

УДК 574.587(262.5):543456

ЭКОЛОГИЯ МЕЙОБЕНТОСА МЕТАНОВЫХ СИПОВ ЧЁРНОГО МОРЯ: ФАУНИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ ПРЯМОГО МИКРОСКОПИРОВАНИЯ

Иванова Е. А.

*Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия,
katya.iva@mail.ru*

Бентосная мейофауна из осадков прибрежных метановых сипов заметно угнетена по сравнению с зооценозами нормоксических осадков. В работе приведены данные таксономического состава и численности высших таксонов мейофауны в сульфуреттах мелководных газовыделений. Представлены результаты наблюдений функционального состояния мейобентоса методом прямого микрофотографирования в нефиксированных пробах и определена доля живой компоненты мейобентоса в пробах грунта из указанных местообитаний. Показано, что активный живой мейобентос обитает только в верхнем 0,0–0,5 см слое сульфидно-гипоксических осадков. Доля живых представителей мейобентоса, исследованных в этих кислороддефицитных экотопах Чёрного моря составляет 3–4 % от общей численности животных в пробах.

Ключевые слова: мейобентос, соотношение живых и мёртвых организмов в пробе, метановые сипы, Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

Возможность выживания морской мейофауны (среднеразмерная фракция зообентосных организмов с длиной тела до 1 мм) в критических условиях обитания стала остродискуссионной в последние полтора десятка лет. Под «критическими», экстремальными в данном случае подразумеваются свойства таких природных объектов как, например, метановые сипы – места струйных выходов газов из морского дна с образованием сульфуретт бактериальных матов или редокс-зона Чёрного моря, где кислород регистрируется в следовых количествах, а присутствие дыхательного яда – сероводорода делает среду малоприспособленной для большинства морских организмов – эукариот. Образцы грунта, добываемые с больших глубин Чёрного моря (Зайцев и др., 1987; Сергеева, 2005; Sergeeva et al., 2007) или из донных осадков, например, сиповых (Колесникова и др., 2011), зачастую содержат хорошо сохранившихся представителей мейобентоса, что позволило авторам допустить возможность постоянного обитания эукариот в отсутствие кислорода и при наличии больших количеств сероводорода, то есть в самых неблагоприятных условиях среды. Однако в большинстве упомянутых работ не учитывается тот факт, что при традиционной технике отбора проб для фаунистических исследований мейобентоса (Higgins et al., 1983) образцы грунта предварительно фиксируются формалином или этанолом, окрашенным красителем Бенгальский Розовый (БР). Это не позволяет достоверно отличить живых особей от мертвых организмов, погибших из-за критических условий среды, тела которых хорошо сохранились (Grego et al., 2013), что ведет к значительной переоценке (завышению) численности мейофауны, реально обитающей в экстремальном экотопе.

Вместе с тем, в других работах указываются и объективные причины находок мейобентосных организмов в грунтах с критическими условиями для существования бентоса – оползни грунта из кислородной зоны вглубь аноксических склонов дна или так называемый «дождь трупов», когда отмершие организмы оседают на дно и сохраняются длительное время неповрежденными в толще бескислородных осадков, турбидитные течения кислородсодержащих вод вдоль и вглубь континентальных склонов и так далее (Zaitsev, 2008; Гулин, 2012).

Таким образом, ключевым вопросом биологии мейобентоса сульфидно-гипоксических местообитаний является достоверный подсчет действительной численности живых особей на

момент отбора проб. Оказалось, что подобное завышение плотности скоплений реально жизнедеятельных организмов характерны не только для бентосных, но и для зоопланктонных сообществ. К примеру, в пробах из водной толщи центральной части Севастопольской бухты и взморья на её траверзе была определена доля живых копепод к общей численности обнаруженного мезозoopланктона. Оказалось, что доля живой компоненты варьировала в пределах 15–98 % от общего количества выловленных планктонных организмов (Литвинюк и др., 2011). Соответственно, игнорирование подобной детерминации живых/мёртвых гидробионтов при подсчёте численности может приводить в определённых случаях к ошибкам вплоть до одного порядка величин.

Особенно важной задачей корректной оценки функционального состояния организмов представляется, как отмечено выше, в отношении экстремальных биотопов, причём не только природного происхождения (например, в метан-сульфидных микробных матах газовых сипов бентали), но и спровоцированных деятельностью человека – в гипоксических осадках бухт и тому подобное. В Чёрном море первые целенаправленные наблюдения микро- и мейобентоса в нефиксированном – нативном состоянии были выполнены в 2010 г. Исследования проводились в редокс-градиентном сегменте бентали глубоководной части шельфа и континентального склона. В приобсфорском районе наибольшее количество живых, двигательных особей обнаружено в донных осадках на глубине 172 м – непосредственно над верхней границей сероводородной зоны пелагиали, примыкающей к материковому склону. На более пологом дне в северо-западной части моря в пределах субоксидной и редокс-зон также наблюдалось существенное скопление микроаэрофильных бентосных организмов. Сделан вывод, что указанные особенности локализации мейобентоса могут быть обусловлены градиентами глубин и рельефом дна, а также региональной стратификацией и пространственно-временной динамикой водных масс (Гулин, 2013).

В настоящей работе впервые с целью выявления фактической доли живой компоненты в пробах мейобентоса нами была проведена стратифицированная серия визуальных наблюдений состояний мейофауны из экстремальных биотопов Чёрного моря – метановых сипов прибрежной части.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наблюдения живой мейофауны в толще микробиальных матов в местах выхода пузырьковых струй газов со дна проводились в бухте Двужорная (восточный Крым) в сентябре 2013 года и на полуострове Тарханкут (северо-западная часть Крыма) в сентябре 2014 года (рис. 1). На этих же станциях проводился отбор и фиксация проб донных отложений для сравнения результатов традиционной техники отбора с результатами прямого микроскопирования (рис. 1).

По современным представлениям, газовые сипы – подводные высачивания газообразного метана из дна широко распространены в Мировом океане и хемоавтотрофная активность в них приводит к образованию массивных микробиальных обрастаний – так называемых бактериальных матов (Иванов и др., 1991; Michaelis et al., 2002; Skarke et al., 2014). Мелководные газовые сипы впервые обнаруженные у Крымского побережья, представляют собой участки дна, покрытые слоем микробных матов толщиной 8–17 см, с пушистым слоем на поверхности пепельно-серого цвета сверху и чёрной массой внутри. В результате жизнедеятельности метанотрофных бактерий образуется большое количество токсичного сероводорода, что приводит к критическому уменьшению содержания кислорода в осадках (и даже его полному отсутствию в глубинных слоях) (Gulin, 2004). Окислительно-восстановительный потенциал таких донных отложений достигает – 320 мВ (Тимофеев и др., 2014).



Рис. 1. Районы исследований

1 – мыс Тарханкут (сентябрь 2014); 2 – бухта Двужорная (сентябрь 2013).

Отбор проб грунта для визуальных наблюдений мейобентоса проводился пластиковым шприцем диаметром 4 см с разделением по слоям толщиной 1 см. Каждый слой пробы перекладывался в чашку Петри и просматривался под световым микроскопом. При необходимости пробу просматривали в камере Богорова. Верхняя пленка окисленного грунта толщиной примерно 0,5 см соскабливалась и изучалась отдельно. При визуальном наблюдении состояния мейофауны обращалось внимание на характер движения или наоборот, на неподвижность организмов или их частей (ресничек, жгутиков и так далее), их фото- и тактильные реакции (на прикосновение препаровальной иглы). Одновременно производился отбор проб грунта пластиковой трубкой диаметром 6 см (в 2014 году – диаметром 4 см) в слое осадков 0–2 см (в трёх повторностях) для традиционного анализа таксономического состава мейофауны сипов и окружающих песчаных грунтов. Пробы фиксировались 76 % раствором этанола, в 2014 году 4 % раствором формалина. Затем образцы осадка промывались через сито диаметром 30 μm , окрашивались красителем «Бенгальский розовый». После этого проводился подсчет и идентификация мейобентосных организмов до высших таксонов по (Higgins et al., 1988).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно наших данных традиционного таксономического исследования с фиксацией спиртом (или формалином) проб донных осадков, средняя численность мейофауны фоновых (чистых) песков недалеко от выходов метана в Двужорной бухте достигает 2150 ± 149 ($M \pm m$)¹ экз./0,01 м² с доминированием круглых червей Nematoda (до 76 %). Вклад Foraminifera (сем. Allogromiidae), Polychaeta и Harpacticoida в сообщество мейобентоса 7 %, 7 % и 6 %, соответственно. Молодь Bivalvia и Decapoda, а также Ciliata, Ostracoda, Turbellaria, Gromiida составляют незначительную часть бентосных поселений на фоновых песках вне зоны сипов.

В районе мыса Тарханкут фоновые значения средней численности мейобентоса достигали 3163 ± 479 экз./0,01 м² в слое 0–2 см. Примерно 62 % от общей численности мейобентоса приходилось на гарпактикоид и их науплии, а также 19 % на нематод, что позволило считать их доминантами и субдоминантами, соответственно. Молодь Decapoda, бентосные инфузории и многощетинковые черви (в основном, их пелагические личинки)

¹ Здесь и далее m – стандартная ошибка среднего.

составляли соответственно 7 %, 6 % и 4 %. Вклад остальных представителей мейобентоса – Foraminifera (сем. Allogromiidae), Nemertina и Ostracoda был незначителен.

Таксономический состав сообществ сиповых и фоновых местообитаний различен. Интересной особенностью сиповых осадков явилось то, что нематоды, которые считаются наиболее устойчивой к неблагоприятным условиям группой (Platt et al, 1983), доминантами здесь не являются. Следует отметить высокую долю Foraminifera, а именно мягкораковинные фораминиферы отряда Allogromiida семейства Allogromiidae, составляют значительную часть сообщества мейобентоса (субдоминанты). Ещё одной особенностью осадков в сипах (очевидно, сезонной) является большая доля представителей псевдомейобентоса, то есть ювенильных стадий макробентосных животных, например, полихет и моллюсков (табл. 1).

Средняя численность мейофауны метановых сипов бухты Двужкорная в 8 раз ниже фоновых значений окружающих песков, а сипов мыса Тарханкут – почти в 4 раза. Сопоставление общей численности мейобентоса метановых сипов из различных районов и фоновых станций на графике (рис. 2) показывают, что биотопы мелководных газовых сипов являются заметно угнетёнными по сравнению с окружающими песками.

Таблица 1

Таксономический состав и численность сообществ мейобентоса в слое грунта 0–2 см в двух исследованных районах Черного моря

Таксон	Бухта Двужкорная, мелководные газовые сипы		Мыс Тарханкут, мелководные газовые сипы	
	N	D	N	D
Annelida: Polychaeta	51,0	30,3	151,2	44,5
Arachnida: Acarina	1,1	0,5	29,2	8,6
Arthropoda: Ostracoda	2,2	0,9	5,3	1,6
Arthropoda: Cirripedia juv.	-	-	2,7	0,8
Arthropoda: Cladocera	0,6	0,3	-	-
Arthropoda: Decapoda juv.	0,6	0,4	-	-
Cephalorhyncha: Kinorhyncha	0,3	0,1	-	-
Cercozoa: Gromiida	1,1	0,3	-	-
Chordata: Ciliata	7,5	4,2	34,5	10,2
Crustacea: Harpacticoida	8,9	3,6	18,6	5,5
Foraminifera	86,6	41,7	69,0	20,3
Mollusca: Bivalvia juv.	26,8	7,5	2,7	0,8
Mollusca: Gastropoda	1,1	0,8	-	-
Nematoda	25,5	9,3	26,5	7,8
Platyhelminthes: Turbellaria	0,3	0,2	-	-
Всего	222,7	100,0	339,6	100,0

Примечание к таблице. N – средняя численность таксона, экз./0,01 м²; D – встречаемость таксона, %.

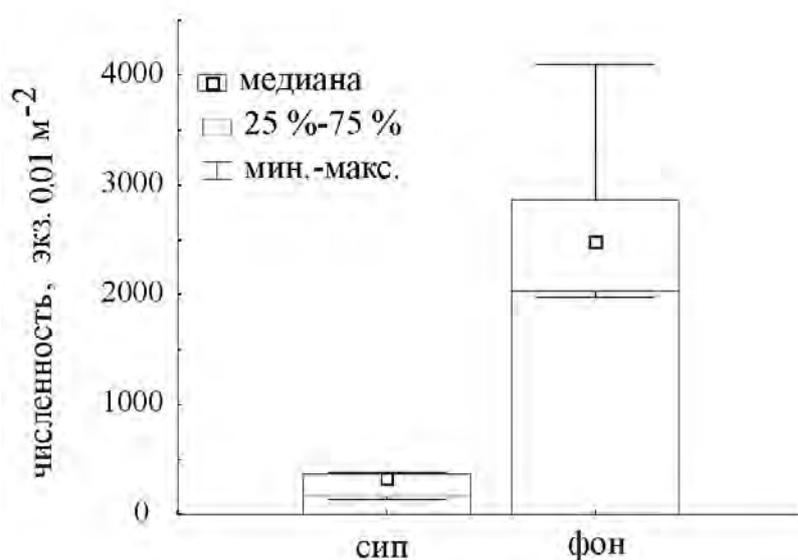


Рис. 2. Общая численность мейобентоса в местах подводных разгрузок метана и в фоновых точках на чистых песках для районов бухты Двужорная и мыса Тарханкут в слое осадка 0–2 см

Результаты визуальных наблюдений экофизиологического состояния мейобентосных организмов, проводимых одновременно с традиционным отбором проб, представлены в таблице 2. Обнаружено, что в бактериальных матах прибрежных метановых сипов признаки активной жизнедеятельности (активное передвижение, движение тела или его частей – ресничек, жгутиков и так далее, тактильные реакции и фототаксис) у представителей мейобентосных сообществ наблюдались только в верхнем 0,0–0,5 см слое осадка (в сипах Двужорной бухты – нематоды, в сипах мыса Тарханкут – нематоды и морские клещи Acarina). Остальные животные, довольно разнообразно представленные в пробах, не проявляли двигательной активности, не реагировали на прикосновение иглой или на свет и с большой долей вероятности могут быть отнесены к мёртвым организмам (табл. 2).

Следует отметить, что определение физиологического состояния у одноклеточных, не обладающих активно движущимися частями тела (ресничками и так далее) достаточно сложно. Например, чтобы идентифицировать одноклеточную кальцинированную фораминиферу как живую, под микроскопом наблюдалось в просвете её кальцинированной камеры плотное полупрозрачное содержимое – протоплазма, характерная для живых организмов. Несмотря на подобные ограничения, метод прямого микрофотографирования рекомендуется в методических пособиях по мейобентологии (Giere, 2009), поскольку является простым и недорогим способом оценки реальной плотности поселений мейофауны.

Общая численность и таксономический состав сообществ мейобентоса в пробах, взятых традиционным методом с фиксацией организмов (табл. 1), и в пробах для визуальных наблюдений (без фиксации) (табл. 2) вполне сопоставимы. Однако визуальное наблюдение физиологического состояния этих животных методом прямого учёта без применения фиксации спиртом или формалином показывает, что только 3–4 % от общего количества обнаруженных представителей мейофауны являлись живыми на момент отбора проб. Остальные организмы, вероятно, погибли в крайне агрессивной среде обитания и их трупы, не разлагаясь, способны находиться в слое осадка, где отсутствует кислород, достаточно продолжительное время. Таким образом, очевидно, что долю живой и мертвой компоненты мейобентоса необходимо учитывать при традиционных таксономических исследованиях, особенно в биотопах с экстремальными условиями обитания для гидробионтов, где сам вопрос о возможности существования жизни является ключевым.

Таблица 2

Таксономический состав и средняя численность мейофауны из бактериальных матов в сульфуреттах мелководных газовых сипов в пробах донных осадков по результатам визуальных наблюдений

Бухта Двужорная				Мыс Тарханкут	
Толщина слоя	Таксон	Живые	Неподвижные	Живые	Неподвижные
		Численность, экз./0,01 м ²			
0,0–0,5 см	Arachnida: Acarina	-	-	8,0	-
	Mollusca: Bivalvia juv.	-	-	-	8,0
	Chordata: Ciliata	-	5,0	-	95,5
	Foraminifera	-	14,1	-	23,9
	Foraminifera: Allogromiida	-			191,1
	Crustacea: Harpacticoida	-	2,5	-	71,7
	Nematoda	6,6	3,3	8,0	-
	Annelida: Polychaeta juv.	-	23,2	-	39,8
	Tardigrada	-	-	-	8,0
0,5–2,0 см	Arachnida: Acarina	-	16,6	-	8,0
	Mollusca: Bivalvia juv.	-	-	-	-
	Chordata: Ciliata	-	8,3	-	-
	Decapoda juv.	-	16,6	-	-
	Foraminifera	-	-	-	-
	Foraminifera: Allogromiida	-	25,7	-	63,7
	Crustacea: Harpacticoida	-	9,1	-	-
	Cephalorhyncha: Kinorhyncha	-	8,3	-	-
	Nematoda	-	16,6	-	-
	Arthropoda: Ostracoda	-	8,3	-	-
	Annelida: Polychaeta juv.	-	24,9	-	-
	Platyhelminthes: Turbellaria	-	8,3	-	-
Всего		6,6	190,9	16,0	509,8
Всего в слое 0–2 см		4 %	96 %	3 %	97 %

ВЫВОДЫ

Мейофауна прибрежных метановых сипов, обитающая в экотопах мелководных газовых сипов, является заметно угнетённой по численности, а также имеет различия таксономического состава в сравнении с населением окружающих песков.

Визуальное наблюдение экофизиологического состояния мейобентоса показало, что в условиях сероводородного заражения и острой гипоксии (а временами и аноксии) в осадках мелководных метановых сипов мыса Тарханкут и бухты Двужорная живые особи мейофауны обнаружены только в верхнем 0,0–0,5 см слое осадка. Доля живой компоненты мейобентоса составляет лишь 3–4 % от общей численности животных в пробах из сульфидно-гипоксических экотопов прибрежных метановых сипов.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность коллегам И. Н. Мосейченко и В. П. Чекалову (ИМБИ РАН, Севастополь) за помощь при проведении полевых работ.

Работа проводилась в рамках бюджетной темы № 0828-2014-0014 и гранта РФФИ № 17-04-00023А.

Список литературы

- Гулин М. Б. К изучению роли гипоксии и аноксии в жизни морских эукариот // Морск. экол. журн. – 2012. – Т. 11, № 1. – С. 81–98.
- Гулин М. Б. Батиметрическое распределение живых активных форм зообентоса в хемоклине Чёрного моря // Морск. экол. журн. – 2013. – Т. 12, № 1. – С. 5–17.
- Зайцев Ю. П., Анцупова П. В., Воробьева Л. В. и др. Нематоды в глубоководной зоне Черного моря // Докл. АН УССР. – Серия Б. – 1987. – П. – С. 77–79.
- Иванов М. В., Поликарпов Г. Г., Леин А. Ю. и др. Биогеохимия цикла углерода в районе метановых газовыделений Чёрного моря // ДАН СССР. – 1991. – Т. 320, № 5. – С. 1235–1240.
- Колесникова Е. А., Сергеева Н. Г. Первая находка *Darcythompsonia fairlensis* (Copepoda, Harpacticoida) в Черном море // Морск. экол. журн. – 2011. – Т. 10, № 1. – С. 26.
- Литвинюк Д. А., Алтухов Д. А., Муханов В. С. и др. Динамика доли живых Copepoda в планктоне Севастопольской бухты и открытого побережья в 2010–2011 гг. // Морск. экол. журн. – 2011. – Отд. вып. 2. – С. 56–65.
- Сергеева Н. Г. Неизвестный представитель Arthropoda из анаэробной зоны Черного моря // Вестн. зоологии. – 2005. – Т. 39, № 4. – С. 67–71.
- Тимофеев В. А., Иванова Е. А., Гулин М. Б. Обнаружение нового поля газовых сипов у черноморского побережья п-ова Крым // Морск. экол. журн. – 2014. – Т. 13, № 1 – С. 34.
- Giere O. Meiobenthology – the Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments, 2nd ed. / Berlin, Heidelberg: Springer –Verlag, 2009. – 527 pp.
- Gulin M. B. Dependence of location and intensity of the methane cold seeps on geophysical factors: the Black Sea near-shore shallow-water seeps, underwater video materials // Geophysical Research Abstracts. – 2004. – Vol. 6, 05394. – SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU04-A-05394.
- Grego M., Stachowitsch M., De Troch M. et al. CellTracker Green labelling vs. rose bengal staining: CTG wins by points in distinguishing living from dead anoxia-impacted copepods and nematodes // Biogeosciences. – 2013. – Vol. 10. – P. 4565–4575.
- Higgins R. P., Thiel H. Introduction to the study of meiofauna / Smithsonian Washington D.C.: Institution Press, 1988. – 488 pp.
- Michaelis W., Seifert R., Nauhaus K. et al. Microbial reefs in the Black Sea fueled by anaerobic oxidation of methane // Science. – 2002. – Vol. 297. – P. 1013–1015.
- Platt H. M., Warwick R. M. Free-living marine nematodes. British Enoplids. Part I. / Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1983. – 278 pp.
- Sergeeva N. G., Gulin M. B. Meiobenthos from an active methane seepage area in the NW Black Sea // Mar. Ecol. – 2007. – Vol. 28. – P. 152–159.
- Skarke A., Ruppel C., Kodis M. et al. Widespread methane leakage from the sea floor on the northern US Atlantic margin // Nature Geoscience. – 2014. – Vol. 7. – P. 657–661.
- Zaitsev Yu. P., Polikarpov G. G. Recently discovered new biospheric pelocontour function in the Black Sea reductive bathyal zone // Journ. of the Black Sea/Mediterranean Environment. – 2008. – Vol. 14, N 3. – P. 151–165.

Ivanova E. A. Meiobenthos ecology within the methane seeps of the Black Sea: results of taxonomical study and direct microscopic // Ekosystemy. 2017. Iss. 10 (40). P. 28–34.

Benthic meiofauna of the Black Sea extreme environments (methane seeps) tends to be significantly depressed in comparison with the reference sites. Data on densities and taxonomic composition of major meiobenthic taxa were presented. Research has shown the results of direct microscopic counts of the meiobenthos in non-stained natural sediment samples from shallow methane seeps. It was concluded that the proportion of live components of meiobenthic community in samples from the observed Black Sea' oxygen depression environments is only 3–4 % of the total number of meiofauna.

Key words: meiobenthos, alive and dead organisms, methane seeps, Black Sea.

Поступила в редакцию 05.10.2017.