

Оценка разнообразия, количественных и функциональных показателей сообществ мейобентоса в биотопах газовой-грязевой вулканизма Керченско-Таманского региона

Иванова Е. А.,¹ Гулин М. Б.²

¹ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия

² Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН
п. Борок, Ярославская область, Россия
iva@ibss-ras.ru, m_gulin@mail.ru

Проведены исследования бентосной мейофауны в локальных местообитаниях, связанных с проявлением газовой-грязевой вулканизма Таманского полуострова Краснодарского края. Также обследовано грязевое сульфидное озеро-лиман Голубицкое. Биотопы эпицентра подводного грязевого вулкана Голубицкий определены как умеренно гипоксические, все песчаные контрольные фоновые точки – как нормоксические. В донных отложениях лимана существуют перманентно аноксические условия, критические для существования мейофауны. Установлено, что извержения подводного грязевого вулкана оказывают заметное воздействие на свойства донных осадков. Так, через пять лет после извержения вулкана и образования грязевого острова, впоследствии размытого штормами и через два года после низкоинтенсивного извержения, донные осадки всё же заметно отличались от фоновых по окислительно-восстановительному потенциалу среды. В илах сульфидного озера-лимана нами была проведена в условиях, близких к *in situ* серия визуальных прижизненных наблюдений мейофауны в нефиксированных пробах донных осадков, в результате которой установлено отсутствие живого подвижного мейобентоса в верхнем слое ила. Численность мейзообентоса, обитающего в умеренно гипоксических осадках подводного вулкана несколько выше, чем на фоновых станциях. Наиболее высока встречаемость была у нематод, они доминировали во всех сообществах, доля остальных групп незначительна. В целом, численность мейофауны фоновых песков на Темрюкском побережье Азовского моря оказалась существенно выше, чем в Черном море, а также более многочисленна по сравнению с другими регионами Азовского моря.

Ключевые слова: мейобентос; подводные грязевые вулканы; экология гипоксических биотопов; сульфидные донные осадки; аноксия донной среды, Азовское море.

ВВЕДЕНИЕ

Подводный газовой-грязевой вулканизм играет значительную роль в изменении газового режима в водных экосистемах, как в прибрежных, так и в глубоководных (Затягалова, 2012). Производными этого процесса являются извержения грязевых вулканов и подводные высачивания газов и нефтепродуктов со дна – газовые сипы (Иванова и др., 2017).

Грязевые вулканы – довольно распространенное явление для побережья Азовского моря в Темрюкском районе Краснодарского края России. Для формирования грязевых вулканов в этом районе благоприятны тектоническая обстановка, развитие диапиризма, наличие мощных подстилающих толщ пластичных глинистых пород и наличие крупных газовых скоплений (Емельянов и др., 2012).

На мелководье Темрюкского залива находится подводный грязевой вулкан Голубицкий (рис. 1). Его периодические извержения были описаны еще в 19 веке (Иванова и др., 2017).

Особые условия донной среды, которые образуются в районе подводных грязевых вулканов и газовых сипов, могут способствовать развитию специфической бентосной фауны. Эти местообитания являются природными очагами повышенного накопления органического вещества в осадках, в первую очередь благодаря высокой бактериальной активности хемоавтотрофов (Michaelis et al., 2002).



Рис. 1. Район исследования: подводный грязевой вулкан Голубицкий и озеро-лиман поблизости

Гипоксия и сероводородное заражение среды являются главными последствиями накопления органического вещества в донных осадках. Классические работы по бентологии определяют, что реакцией бентоса на избыточное присутствие органического вещества в грунтах является резкое снижение или полное отсутствие макрофауны и преобладание мейобентосного компонента, в частности, нематод (Pearson, Rosenberg, 1978).

По литературным данным, для мейофауны доминирующей группой в таких биотопах являются Nematoda, также отмечены Foraminifera, Ciliata, Polychaeta, Oligochaeta, Crustacea, Platyhelminthes, Gnathostomulida, Kinorhyncha (Moodley et al., 1997; Gooday et al., 2000; Giere, 2009; Мокиевский, 2009).

Само по себе накопление органического вещества в осадках играет скорее благоприятную роль для бентоса, увеличивая трофическую привлекательность местообитания (Austen, Widdicombe, 2006). Однако, сероводород, образующийся в результате процессов микробиального разложения избытка органического вещества, и острый дефицит кислорода вследствие окисления водорастворимых сульфидов превращают донную среду обитания в чрезвычайно неблагоприятную для биоты (Гулин и др., 2010). В сильно загрязненных осадках могут регистрироваться также случаи периодической аноксии поровых вод, что особенно важно для мейобентоса, обитающего в глубине грунта, где нет контакта с поверхностными кислородсодержащими водами. Учитывая, что наличие кислорода – главный фактор для дыхания многоклеточных, периодическая аноксия в глубине осадка может оказаться губительной для мейофауны. Кроме того, присутствие сероводорода, являющегося сильнейшим дыхательным ядом, может быть дополнительным ограничивающим фактором для животных.

Целью наших исследований являлась сравнительная оценка состояния мейобентоса в условиях естественной гипоксии – в месте извержения подводного вулкана и грязевом лимане (Азовское море) с фоновыми песчаными пляжами. Мы впервые провели оценку экологического состояния мейобентоса, в местах регулярных выбросов подводного грязевого вулкана. Дополнительно обследован лиман-заповедник «Озеро Голубицкое», находящийся неподалёку от грязевого вулкана и известный своими лечебными грязями.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследований были выбраны донные осадки подводного грязевого вулкана, эпицентр которого находится в море под водой в рекреационной зоне недалеко от берега, а также солончатый лиман, так называемое Голубицкое грязевое озеро.

Подводный грязевой вулкан расположен вблизи станции Голубицкая Краснодарского края на мелководье Азовского моря. Его эпицентр находится в море под водой недалеко от берега. Этот район относят к нефтегазоносной области Таманского полуострова (Бакиров, 1982). Вулкан проявляет периодическую активность, происходят извержения большой и малой интенсивности. Интенсивное извержение грязевого вулкана летом 2008 года и в конце ноября 2015 года приводило к образованию острова из вулканической породы. Основная масса извергнутых пород состояла из алевроитовых фракций, однако наблюдалось и заметное количество вулканической брекчии – щебнёвой и глыбовой (до 50 см). По результатам наших наблюдений, остров существует меньше года (9–10 месяцев), затем размывается штормами и течениями (рис. 2).



Рис. 2. Места отбора проб

Подводный грязевой вулкан Голубицкий и озеро-лиман в станции Голубицкая (а); грязевулканический остров, образованный в июне 2008 года в результате извержения грязевого вулкана Голубицкий (б), вулканические осадки, слагающие остров (в) и спутниковое радиолокационное изображение ASAR ИСЗ “ENVISAT” от 30.09.2011 7:43 UEC (z); 1 – зона твердых осадочных веществ, 2 – органические пленки после низкоинтенсивного извержения 2011 года без образования острова.

В 2011 произошло еще одно извержение данного вулкана Голубицкий. На рисунке 2в показаны сигнатуры, связанные с активностью грязевого вулкана, которые удалось зафиксировать в рамках спутникового мониторинга состояния водной среды на радиолокационном изображении “ENVISAT” (Затягалова, 2012). Высокую яркость на радиолокационном изображении в окрестности эпицентра вулкана (светлая сигнатура округлой формы) автор объясняет наличием в морском поверхностном слое грязевого пятна с большим количеством грязевулканического материала и твердых осадочных пород, которые

привнесли дополнительную шероховатость для отраженного радиолокационного сигнала. Темные участки на радиолокационном изображении, находящиеся в непосредственной близости с зоной извержения, указывают на наличие пленок органического вещества. Поскольку зафиксированный процесс извержения происходил с низкой интенсивностью, то грязевулканическая деятельность не привела к образованию острова (Затягалова, 2012).

На момент нашей экспедиции в августе 2013 года (спустя 5 лет после сильного извержения 2008 года и 2 года после извержения низкой интенсивности без образования острова в 2011 году) эпицентр вулкана представлял собой большую сульфурету на морском дне (глубина 2–3 метра). Диаметр этого пятна составлял примерно 5 метров. Сульфурета была окружена несколькими меньшего размера сульфидными пятнами на поверхности осадков. Информация о физико-химических свойствах донных отложений приведена в таблице 1.

Таблица 1

Сведения о местоположении, глубине, типе субстрата, окислительно-восстановительном потенциале донных осадков и содержании органического углерода в донных осадках подводного вулкана Голубицкий и его окрестностях

| Точки отбора проб | Подводный вулкан | Фон | Грязевое озеро (урез воды) | Грязевое озеро (метровая глубина) |
|--|------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Широта | 45°20'00,7" | 45°19'48,5" | 45°19'51,0" | 45°19'50,3" |
| Долгота | 37°15'42,3" | 37°19'26,7" | 37°15'48,2" | 37°15'48,4" |
| Глубина, м | 1,5 | 1,5 | 0,3 | 1 |
| Тип донных осадков | Серый песок | Чистый песок | Чёрный илистый песок | Чёрный ил |
| Окислительно-восстановительный потенциал, мВ | +51—+122 | +206 | –320 | –415 |
| Содержание органического углерода, % | 1,28 | 0,95 | 2,18 | 11,25 |

На берегу находится солоноватый грязевой закрытый лиман, периодически заливаемый водами Азовского моря – так называемое Голубицкое грязевое озеро – еще один биотоп, выбранный нами в качестве эталонного анаэробного местообитания. Дно лимана покрыто слоем ила с высоким содержанием сероводорода, высокой пластичностью и однородностью. Озеро является памятником природы краевого значения, представляет собой закрытую морскую лагуну, отделенную от Азовского моря песчано-ракушечной пересыпью. Согласно данным Литвинской и Лозового (2005), длина озера составляет 500 м, ширина 180 м, глубина 1–2 м. В грязевом растворе озера-лимана содержатся, кроме сероводорода, бром и йод. Тип воды в озере хлоридный, магниевый-натриевый. Минерализация воды высокая, колеблется от 10 до 40 г/л. Активная реакция воды в озере – щелочная (Паспорт памятника..., 2012). Озеро является местной достопримечательностью и одним из популярных мест отдыха в Темрюкском районе, его грязь считается целебной, привлекая большое число туристов.

Отбор проб для исследований мейофауны проводился с помощью трубчатого пробоотборника диаметром 6 см в слое осадков 0–2 см для анализа таксономического состава мейофауны грунтов в эпицентре подводного вулкана и окружающих песчаных донных осадков. Точка отбора фоновых проб находилась примерно в 1 км от кратера грязевого вулкана. Для фиксации биологического материала в пробы добавляли 76 % этиловый спирт. В лаборатории производилась промывка осадков через сито 63 мкм, образцы окрашивались красителем «Бенгальский розовый». Извлечение из грунта и идентификация организмов осуществлялись с помощью бинокулярного микроскопа.

Визуальные прижизненные наблюдения бентофауны проводились на берегу сразу после отбора проб из озера-лимана на глубине 1 м и на урезе воды (0,3 м). Нефиксированные пробы грунта в слое 0–1 см просматривались под бинокулярным микроскопом в камере Богорова.

Одновременно производился отбор грунта для определения содержания органического вещества и измерения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП, мВ) с помощью

портативного вольтметра. Определение содержания органического вещества проводилось методом прокаливания (Hewitt, Mudge, 2004). Измерение ОВП проводилось стандартным потенциометрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования физико-химических свойств донных осадков после извержений вулкана.

На фоновых песчаных участках морского дна на песчаном пляже значения ОВП были зафиксированы до +206 мВ, что соответствует условиям нормоксии. Как указано в таблице 1, величины редокс-потенциала в эпицентре вулкана в августе 2013 года, через пять лет после высокоинтенсивного извержения летом 2008 года и через два года низкоинтенсивного извержения в 2011 году, составляли от +51 мВ до +122 мВ, что значительно ниже фоновых значений (+206 мВ), однако также соответствуют нормоксическим условиям донной среды. Иными словами, через пять лет после извержения вулкана и образования грязевого острова, впоследствии размытого штормами и через два года после низкоинтенсивного извержения, донные осадки всё же заметно отличались от фоновых по окислительно-восстановительному потенциалу среды.

В илах лимана показатель ОВП снижался до –320 на уресе воды, а глубже 1 метра достигал значений до –415 мВ. Указанные цифры с уверенностью позволяют относить эти осадки к аноксическим.

Содержание органического углерода в донных отложениях исследуемых биотопов заметно различалось (рис. 3). Осадки грязевого лимана характеризовались повышенным содержанием органических веществ (ОВ).

В осадках вулкана значения содержания органического вещества были несколько выше в абсолютных значениях, чем в фоновых точках, однако достоверно не различаются. Илы из лимана уже на песчанистом мелководье ниже уреза воды содержали в 2 раза больше ОВ, чем в вулкане и в фоновой точке, а на глубине 1 м этот показатель в 8 раз превышал фоновые значения.

Мейобентосные исследования донных осадков подводного грязевого вулкана и грязевого озера-лимана. В илах сульфидного озера-лимана нами была проведена серия *in situ* визуальных прижизненных наблюдений мейофауны в нефиксированных пробах донных осадков. Результаты представлены в таблице 2.

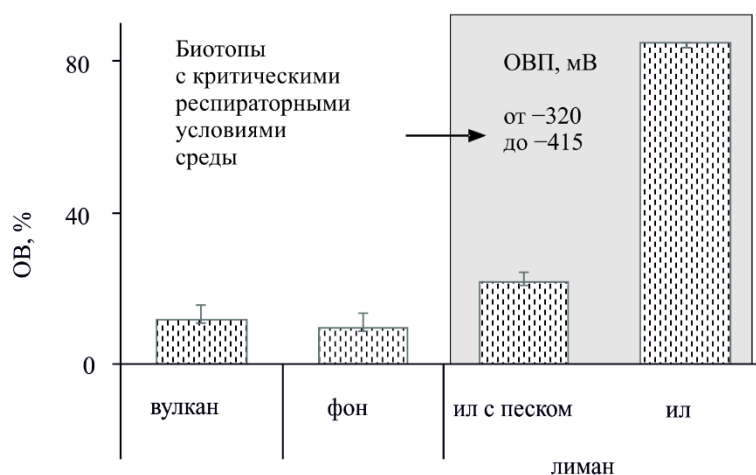


Рис. 3. Среднее содержание ОВ с доверительными интервалами в донных осадках исследуемых биотопов

ОВ – органическое вещество, ОВП – окислительно-восстановительный потенциал.

Таблица 2

Визуальные наблюдения бентосных организмов *in situ* в нефиксированных пробах сульфидных осадков грязевого озера-лимана Голубицкого, Темрюкский залив Азовского моря (слой 0–1 см)

| Таксон | Глубина 0,3 м | | Глубина 1 м | |
|----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | Живые | Неподвижные | Живые | Неподвижные |
| Amphipoda | 0 | 5 | 0 | 0 |
| Dinoflagellata | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Diatoma | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Nematoda | 0 | 1 | 0 | 0 |

Непосредственно на урезе воды (глубина 0,3 м) в сульфидном озере обнаружены неподвижные бокоплавы, динофлагелляты, клетка диатомовой водоросли и неподвижная нематода. Значения окислительно-восстановительного потенциала здесь зафиксированы как –320 мВ на урезе воды и –415 мВ на метровой глубине озера-лимана (табл. 1), что свидетельствует об аноكсии донной среды. Сильный запах H_2S подтверждает сероводородное заражение грунта. Существование живых бентосных форм в таких условиях очевидно невозможно. Наиболее вероятно, что обнаруженные представители бентофауны были привнесены в лиман из моря штормами, когда волны перехлестывают через песчаную пересыпь, отделяющую озеро от Азовского моря и впоследствии они погибли в сульфидно-аноксических условиях среды. На глубине 1 м в илах сульфидного озера зообентоса не обнаружено.

Мейофауна в районе подводного вулкана Азовского моря была представлена десятью высшими таксонами, относящимися как к постоянному (эвмейобентос), так и к временному (псевдомейобентос) компонентам. Псевдомейобентос был крайне малочислен и составлял лишь 5 % от общего числа мейофауны на фоновых станциях и 11 % в вулкане. Таким образом, мейобентос был представлен главным образом за счет его постоянного компонента. Наиболее высока встречаемость была у нематод, они доминировали во всех сообществах, доля остальных групп незначительна.

Общая численность мейофауны в умеренно гипоксических осадках подводного грязевого вулкана оказалась несколько выше, чем на фоновых станциях. Это, вероятно, объясняется более высоким содержанием ОВ в грунтах вулкана, что повышает пищевую привлекательность биотопа, однако ещё не достигает критических значений, когда процессы микробиальной деструкции углерода приводят к уменьшению концентрации кислорода и появлению токсичного сероводорода. В аноксических, насыщенных сероводородом осадках грязевого лимана особей мейобентоса, ожидаемо, не обнаружено (табл. 3).

На рисунке 4 приведено сравнение наших данных с доступными исследованиями мейофауны Азовского моря – работами в Таганрогском заливе (Сергеева, Буркацкий, 2002) и на западном побережье Азовского моря (Александров и др. 2011).

Сравнительный анализ общей численности мейофауны в различных частях Азовского моря показал, что на Темрюкском побережье мейобентос был более обилен, чем в других районах Азовского моря, причём в донных осадках, приуроченных к извержению грязевого вулкана, общая численность мейофауны была несколько выше, чем на окружающих участках песчаного пляжа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из результатов измерений окислительно-восстановительного потенциала в донных осадках, биотопы эпицентра подводного грязевого вулкана классифицированы нами как умеренно гипоксические, а все песчаные контрольные фоновые точки отбора проб – как

Таблица 3

Таксономическое разнообразие, численность (N, экз./100 см²) и доминирование (D, %) основных таксонов мейобентоса у побережья станции Голубицкая, Азовское море и в осадках грязевого озера-лимана Голубицкого

| Таксон | Вулкан | | Фон | | Лиман |
|---------------|--------|-------|------|------|-------|
| | D, % | N | D, % | N | N |
| Bivalvia juv. | 8 | 991 | 4 | 300 | 0 |
| Ciliata | <1 | 35 | <1 | 31 | 0 |
| Decapoda juv. | <1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Foraminifera | 7 | 818 | 3 | 249 | 0 |
| Harpacticoida | 2 | 192 | <1 | 22 | 0 |
| Kinorhyncha | <1 | 1 | <1 | 3 | 0 |
| Nematoda | 79 | 9243 | 91 | 7567 | 0 |
| Ostracoda | <1 | 21 | <1 | 10 | 0 |
| Polychaeta | 3 | 363 | 1 | 106 | 0 |
| Turbellaria | <1 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Всего | 100 | 11684 | 100 | 8288 | 0 |

Примечание к таблице. Серым цветом выделены представители временной компоненты сообщества – псевдомейобентос.

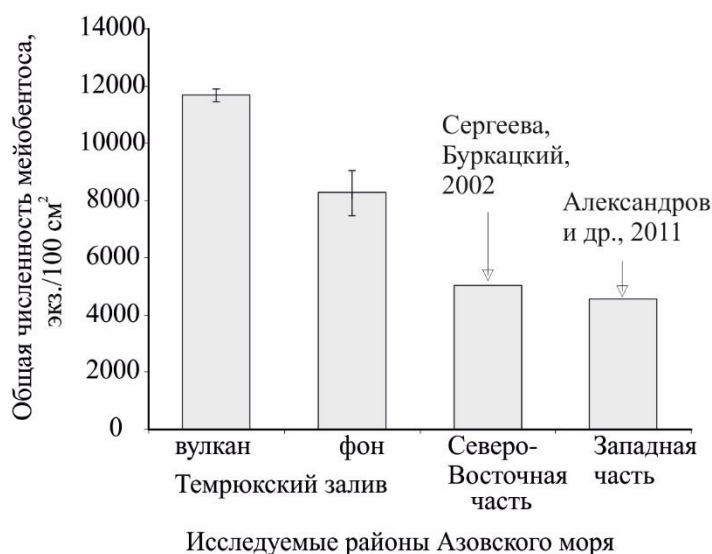


Рис. 4. Сравнение общей численности мейобентофауны в исследуемом районе грязевого вулкана (Темрюкский залив) и в других частях Азовского моря по литературным данным (Сергеева, Буркацкий, 2002; Александров и др., 2011)

нормоксические. В донных отложениях лимана существуют перманентно аноксические условия, что является критическими условиями для существования мейофауны. Осадки лимана характеризуются наивысшим содержанием органического углерода.

Извержения подводного грязевого вулкана оказывают заметное воздействие на донные осадки. Так, через пять лет после извержения и образования грязевого острова, впоследствии размытого штормами и через два года после низкоинтенсивного извержения, донные осадки всё же заметно отличались от фоновых по окислительно-восстановительному потенциалу среды. Содержание органического вещества в осадках грязевого вулкана хотя и слегка превышало фоновые значения окружающих морских песков, но достоверно не отличалось.

В аноксических сероводородных осадках грязевого лимана мейофауна отсутствует. Численность мейзоообентоса, обитающего в умеренно гипоксических осадках подводного вулкана Азовского моря несколько выше, чем на фоновых станциях. Такую ситуацию можно рассматривать как иллюстрацию так называемого «экологического компромисса», где привлекательность биотопа для гидробионтов определяется наличием органического вещества в качестве пищевого ресурса, но ограничивается снижением кислорода и появлением токсичного сероводорода (Иванова, Гулин, 2020).

Мейобентос вулканических и фоновых осадков был представлен главным образом за счет его постоянного компонента – эвмейобентоса. Наиболее высокая встречаемость была отмечена у нематод, они доминировали во всех сообществах, доля остальных групп незначительна. Общая численность мейофауны в умеренно гипоксических осадках подводного грязевого вулкана была несколько выше, чем на фоновых станциях.

В целом, численность мейофауны песков на Темрюкском побережье оказалась более многочисленна по сравнению с другими регионами Азовского моря.

Исследования проводились по теме госзадания ФГБУН ФИЦ «ИнБЮМ им. А. О. Ковалевского» № 124030100137-6 «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» и теме госзадания ФГБУН «ИБВВ им. И. Д. Папанина» № 124032500012-6 «Разнообразие, структура, функционирование и роль вирусов, прокариотных и эукариотных микроорганизмов в формировании биологического режима континентальных вод».

Список литературы

- Александров Б. Г., Воробьева Л. В., Кулакова И. И., Гаркуша О. П., Рыбалко А. А., Портянко В. В. Сообщество гидробионтов краевого биотопа илисто-песчаной псевдоликторали в Азовском море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2011. – Вып. 25-1. – С. 362–374.
- Бакиров А. А., Табасаранский З. А., Бордовская М. В. Геология и геохимия нефти и газа. – Москва: Недра, 1982 г. – 288 с.
- Гулин М. Б., Тимофеев В. А., Бондаренко Л. В. Зообентос в микробиотопах метановых сипов шельфовой зоны Крымского побережья // Системы контроля окружающей среды. – 2010. – Вып. 14. – С. 225–229.
- Емельянов В. А., Пасынков А. А., Пасынкова Л. А., Прохорова Л. А. Геоэкология украинского сектора глубоководной зоны Черного моря. — Киев: Академперіодика, Інститут геологічних наук НАНУ, – 2012. – 320 с.
- Затягалова В. В. О некоторых особенностях естественных выходов углеводорода в восточной части Азово-Черноморского бассейна // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 194–201.
- Иванова Е. А., Гулин М. Б. Экология мейобентоса в локальных биотопах газовых сипов прибрежной акватории Крыма: таксономический состав и распределение в толще осадков // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 410–423
- Иванова Е. А., Гулин М. Б., Чекалов В. П., Масберг И. В. Динамика загрязнения природными нефтепродуктами и сульфидами прибрежной акватории в рекреационной зоне Азовского моря после извержения подводного грязевого вулкана Голубицкий (октябрь 2015 г.) // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития: тезисы докладов Всероссийской научной конференции (Москва, 20–22 марта 2017 г.). – М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2017. – С. 337–338.
- Литвинская С. А., Лозовой С. П. Памятники природы краснодарского края. – Краснодар, 2005. – 352 с.
- Мокиевский В. О. Экология морского мейобентоса. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2009. – 286 с.
- Сергеева Н. Г., Буркацкий, О. Н. Мейобентос восточной части Азовского моря в весенний период 2001 г. // Экология моря. – 2002. – Вып. 59. – С. 37–41.
- Паспорт памятника природы регионального значения Озеро Голубицкое (Темрюкский район): приказ департамента природных ресурсов и государственного экологического надзора Краснодарского края от 13 дек. 2012 г. № 361 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.uooptkk.ru/wp-content/uploads/2018/02/Озеро-Голубицкое.pdf> (просмотрено: 01.08.2025).
- Austen M. C., Widdicombe S. Comparison of the response of meio- and macrobenthos to disturbance and organic enrichment // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2006. – Vol. 330, iss 1. – P. 96–104.
- Giere O. Meiobenthology – the Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments, 2nd ed. – Berlin, Heidelberg: Springer – Verlag. – 2009. – 527 pp.

Gooday A. J., Bernhard J. M., Levin L. A., Suhr S. B. Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings: taxonomic composition, diversity, and relation to metazoan faunas // *Deep-Sea Research.*, Part II. – 2000. – Vol. 47, N 1–2. – P. 25–54.

Hewitt E., Mudge S. Detecting anthropogenic stress in an ecosystem: 1. Meiofauna in a sewage gradient // *Environmental Forensics.* – 2004. – Vol. 5, N 3. – P. 155–170.

Michaelis W., Seifert R., Nauhaus K., Treude T., Thiel V., Blumenberg M., Knittel K., Gieseke A., Peterknecht K., Pape T., Boetius A., Amann R., Jorgensen B. B., Widdel F., Peckmann J., Pimenov N. V., Gulin M. B. Microbial reefs in the Black Sea fueled by anaerobic oxidation of methane // *Science.* – 2002. – Vol. 297, N 5583. – P. 155–170.

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) // *Marine Ecology Progress Series.* – 1997. – Vol. 158. – P. 151–163.

Pearson T. H., Rosenberg R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment // *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review.* – 1978. – N 16. – P. 229–311.

Ivanova E. A., Gulin M. B. Assessment of Diversity, Abundance, and Functional Indicators of Meiobenthic Communities in Biotopes Associated with Gas-Mud Volcanism (Kerch-Taman Region) // *Ekosistemy.* 2025. Iss. 44. P. 185–193.

This study investigates benthic meiofauna in local habitats associated with gas-mud volcanism of the Taman Peninsula (Krasnodar Krai). The authors also examined the Golubitskiy mud sulfide lake-estuary. Biotopes near the epicenter of the submerged Golubitskiy mud volcano were characterized as moderately hypoxic, in contrast to normoxic conditions at sandy control sites. The bottom sediments of the lake-liman exhibited permanently anoxic conditions, critical for the survival of meiofauna. It was proved that the eruptions of an underwater mud volcano had a significant impact on the bottom sediments features. For example, five years after the eruption of the volcano and the formation of a mud island, which was subsequently eroded afterwards by storms, and two years after a low-intensity eruption, the bottom sediments still differed significantly from the background sediments in terms of the redox potential of the environment. A series of *in situ* visual observations of live meiofauna in unfixed sediment samples from the sulfide lake-estuary revealed an absence of living, motile meiobenthos in the upper sediment layer. The abundance of meiozoobenthos inhabiting the moderately hypoxic sediments of the underwater volcano was slightly higher than at the background stations. Nematodes were the most abundant and dominated in all communities, while the other groups were less considerable. In general, abundance of meiofauna in the background sands of the Temryuk coast of the Sea of Azov was significantly higher than in the Black Sea, and it also exceeded levels reported from other regions of the Sea of Azov.

Key words: meiobenthos, underwater mud volcanoes, ecology of hypoxic biotopes, sulfide bottom sediments, anoxia of the bottom environment.

Поступила в редакцию 20.09.25

Принята к печати 20.11.25