касается также Crustacea, численность которых в связи с положением сероводорода устойчиво и одинаковым образом для всех точек отбора снижается по мере заглупления границы H_2S (рис. 9).

Отметим, что эта группа была представлена бедно, в трёх случаях (из 15) вообще отсутствовала и самую большую численность (выше 4000 экз. · м⁻²) единственный раз имели представители Cirripedia.

Многие виды черноморского макробентоса обитают в толще грунта [3] и приближенные границы сероводорода к его поверхности лишает их местообитаний. Если произошло сезонное повышение границы сероводорода в грунте, а затем граница снова понижается, восстановление численности животных происходит разными способами: подвижные формы могут мигрировать, тогда как другие появятся только после очередного цикла размножения, после оседания личинок.

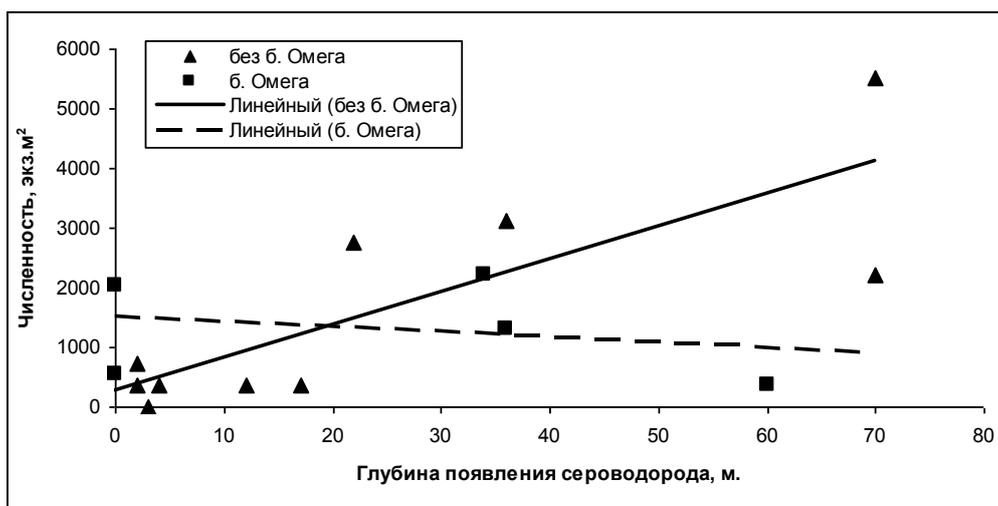


Рис. 8 Общая численность Gastropoda в связи с глубиной появления сероводорода в грунте (сплошная линия – б. Омега, прерывистая – объединённые данные по двум другим точкам

Fig. 8 General Gastropoda abundance depending on the hydrogen sulfide appearance depth in the ground (firm line – Omega bay, dash line – united data for two other points)

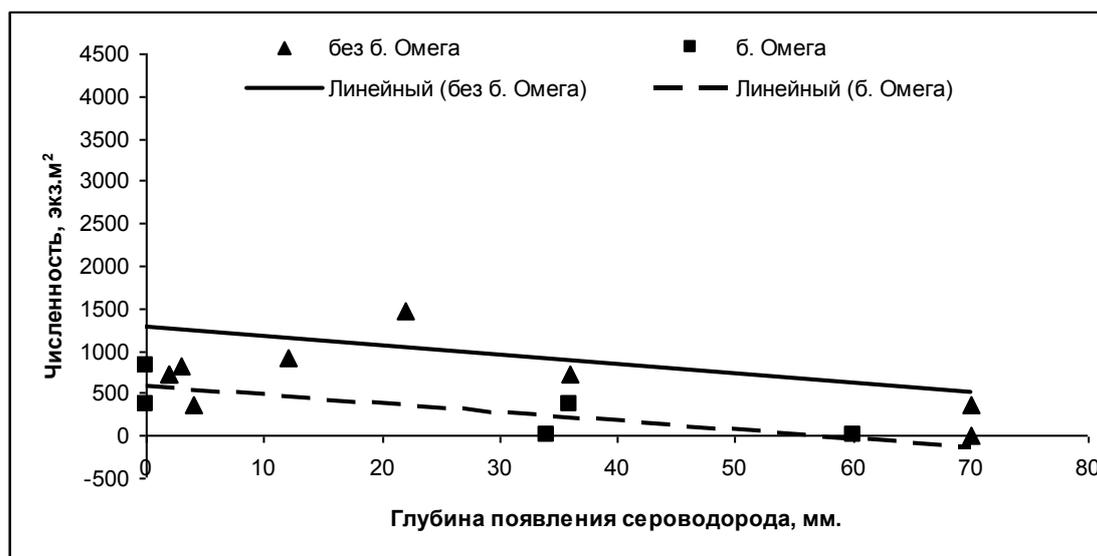


Рис. 9 Общая численность Crustacea в связи с глубиной появления сероводорода в грунте (сплошная линия – б. Омега, прерывистая – объединённые данные по двум другим точкам

Fig. 9 General Crustacea abundance depending on the hydrogen sulfide appearance depth in the ground (firm line – Omega bay, dash line – united data for two other points)

Поэтому важны как особенности таксономической группы, так и свойства каждого вида.

Оценивая полученные результаты, отметим, что численность каждой группы макробентоса в исследованных точках района Севастополя показала ту или иную зависимость от изменений глубины появления сероводорода в

грунте. Это означает, что в данном районе гипоксия оказывает влияние на обилие макробентоса. Одновременно подтверждена возможность использования обсуждаемого показателя (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.

Чем ближе к поверхности регистрируется сероводород в поровой воде, тем меньше максимальная численность и амплитуда колебаний обилия исследованных групп макробентоса. Это можно иллюстрировать, объединив данные по трём точкам в один массив, причём описанное явление будет наблюдаться во всех таксономических группах, кроме Crustacea. Тем самым выявлены различия в характере ре-

акции разных таксонов на изменение глубины появления сероводорода в осадке.

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 к.б.н., ст. н. с. ИнБИОМ НАНУ М. Б. Гулину, м. н. с. В. Тимофееву за помощь в отборе донных осадков, а также вед. инженерам Т. Н. Кошелевой и Л. Ф. Лукьяновой за первичную камеральную обработку материала.

1. *Вершинин А. В., Корнеева Г. А., Паутова Л. Н., Сапожников Ф. В.* Исследование потоков растворенного кислорода через границу раздела вода-дно в северо-восточной части Черного моря (район поселка Джубга) / Известия РАН. Сер. биол. – 2008. – №1. – С. 94 – 103.
2. *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. – 90 с.
3. *Киселева М. И.* Бентос рыхлых грунтов Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1981. – 165 с.
4. *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.
5. *Орехова Н. А.* Гипоксия и аноксия в донных осадках крымского побережья. // География та туризм: Наук. зб. – Киев: Альтерпрес, 2010. – вип. 4. – С. 146 – 152.
6. *Орехова Н. А., Коновалов С. К.* Кислород и сероводород в донных осадках Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. /НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБИОМ. – Севастополь, 2009. – Вып. 18. – С. 48 – 56.
7. *Романов А. С., Орехова Н. А., Игнатъева О. Г., Коновалов С. К., Овсяный Е. И.* Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Черное море) // Экология моря: Сб. науч. тр. / НАН Украины, ИнБИОМ. – Севастополь, 2007. – Вып. 73. – С. 85 – 90.
8. *Свищев С. В., Кондратьев С. И., Коновалов С. К.* Закономерности сезонных изменений содержания и распределения кислорода в водах Севастопольской бухты // Мор. гидрофиз. журн. – 2011. – №4. – С. 64 – 78.
9. *Helly J. J., Levin L. A.* Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins // Deep-Sea Res. – 2004. – 1, 51. – P. 1159 – 1168.
10. *Kononov S. K., Luther G. W. III, Yucel M.* Porewater redox species and processes in the Black Sea sediments // Chemical Geology. – 2007. – 245. – P. 254 – 274.
11. *Kristensen E.* Organic matter diagenesis at the oxic/anoxic interface in coastal marine sediments, with emphasis on the role of burrowing animals // Hydrobiologia. – 2000. – 426 – P. 1 – 24.
12. *Kruglyakova R., Gubanov Y., Kruglyakov V., Prokoptsev G.* Assessment of technogenic and natural hydrocarbon supply into the Black Sea and seabed sediments // Continental Shelf Res. – 2002. – 22. – P. 2395 – 2407.
13. *Luther G. W. III, Brendel P. J., Lewis B. L.* Simultaneous measurement of O₂, Mn, Fe, I-, and S(-II) in marine pore waters with a solid-state voltammetric microelectrode // Limnol. Oceanogr. – 1998. – 43, №2. – P. 325 – 333.
14. *Middelburg J. J., Levin L. A.* Coastal hypoxia and sediment biogeochemistry // Biogeosciences. – 2009. – 6. – P. 1273 – 1293.
15. *Modig H., Olafsson E.* Responses of Baltic benthic invertebrates to hypoxic events // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1998. – 229. – P.133 – 148.
16. *Petrov A. N., Sergeeva N. G., Tewrletskaya A. V., Demchenko A. Ya.* Analysis of meiobenthos structure in estuaries of Southwestern Crimea under the impact of technogenic pollution. // Proc. IGCP-521, Abstracts for the Fourth Plenary Meeting. – Bucharest (Romania) and Varna (Bulgaria). – October 4-16, 2008. – P.142-144.
17. *Rosenberg R* Effect of oxygen deficiency on benthic macrofauna // In: Freeland J. H. et al. (eds). Fjord oceanography. – Plenum Publ. Corp., New York, 1980. – P. 499 – 514.

18. Rosenberg R., Hellman B., Johansson B. Hypoxic tolerance of marine benthic fauna // Mar. Ecol.

Prog. Ser. – 1991. – 79. – P. 127 – 131.

Поступила 11 мая 2011 г.

Локальні і сезонні явища гіпоксії на дні Севастопольських бухт і їх вплив на макробентос. В. Є. Заїка, С. К. Коновалов, Н. Г. Сергєєва. У трьох точках Севастопольської бухти протягом року виконані полярографічні вимірювання вмісту кисню і сірководню в поверхневому шарі ґрунту і збори макробентоса. Всього зібрано 15 проб для хімічних аналізів і 23 проби бентосу. У залежності від розташування точки і сезону року, границя появи H_2S змінювалася від поверхні ґрунту до глибини > 60 мм. Складено ряд даних, ранжований за глибиною появи сірководню. Цей ряд прийняли як показник ступеня гіпоксії і зіставили із загальною чисельністю бентосу, з великою кількістю його основних груп. Загальна чисельність макробентоса знижується по мірі наближення межі сірководню до поверхні ґрунту. Серед таксономічних груп це ж виявилось у Annelida і Bivalvia. У той же час реакція Gastropoda відрізнялася в окремих точках, а велика кількість Crustacea підвищувалася з наближенням H_2S до поверхні ґрунту. Для пошуку пояснень потрібно враховувати видовий склад кожної групи і екологічні властивості кожного виду.

Ключові слова: Чорне море, гіпоксія, сірководень, чисельність макробентоса

The events of local and seasonal hypoxia at the bottom of the Sevastopol bays and their influence on macrobenthos. V. E. Zaika, S. K. Konovalov, N. G. Sergeeva. Voltammetric measurements of the oxygen and sulfide content in the upper bottom sediments and studies of macrobenthos have been carried out for three sites of the Sevastopol coastal zone. In total, 15 samples for the sediment cores for voltammetric analyses and 23 samples for studies of benthos have been collected. The depth of the H_2S onset varied from the ground surface to 60mm depending on the site location and the season of sampling. The data have been ranged according to the depth of the hydrogen sulfide appearance that has been considered as an indicator of the degree of hypoxia. It was compared with total benthos abundance and with the abundance of individual groups of benthos. The total macrobenthos abundance decreases with the upward shift of the hydrogen sulfide onset in the bottom sediments. It is also true for Annelida and Bivalvia individual abundance. At the same time, Gastropoda reaction has been different, and Crustacea abundance has increased with H_2S approaching to the surface of the bottom sediments. The group species composition and every species ecological properties must be taken into consideration for finding the explanations.

Key words: the Black Sea, hypoxia, hydrogen sulfide, quantity of macrobenthos.