

## ФИЗИКА ЗЕМЛИ, АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

**Измерения флюидной разгрузки метана ловушечным методом в бухте Ласпи (Черное море)**Т. В. Малахова,<sup>1, а</sup> А. А. Будников,<sup>2, б</sup> И. Н. Иванова,<sup>2</sup> А. И. Мурашова<sup>1</sup><sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН». Россия, 299011, Севастополь, проспект Нахимова, д. 2.*<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики моря и вод суши. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1.*

Поступила в редакцию 11.06.2020, после доработки 24.09.2020, принята к публикации 05.10.2020.

Проведены измерения флюидной разгрузки метана из донных осадков и суточный мониторинг основных гидрофизических параметров вблизи площадки струйных пузырьковых газовыделений (сипов) в бухте Ласпи. Значения флюидных потоков изменялись на порядок (1.4–74.3 ммоль/м<sup>2</sup>сут) в точках, разделенных расстоянием не более 10 м. Предполагается, что более плотные карбонатные отложения на площадке сипов могут локализовать газовые потоки, уменьшая объем флюидной разгрузки. Показано, что удельная флюидная разгрузка в бухте Ласпи сопоставима с потоком от точечных сипов, максимальный флюидный поток всего в 3.5 раза ниже по сравнению с минимальным зарегистрированным потоком от сипа. На изменение гидрологических параметров над точкой газовыделений значимое влияние оказывает волнение. Изменение солености за время измерений составило в предельном значении 0.08 ‰, что свидетельствует об отсутствии высокодебитной пресноводной субмаринной разгрузки, которая часто сопутствует сипам. Эпизоды резкого снижения содержания кислорода амплитудой 0.5 мг/л в ночные часы, не связанные с изменением температуры воды и метеословий, могут быть вызваны подтоком сероводорода в составе пузырькового и флюидного газов.

*Ключевые слова:* метан, флюидная разгрузка, газовая ловушка, сипы, бухта Ласпи, Черное море.

УДК: 551.46.06. PACS: 92.05.Hj, 92.10.Lq, 92.60.Ek.

**ВВЕДЕНИЕ**

Изучение потоков вещества с морского дна, связанных с газовой разгрузкой земных недр, продолжается на протяжении последних сорока лет, однако интерес к данной проблеме не ослабевает в связи с большой важностью получаемых результатов для многих направлений исследований, связанных с морской геологией, геофизикой, биологией, климатологией и др. Данные потоки оказывают непосредственное влияние на формирование осадочной толщи, влияют на минерализацию, на формирование специфических сообществ микро- и макроорганизмов. Газовый состав углеводородных потоков несет информацию о глубинном строении подстилающей поверхности, по которой можно судить о нефтегазоносности нижележащих пород, не прибегая к бурению.

В Черном море экспедиционные исследования подводных газовыделений начались в конце 1980-х годов прошлого века и показали широкое распространение данного явления на самых различных глубинах [1]. Определено, что струйные газовыделения могут существенно изменять содержание растворенного метана в воде и создавать газлифтовый апвеллинг [1, 2]. Последнее десятилетие внимание исследователей было сосредоточено на изучении мелководных метановых сипов и биогеохимических процессах, сопутствующих им [3–7]. География распространения прибрежных струйных газовыделений Крыма охватывает районы от мыса Тарханкут на западе полуострова до бухты Двужерной на юго-востоке. Большинство прибрежных сипов Крыма имеет биогенную природу, при этом источник

газовыделений может находиться как в верхних слоях донных отложений, так и значительно глубже. В компонентном составе пузырькового газа прибрежных районов Крыма преобладает метан, однако его процентное содержание значительно ниже, чем в газовыделениях глубоководных районов Черного моря, где содержание метана превышает 99 %. Мелководные пузырьковые газовыделения характеризуются различной активностью и периодичностью. По этим показателям выделяются сезонные, круглогодичные и спорадические сипы.

Пузырьковые газовыделения в бухте Ласпи являются одними из наиболее активных мелководных сипов Крыма. Их отличительная особенность — круглогодичность, причем интенсивность газовыделений не меняется значительно в теплое и холодное время года в отличие от сезонных мелководных сипов Гераклейского полуострова [4, 7] и сипов у мыса Тарханкут [6]. Визуально за многолетний период наблюдений в прибрежной части бухты фиксировались более 20 отдельных струй различной интенсивности, при этом на поверхности осадков в районе газовыделений не было отмечено формирование бактериальных матов, как, например, в бухте Голубой [3] или в бухте Мраморной [7]. Во время проведения эхо-съемок в открытой части бухты Ласпи на площади  $41.5 \cdot 10^3$  м<sup>2</sup> были обнаружены 5 акустических аномалий, указывающих на наличие струйных газовыделений в диапазоне глубин 14–24 м [5]. Предполагается, что эти газовыделения связаны с сипами в кутовой части бухты единым глубинным источником углеводородных газов. Проводимые ранее оценки потоков газа в бухте Ласпи в отдельных точках выхода составляли от 6 до 40 л/сут [8].

<sup>а</sup> E-mail: t.malakhova@imbr-ras.ru<sup>б</sup> E-mail: aa.budnikov@physics.msu.ru

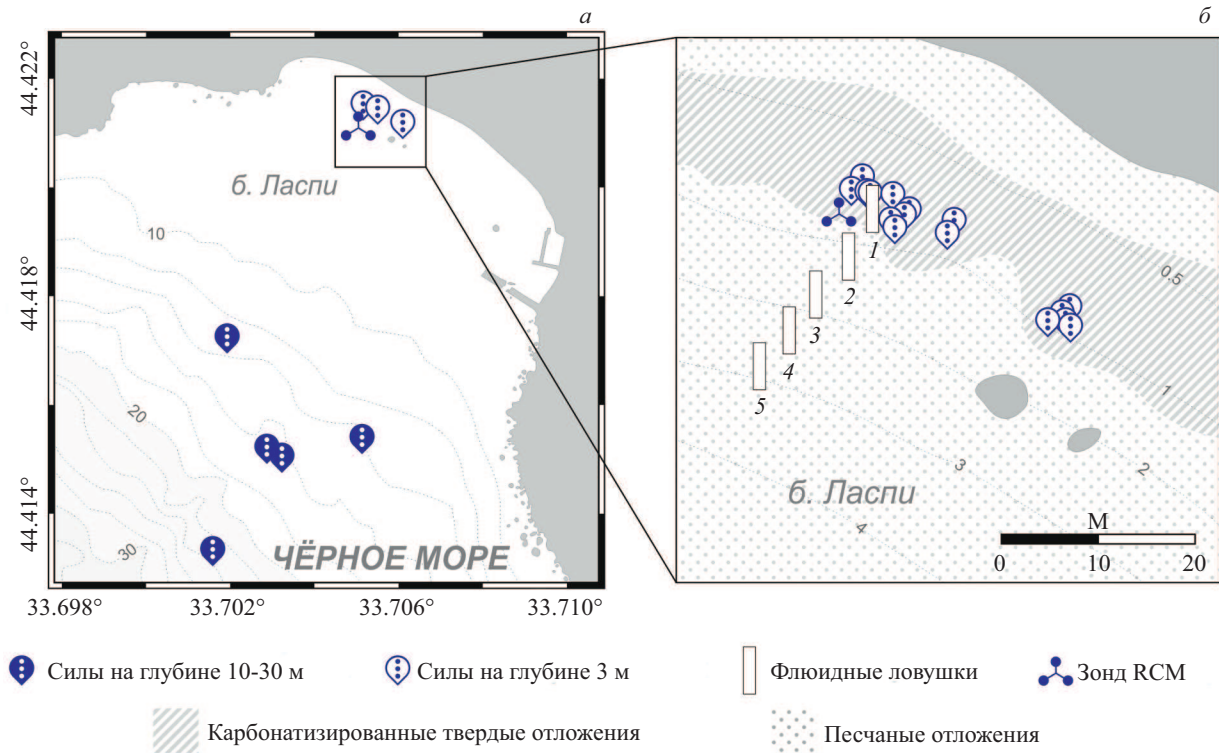


Рис. 1. Карта района газовыделений: а — группа прибрежных сипов [4] и более глубоководных газовыделений [5]; б — схема расположения флюидных ловушек на площадке мелководных газовыделений

Отдельный интерес представляет собой изучение сопутствующих флюидных потоков в свете оценки их вклада в общий поток и влияния на биологические и геохимические процессы в морских осадках, на газовый состав морской воды и, как следствие, на процессы газообмена через границы раздела сред донные осадки—вода и вода—атмосфера. Стоит отметить, что вопрос о количестве поступающего метана из донных осадков в виде флюидной разгрузки или диффузионных потоков недостаточно изучен. Особенно мало данных прямых *in situ* измерений в связи со сложностью их проведения в морских акваториях. Для оценки потоков растворенных газов из донных отложений многие исследователи используют расчетные методы на основе данных о концентрации  $CH_4$  в донных осадках и придонном слое воды [9].

Цель данной работы заключалась в измерении ловушечным методом потоков флюидной метановой разгрузки в зоне действия сипов в бухте Ласпи, оценке интенсивности флюидной разгрузки со всей площадки газовыделений и сравнении полученных значений со значениями потоков пузырьковой разгрузки в этом районе. Кроме этого, исследовалось влияние газовой разгрузки на гидрологические параметры над точкой газовыделений.

## 1. РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ

### 1.1. Характеристика исследуемого района

Общая площадь зоны газовыделений в бухте Ласпи составляет около 500 м<sup>2</sup>. Большая часть выходов пузырьков газа находится на поверхности скального образования, представляющего собой асимметричный вал, вытянутый вдоль береговой линии. Он имеет протяженность около 30 м, ширину 10 м

и высоту не больше 0.5 м и характеризуется пологой наклонной поверхностью в сторону открытого моря и крутым (до 70°) уступом со стороны берега [10]. Внешняя по отношению к берегу поверхность скального образования погружена под песчаные отложения прилегающего дна, что не позволяет точно оценить его размеры. Одновременно на этом участке насчитывалось более 20 отдельных точек струйных выходов газа как из скальных образований, так и из песка [4]. Судя по цементации четвертичных отложений [11], типичных для сипов северо-западной части Черного моря, эти газовыделения относительно стабильны во времени и приводят к локальным изменениям в геологической и биологической средах. Точки выхода пузырькового газа можно разделить на две группы (рис. 1, а): прибрежную (на глубине 2.5 м) и более отдаленную от берега (на глубине 20–30 м). В прибрежной зоне пузырьковые высачивания были распределены достаточно равномерно по всей площади, на которой они наблюдались.

### 1.2. Измерения температуры, электропроводности и содержания растворенного кислорода

В прибрежной зоне бухты Ласпи (44.420° с.ш., 33.706° в.д.) 27–28 июля 2019 г. была выполнена суточная станция непосредственно над точкой непрерывного выхода пузырькового газа, расположенной на глубине 3 м. Гидрофизические измерения проводились при помощи мультипараметрического зонда RCM 9 LW AANDERAA INSTRUMENTS (Норвегия). Точности измерений температуры  $T$ , электропроводности  $C_k$  и содержания растворенного кислорода  $O_2$  составляли 0.02 °С, 0.02 мСм/см, 0.25 мг/л соответственно. Датчики прибора располагались на высоте 0.5 м от дна.

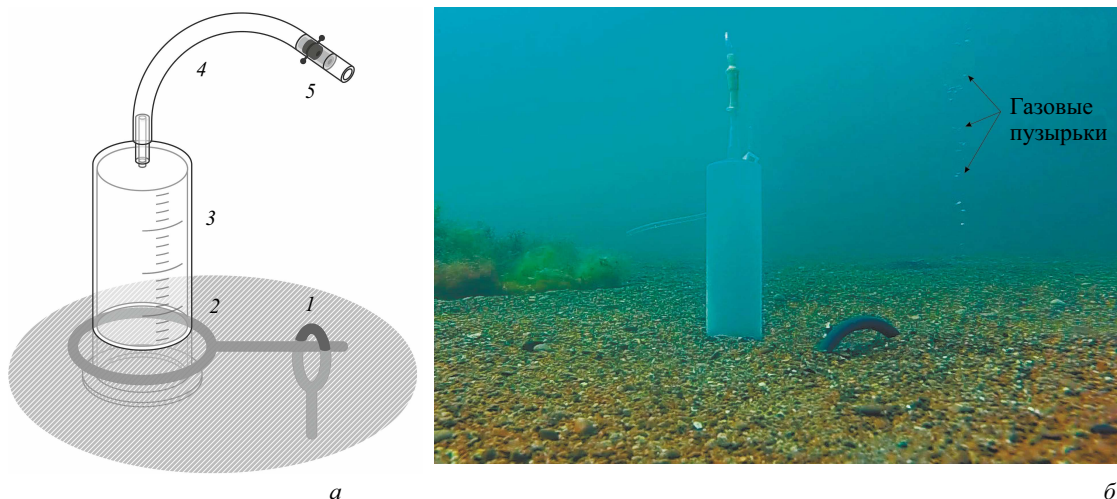


Рис. 2. Схема флюидной ловушки: *а* — 1 и 2 — фиксирующие кольца, 3 — цилиндрический контейнер, 4 — соединительный шланг, 5 — кран для отбора проб, *б* — подводное фото установленной ловушки и газовых пузырьков

### 1.3. Флюидные потоки

В направлении от площадки прибрежных газодыделений в море (рис. 1, б) было инсталлировано 5 флюидных ловушек, которые представляли собой пластиковые цилиндрические контейнеры объемом 160 мл с нижним открытым основанием, укомплектованные в верхней части шлангом и краном для отбора пробы воды (рис. 2). Расстояние между соседними ловушками составляло около 5 м. Ловушки были погружены в слой песка на несколько сантиметров и закреплены фиксирующими кольцами. Для отбора пробы к соединительному шлангу прикреплялся шприц объемом 60 мл, после чего кран открывался и производился отбор. Первый раз пробоотбор был выполнен сразу после установки, затем через 1 ч пробоотбор был повторен. Содержание  $\text{CH}_4$  в воде измерялось газохроматографическим методом после фазово-равновесной дегазации в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ [12]. Пробы воды на каждой станции отбирались в двух повторностях. Ошибка определения метана не превышала 7%.

Расчет флюидных потоков производился по формуле (1)

$$F_{\text{CH}_4} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{S \cdot T}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{CH}_4}$  — поток флюидной разгрузки  $\text{CH}_4$  (ммоль/м<sup>2</sup>сут);  $V_{\text{CH}_4}$  — объем  $\text{CH}_4$  (ммоль/м<sup>2</sup>сут);  $S$  — площадь сечения ловушки ( $1.3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>);  $T$  — время экспозиции (0.042 сут).

Объем газа рассчитывался по формуле (2):

$$V_{\text{CH}_4} = (C2_{\text{CH}_4} - C1_{\text{CH}_4}) \cdot V_{\text{inst}}, \quad (2)$$

где  $C2_{\text{CH}_4}$  — концентрация  $\text{CH}_4$  в конечный момент (ммоль/л);  $C1_{\text{CH}_4}$  — концентрация  $\text{CH}_4$  в начальный момент (ммоль/л);  $V_{\text{inst}}$  — объем установки (л).

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воздуха на протяжении измерений варьировалась в пределах 23.5–29 °С, скорость ветра — 0–4.8 м/с, преобладало западное направление ветра,

Таблица. Концентрация  $\text{CH}_4$  в ловушке в начальный и конечный моменты эксперимента и расчетное значение флюидного потока в бухте Ласпи для 5 исследованных точек (1 — ближайшая к полю газодыделений, 5 — наиболее отдаленная)

| № ловушки | $C1_{\text{CH}_4}$ , нмоль/л | $C2_{\text{CH}_4}$ , нмоль/л | $F_{\text{CH}_4}$ , ммоль/м <sup>2</sup> сут |
|-----------|------------------------------|------------------------------|--|
| 1         | 31                           | 18                           | —*   |
| 2         | 68                           | 636                          | 1.6  |
| 3         | 37                           | 25960                        | 74.3   |
| 4         | 40                           | 2211                         | 6.2  |
| 5         | 4                            | 482                          | 1.4  |

\* — при расчетах получено отрицательное значение потока.

наблюдаемое волнение — 0–3 балла. По данным выполненных над сипом измерений, электропроводность  $C_{\kappa}$  во время измерений изменялась в диапазоне от 28.25 до 29.01 мСм/см, что соответствует изменению солёности 18.26–18.34 ‰. Диапазоны изменений температуры воды  $T$  и  $\text{O}_2$  составили 22.39–24.33 °С и 7.03–8.34 мг/л соответственно. В суточной динамике изменения температуры в бухте Ласпи был явно выражен дневной прогрев и ночное выхолаживание.

Концентрация  $\text{CH}_4$  во флюидных ловушках в начальный и конечный моменты эксперимента, а также рассчитанное по этим данным значение флюидного потока для исследованных точек представлены в таблице.

Диапазон концентрации  $\text{CH}_4$  в пробах воды из флюидных ловушек в начальный момент отбора составил 4–68 нмоль/л, в конечный — 18–25960 нмоль/л (см. таблицу). Максимальный поток получен для точки 3 и был равен 74.3 ммоль/м<sup>2</sup>сут, минимальный — принятый нулевым — для точки 1, ближайшей к сипам. Потоки пузырькового газа в бухте Ласпи, рассчитанные при помощи пассивного акустического метода, изменялись от 6 до 40 л/сут от отдельных сипов [8], что составляет 260–1780 ммоль/сут. Если принять, что на 1 м<sup>2</sup> приходится не больше одной точки пузырьковых



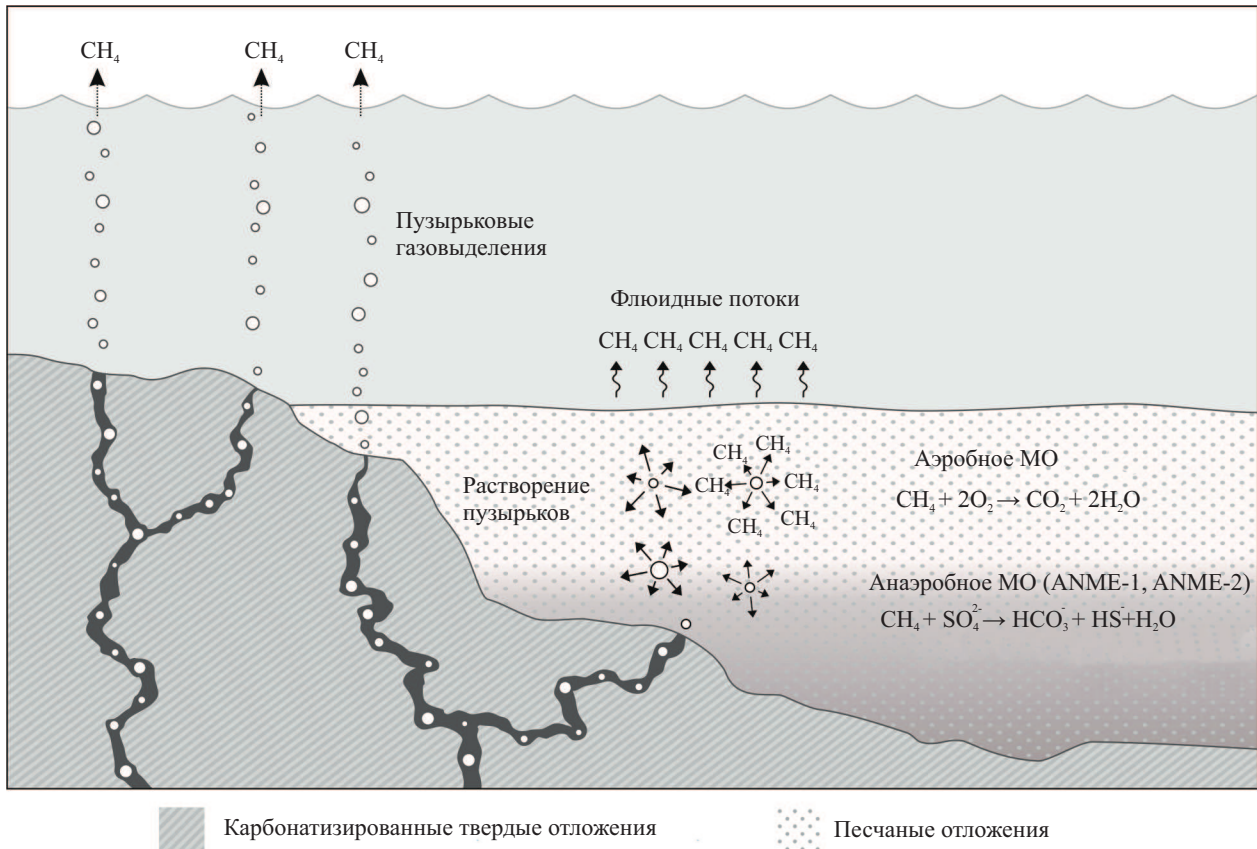


Рис. 3. Предполагаемая принципиальная схема процессов газовыделения в бухте Ласпи

газовыделений, то можно сравнить удельные потоки от струйной и флюидной газовых разгрузок. Как видно из таблицы, максимальный флюидный поток всего в 3.5 раза ниже по сравнению с минимальным зарегистрированным газовым потоком от сипа.

**2.1. Механизм флюидной разгрузки**

Наибольший поток, зафиксированный в точке 3, находящейся на расстоянии 10 м от зоны выхода пузырькового газа, может быть вызван значительной мозаичностью флюидной газовой разгрузки. В работе [13] было показано, что флюидные потоки метана в районе залежей газгидратов могут изменяться на несколько порядков на станциях, разделенных расстояниями всего в несколько метров. Другим объяснением полученного результата может быть наличие вблизи поля газовыделений более плотных слоев карбонатизированного осадка, локализирующих потоки. Тогда как на некотором расстоянии от площадки газовыделений газ может проходить через более мощный слой песка и в процессе подъема рассеиваться, а затем с течением времени растворяться, насыщая поровую воду (рис. 3).

В процессе миграции к поверхности растворенный метан встречает биофильтр — сообщество метанокисляющих бактерий (рис. 3). Так, в осадках бухты Ласпи ранее нами была отмечена повышенная скорость окисления метана непосредственно в точке газовыделений по сравнению с фоновыми песками [4]. Принимая это во внимание, можно предположить, что значительная часть растворенного газа в бухте Ласпи не достигает границы дно — водная толща, окисляясь в толще осадочного слоя.

В работе [14] рассматривается вероятностный механизм поступления газа из сипов вместе с подземной водой. Предполагается, что по каналу в разломе водоупорной породы подземная вода и газ движутся вверх к поверхности дна. Встретив на завершающем этапе пути природный слой водонепроницаемой несвязной породы, подземная вода и свободный газ фильтруются через этот слой. Грунт под сипом переходит в псевдооживленное состояние, облегчающее перемещение свободного газа. Стоит отметить, что ранее на площадке сипов в бухте Ласпи были проведены гидрохимические исследования, которые не показали значимых изменений солёности придонной воды в точке газовыделений [15]. Диапазон значений солёности во время наблюдений составил 18.26–18.34 ‰, что свидетельствует об отсутствии высокодебитной пресноводной разгрузки.

В течение суточного мониторинга 27–28 июля 2019 г. было зафиксировано 2 эпизода резкого снижения содержания кислорода амплитудой 0.5 мг/л в ночные часы, не связанные с изменением температуры воды и метеоусловий (рис. 4). Тогда как в целом динамика изменения O<sub>2</sub> скорее связана с волнением: при увеличении волнения с 2 до 3 баллов содержание растворенного O<sub>2</sub> увеличивается с 8 до 8.5 мг/л, при уменьшении волнения с 3 баллов до 0–1 баллов — падает с 8.5 до 7.5 мг/л (рис. 4).

Снижение концентрации O<sub>2</sub> во время штилевых условий ночью может быть вызвано подтоком сероводорода в составе пузырькового и флюидного газа, который растворяется в воде и тут же окисляется. Проведенные в 2011 г. исследования по влиянию выходов пузырькового газа метана на кислородный

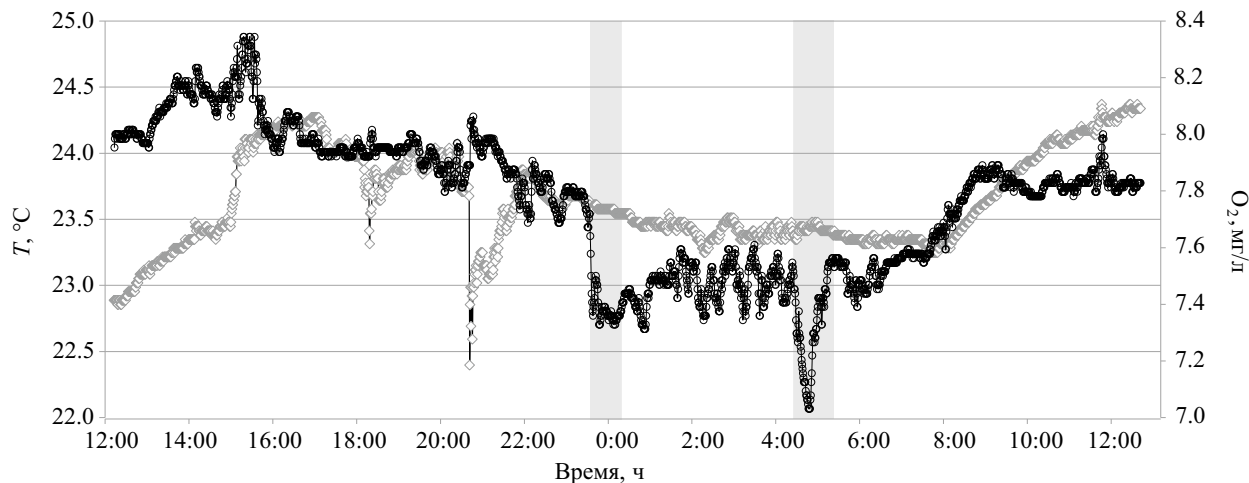


Рис. 4. Суточная динамика изменения температуры и концентрации растворенного кислорода над метановым сипом в бухте Ласпи в течение непрерывного *in situ* эксперимента 27–28 июля 2019 г.

режим бухты Мартыновой показали, что относительное содержание растворенного кислорода в воде в районе выхода пузырькового газа в среднем составляло 86% (10.98 мг/л), тогда как в районах, удаленных от влияния газовых выходов метана, — 108% (11.82 мг/л) [16].

## 2.2. Эмиссия метана из дна в Черном море

В связи с особым биогеохимическим статусом Черного моря и интенсивными микробными процессами продукции  $\text{CH}_4$  в анаэробной толще большая часть осадков его глубоководной части является стоком метана по отношению к воде [17]. Согласно расчетам [17] количество метана, диффундирующего из толщи воды в донные осадки, в 6 раз больше по сравнению с объемом метана, поступающего в воду из донных осадков, и составляет  $6.16 \cdot 10^7$  (сток) и  $1.15 \cdot 10^7$  (приток) моль/год соответственно. Авторами сделаны самые общие оценки, не учитывающие аномальные зоны, такие как районы струйных газодыделений, грязевых вулканов и зон нестабильности газгидратов, где не только пузырьковая разгрузка, но также и сопутствующие флюидные потоки достигают значительных величин [18]. По разным оценкам, поступление метана от струйных газодыделений, дестабилизированных газгидратов и грязевых вулканов оценивается от 2.3 Тг/год [19] до 3.60–5.65 Тг/год [20, 21]. При этом во внимание не принимался тот факт, что в местах пузырьковой разгрузки могут быть также повышенные флюидные потоки, обогащающие водную толщу [13, 22]. Этот вопрос в отношении Черного моря еще предстоит изучить.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены измерения флюидной разгрузки метана из донных осадков в бухте Ласпи вблизи площадки струйных газодыделений. Значения потоков изменялись от 1.4 до 74.3 ммоль/м<sup>2</sup>сут. Наименьшие потоки получены на ближайшей и максимально удаленной станциях от точки пузырьковых газодыделений, а максимальный — на расстоянии 10 м. Такое распределение, по-видимому, связано с тем, что вблизи поля газодыделений располагаются более плотные

карбонатные отложения, локализирующие потоки, тогда как на некотором расстоянии от площадки газодыделений газ проходит через больший слой песка, рассеиваясь в процессе миграции. Показано, что интегральная флюидная разгрузка в бухте Ласпи может быть сопоставима с потоком от пузырьковых газодыделений: максимальный флюидный поток, приходящийся на 1 м<sup>2</sup> дна, всего в 3.5 раза ниже по сравнению с минимальным зарегистрированным потоком от одиночного сипа. На изменение гидрологических параметров над точкой газодыделений значимое влияние оказывает волнение. Изменение солености за время наблюдений не превышало 0.08‰, что свидетельствует об отсутствии высокодебетной пресноводной субмаринной разгрузки, которая часто сопутствует сипам. Эпизоды резкого снижения содержания кислорода амплитудой 0.5 мг/л в ночные часы, не связанные с изменением температуры воды и метеоусловий, могут быть вызваны подтоком сероводорода в составе пузырькового и флюидного газов.

Авторы выражают благодарность А. Е. Шипилову за всестороннюю помощь в подготовке статьи. Работа выполнена по теме государственного задания «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», регистрационный номер ААААА18-118020890090-2, при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-920057 р\_а, регистрационный номер АААА-А18-118082090056-4).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. / Под ред. Г. Г. Поликарпова. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011.
2. Малахова Т. В. и др. // *Морской гидрофизический журнал*. 2020. **36**, № 2. С. 186.
3. Bryukhanov A. L., Vlasova M. A., Perevalova A. A. et al. // *Microbiology (Mikrobiologiya)*. 2018. **87**, N 3. P. 372.
4. Малахова Т. В. и др. // *Микробиология*. 2015. **84**, № 6. С. 743. (Malakhova T. V. et al. // *Microbiology*. 2015. **84**, N 6. P. 838.)
5. Артёмов Ю. Г., Евтушенко Д. Б., Мосейченко И. Н. // *Системы контроля окружающей среды*. 2018. № 11. С. 69.

6. Tarnovetskii I. Yu., Merkel A. Yu., Kanapatskiy T. A. et al. // *FEMS Microbiology Letters*. 2018. **365**, N 21. P. 1ny235.
7. Pimenov N. V., Merkel A. Yu., Tarnovetskii I. Yu. et al. // *Microbiology (Mikrobiologiya)*. 2018. **87**, N. 5. P. 681.
8. Будников А. А., Малахова Т. В., Иванова И. Н., Линченко Е. В. // *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* 2019. № 6. С. 107. (Budnikov A. A., Malakhova T. V., Ivanova I. N. et al. // *Moscow Univ. Phys. Bull.* 2019. **74**, N 6. P. 690.)
9. Малахова Т. В. и др. // *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2012. **26**, N 1. С. 217.
10. Шик Н. В. // *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. 2006. № 1. С. 135.
11. Лысенко В., Шик Н. В. // *Пространство и Время*. 2013. **2**, № 12. С. 151.
12. Большаков А. М., Егоров А. В. // *Океанология*. 1987. **27**, № 5. С. 861.
13. Torres M. E., McManus J., Hammond D. E. et al. // *Earth and Planetary Science Letters*. 2002. **201**, N 3–4. P. 525.
14. Кравченко В. Г. // ГПИМО. 2008. № 1. С. 106.
15. Будников А. А., Иванова И. Н., Малахова Т. В. и др. // *Ученые записки физ. ф-та Моск. ун-та*. 2019. № 3. 1930902.
16. Малахова Т. В. *Микробные процессы цикла метана и его баланс в Севастопольской акватории (Черное море)*. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. 2014. 27 с.
17. Riedinger N., Brunner B., Lin Y.-S. et al. // *Chemical Geology*. 2010. **274**, N 1–2. P. 29.
18. Amouroux D., Roberts G., Rapsomanikis S., Andreea M. // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2002. **54**. P. 575.
19. Русанов И. И., Леин А. Ю., Пименов Н. В. и др. // *Микробиология*. 2002. **71**, № 4. С. 558.
20. Reeburgh W. S. // *Chem. Rev.* 2007. P. 486.
21. Kessler J. D., Reeburgh W. S., Southon J. et al. // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006 **243**. P. 366.
22. Linke P., Sommer S., Rovelli L. et al. // *Marine Geology*. 2010. **272**, N 1–4. P. 209.

### Methane Fluid Discharge Measurements by the Trap Method in Laspi Bay (Black Sea)

T. V. Malakhova<sup>1,a</sup>, A. A. Budnikov<sup>2,b</sup>, I. N. Ivanova<sup>2,c</sup>, A. I. Murashova<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences. Sevastopol 299011, Russia.*

<sup>2</sup>*Department of Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia.*

E-mail: <sup>a</sup>*t.malakhova@imbr-ras.ru*, <sup>b</sup>*aa.budnikov@physics.msu.ru*, <sup>c</sup>*ivair@yandex.ru*, <sup>d</sup>*alenyra@mail.ru*.

Measurements of the methane fluid discharge from bottom sediments and daily monitoring of the main hydrophysical parameters near the site of the bubble gas discharge (seeps) in Laspi Bay have been carried out. Fluid flow values varied by an order of magnitude (1.4–74.3 mmol/(m<sup>2</sup> day)) at points separated by a distance of no more than 10 m. It is assumed that denser carbonate deposits at the seepage site can localize gas flows, thus reducing the volume of fluid discharge. It is shown that the specific fluid discharge in Laspi Bay is comparable with the flow from point seeps; the maximum fluid flow is only 3.5 times lower compared to the minimum recorded seep flow. Changes in hydrological parameters above the gas release point are significantly influenced by waves. The maximum change in salinity during measurements was 0.08‰, which indicates that there is no high-rate freshwater submarine discharge, which often accompanies seeps. Episodes of an abrupt decrease in oxygen content with an amplitude of 0.5 mg/L at night, which are not related to changes in water temperature and meteorological conditions, may be caused by the seepage of hydrogen sulfide in the bubble and fluid gases.

*Keywords:* methane, fluid discharge, gas trap, seeps, Laspi Bay, Black Sea.

PACS: 92.05.Hj, 92.10.Lq, 92.60.Ek.

*Received 11 June 2020.*

English version: *Moscow University Physics Bulletin*. 2020. **75**, No. 6. Pp. 705–711.

#### Сведения об авторах

1. Малахова Татьяна Владимировна — канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: [t.malakhova@imbr-ras.ru](mailto:t.malakhova@imbr-ras.ru).
2. Будников Андрей Александрович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: [aa.budnikov@physics.msu.ru](mailto:aa.budnikov@physics.msu.ru).
3. Иванова Ирина Николаевна — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: [ivair@yandex.ru](mailto:ivair@yandex.ru).
4. Мурашова Алёна Игоревна — вед. инженер; e-mail: [alenyra@mail.ru](mailto:alenyra@mail.ru).