

УДК 551.21+550.4

ДИНАМИКА ПОТОКОВ МЕТАНА ИЗ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ ГЛАДКОВСКИЙ И ОЛЬДЕНБУРГСКОГО (КРЫМСКО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН)

© 2025 г. В. В. Ершов^{1,2,*}, О. А. Никитенко^{1,2}, А. С. Айдаркожина²

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 05.05.2025 г.

Поступило 05.05.2025 г.

После доработки 07.05.2025 г.

Принято к публикации 12.05.2025 г.

Грязевые вулканы являются источником выбросов парниковых газов в атмосферу. На грязевых вулканах Гладковский и Ольденбургского нами впервые проведен газогеохимический мониторинг. Установлено, что дебит грязевулканических газов имеет гораздо большую вариабельность по сравнению с их химическим составом. В разных сальзах одного и того же вулкана химический состав грязевулканических газов имеет достоверные различия. Измеренный поток CH_4 из макропросачиваний (сальз) составляет 0.5 ± 0.1 и 2.84 ± 0.32 т/год для вулканов Гладковский и Ольденбургского соответственно. Теоретическая оценка общего потока CH_4 (из мини- и макропросачиваний) составляет около 5 и 6 т/год для вулканов Гладковский и Ольденбургского соответственно. Показано, что коэффициент Бернарда для грязевулканических газов находится в обратной зависимости от скорости их эмиссии.

Ключевые слова: грязевые вулканы, подземные газы, химический состав, вариабельность, эмиссия метана

DOI: 10.31857/S2686739725080022

ВВЕДЕНИЕ

Грязевой вулканизм — это геологическое явление, при котором происходит постоянный вынос на земную поверхность подземных газов, минерализованных вод и разжиженных осадочных пород (сопочной брекчии). Наземные и подводные грязевые вулканы встречаются в разных регионах мира, концентрируясь в основном в пределах Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского подвижных поясов. По консервативным оценкам в настоящее время насчитывается около 2500 грязевых вулканов [1]. По более смелым оценкам число грязевых вулканов составляет 10^5 [2]. Эту оценку, вероятно, не следует считать завышенной, поскольку периодически происходят открытия новых грязевых вулканов (преимущественно на морском дне). Основные компоненты в составе грязевулканических газов — это метан

(CH_4) и углекислый газ (CO_2) [3], которые способствуют атмосферному парниковому эффекту. Выбросы CO_2 из грязевых вулканов невелики относительно других природных источников (например, магматических вулканов). Однако грязевые вулканы считаются значимым источником геологической эмиссии CH_4 . По разным оценкам они выделяют CH_4 в земную атмосферу от 5 до 20 млн т/год, а согласно последней из этих оценок — около 6 млн т/год [4]. Оценка совокупной эмиссии CH_4 из всех геологических источников составила 43–50 млн т/год. При этом глобальную эмиссию CH_4 из всех природных источников оценивают от 194 до 489 млн т/год [5].

Приведённые оценки имеют большой разброс значений, не являются окончательными и регулярно пересматриваются. Эти оценки получают на ограниченной выборке природных объектов, поэтому они чувствительны к составу и объёму выборки. Необходимо проводить измерения эмиссии парниковых газов на ранее не изученных в этом аспекте объектах, в том числе на грязевых вулканах, увеличивая, тем самым, анализируемую выборку. Кроме того, важно знать ответ на вопрос о наличии или

¹Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Южно-Сахалинск, Россия

²Геологический институт Российской академии наук,
Москва, Россия

*E-mail: valery_ershov@mail.ru

отсутствии вариаций дебита и химического состава грязевулканических газов как во времени, так и в пространстве, т.е. в разных сальзах одного и того же вулкана. Разовые опробования, выполненные разными исследователями в разное время, могут давать отличающиеся результаты, что может повлечь пересмотр оценок геологической эмиссии парниковых газов. Изучение такой вариабельности возможно благодаря мониторинговым наблюдениям на грязевых вулканах.

Цель данного исследования — получение новых данных об объемах и составе грязевулканических газов, выделяемых в спокойную фазу деятельности вулкана, анализ пространственно-временной вариабельности дебита и состава грязевулканических газов, а также поиск взаимосвязей между измеряемыми показателями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В сентябре 2023 г. нами проведены мониторинговые газогеохимические наблюдения на двух грязевых вулканах — Гладковский (Таманский п-ов) и Ольденбургского (Керченский п-ов). Вулканы принадлежат к единой Керченско-Таманской грязевулканической провинции, геологические особенности которой достаточно хорошо изучены [6]. Ранее на этих вулканах уже проводились газогеохимические исследования, но, главным образом, в формате разовых (единовременных) опробований [7, 8]. Мы проводили систематические измерения дебита газа и отбор газовых проб на каждом грязевом вулкане из нескольких сальз с разной активностью (рис. 1). Дебит измерялся методом вытеснения с помощью воронки, стеклянной бутылки известного объема и секундомера. В неопробованных сальзах дебит оценивался визуально — по частоте и размеру газовых пузырей. Подобный способ уже использовался ранее другими исследователями на грязевых вулканах Тайваня и Румынии [9, 10].

Эмиссия парниковых газов из грязевых вулканов осуществляется не только из сальз посредством видимых глазом газовых пузырьков (макропросачиваний), но также и через минипросачивания — невидимую диффузную утечку из грунта в пределах вулкана [11]. Считается, что около 75% общих выбросов CH_4 из грязевых вулканов происходит из этих повсеместных минипросачиваний с поверхности вулкана вокруг сальз. Обобщение данных, полученных на грязевых вулканах Азербайджана, Италии, Румынии и Тайваня, показывает, что существует корреляция между потоками CH_4 из макропросачиваний

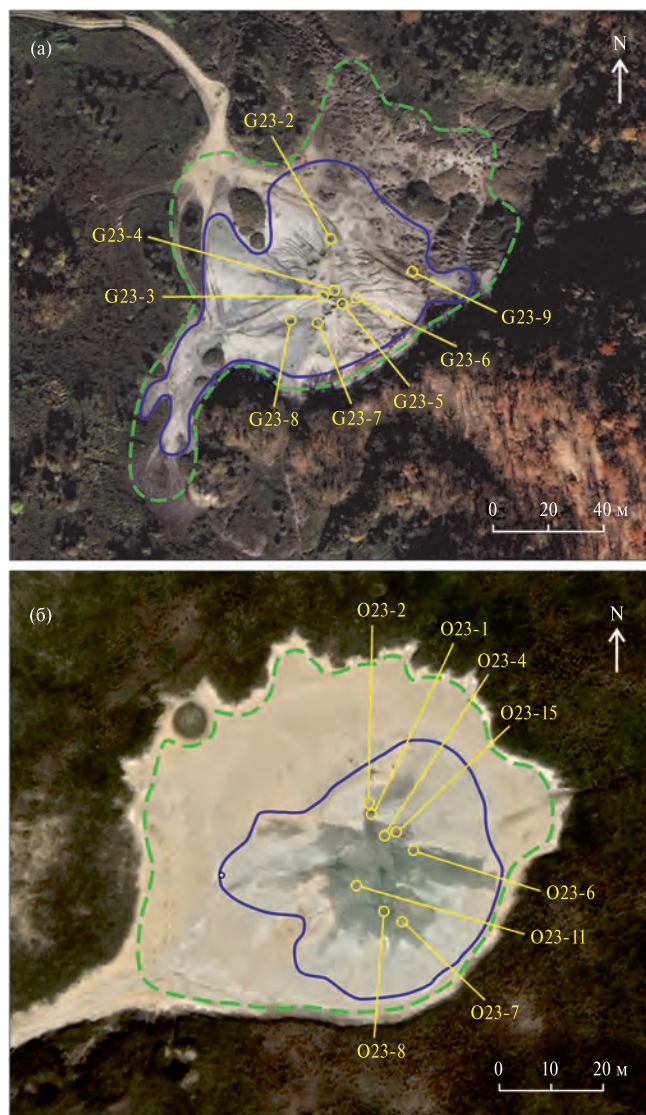


Рис. 1. Грязевые вулканы Гладковский (а) и Ольденбургского (б) с указанием опробованных грифонов. Пунктирной и сплошной линиями показана максимальная и минимальная площадь грязевого вулкана

и минипросачиваний [12]. Тогда, для грязевых вулканов с известным потоком CH_4 из макропросачиваний (ΦS) можно оценить поток CH_4 из минипросачиваний (ΦD), используя следующее регрессионное уравнение:

$$\ln \Phi D = 0.98 \ln \Phi S + 0.24. \quad (1)$$

Соответственно, общий поток CH_4 из грязевого вулкана (Φ_1) будет равен:

$$\Phi_1 = \Phi D + \Phi S. \quad (2)$$

Суммарный поток CH_4 из мини- и макропросачиваний, приходящийся на единицу площади,

носит название коэффициента выбросов (emission factor). Имеется регрессионное уравнение, связывающее между собой коэффициент выбросов (EF) и площадь грязевого вулкана (S):

$$\ln EF = -0.34 \ln S + 5.39. \quad (3)$$

Общий поток CH_4 из грязевого вулкана (Φ_2) в этом случае можно рассчитать, как

$$\Phi_2 = EF \times S. \quad (4)$$

При расчетах по формулам (1)–(4) потоки ΦS , ΦD , Φ_1 и Φ_2 выражаются в т/год, а площадь S – в км^2 .

Пробы грязевулканических газов (Гладковский – 19, Ольденбургского – 28) отбирались методом вытеснения в стеклянные флаконы объёмом 100 мл с резиновыми пробками, которые герметично закупоривались алюминиевыми колпачками. Определение химического состава газовой фазы выполнялось в ЦКП ГИН РАН с помощью газовых хроматографов серии Кристалл5000 методом абсолютной калибровки по каждому компоненту. Для калибровки использовались газовые смеси известного состава. Ошибка определения по каждому компоненту составляла 3–5 отн. %, но вблизи предела обнаружения она могла увеличиваться до 10–15 отн. %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дебит газа, выделяемого из сальз каждого из исследованных грязевых вулканов, может вести себя совершенно по-разному (рис. 2). В каких-то сальзах дебит изменяется более чем на порядок всего за нескольких дней. А в каких-то сальзах дебит остаётся примерно на одном уровне в течение всего нашего мониторинга. В целом дебит газа из сальз на вулкане Ольденбургского в несколько раз выше, чем на вулкане Гладковский.

В то же время химический состав грязевулканических газов достаточно стабилен в отдельно взятой сальзе (рис. 3). Основным компонентом в исследованных газах обоих вулканов является CH_4 (табл. 1). Поскольку для отдельных проб при отборе возможно загрязнение атмосферным воздухом, то в качестве характеристики химического состава грязевулканических газов взято отношение CO_2/CH_4 .

Ранее уже предпринимались попытки изучения вариабельности химического состава газа

в сальзах грязевых вулканов Туркменистана и Таманского п-ова [13], Тайваня [14], о. Сахалин [15]. В большинстве своём эти исследования проводились либо для небольшого количества сальз, либо для небольшого числа определяемых газовых компонентов, либо в течение короткого интервала времени (около суток), либо на длительном интервале времени (около года), но при этом с низкой частотой опробования (от 2 до 5 отборов газовых проб за 13 месяцев). Несмотря на указанные ограничения, результаты этих исследований дают основания полагать, что химический состав грязевулканических газов изменяется как во времени, так и в пространстве, т.е. в разных сальзах одного и того же вулкана. Причем эти вариации трудно объяснить только случайными причинами (загрязнением проб атмосферным воздухом, погрешностью химического анализа и др.).

Результаты нашего мониторинга показывают, что имеются достоверные различия химического состава грязевулканических газов в разных сальзах вулкана Ольденбургского (см. рис. 3 б). На вулкане Гладковский эти различия не столь заметны (см. рис. 3 а), но это может быть обусловлено достаточно большой случайной погрешностью при таких низких концентрациях CO_2 на этом вулкане. Особо отметим, что наблюдаемые различия химического состава грязевулканических газов из каких-либо двух рассматриваемых сальз (например, О23-1 и О23-7) наблюдаются не только для какого-то одного опробования, но и сохраняются во всей серии опробований этих сальз, выполненной в рамках нашего мониторинга. Следовательно, для отдельно взятого грязевого вулкана концентрация того или иного газового компонента имеет не какое-то одно значение, а набор различных значений в некотором диапазоне. Причём этот набор значений сохраняется во времени, т.е. не вызван причинами случайного характера. Мы полагаем, что это явление можно назвать тонкой структурой газогеохимического режима грязевого вулкана. Термин “тонкая структура” используется здесь по аналогии с его употреблением в атомной физике, где в свое время обнаружили, что энергетические уровни различных атомных орбиталей расщепляются ещё на несколько подуровней, т.е. имеют тонкую структуру. Непонятному на тот момент явлению физики впоследствии нашли объяснение – было обнаружено, что у электрона есть собственный механический момент импульса (спин), который не связан с орбитальным движением электрона. Из-за возникающего спин-орбитального взаимодействия

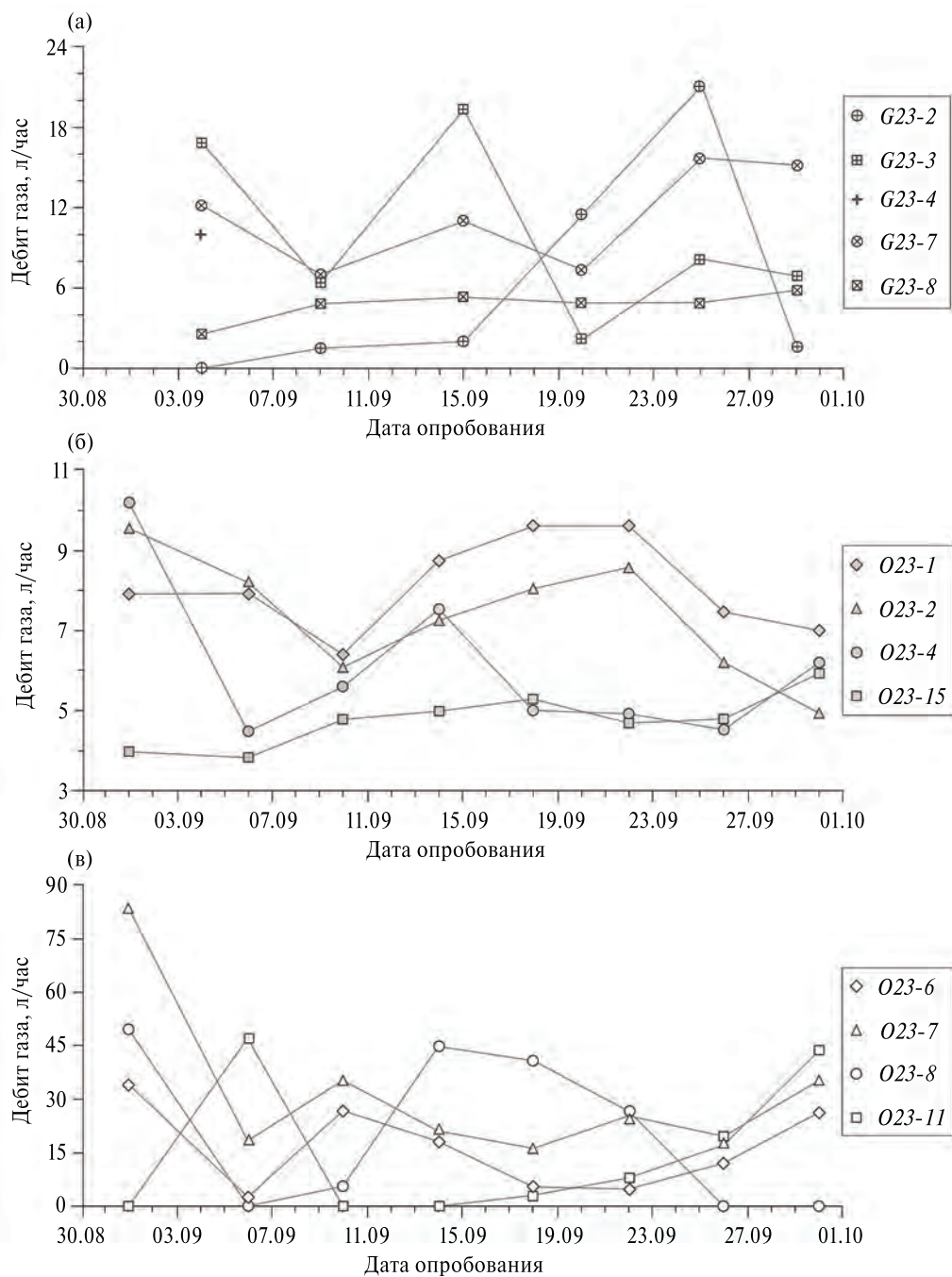


Рис. 2. Вариации дебита газа в сальзах грязевых вулканов Гладковский (а) и Ольденбургского (б, в)

немного сдвигаются и расщепляются энергетические уровни атома. Существование тонкой структуры газогеохимического режима грязевого вулкана тоже обусловлено каким-то физическим механизмом. По нашему мнению, поиск и обоснование этого механизма является актуальной и важной задачей геохимических исследований грязевых вулканов на ближайшие годы. Например, это может обусловлено наличием

нескольких приповерхностных резервуаров, образующихся по пути вертикальной миграции грязевулканических газов. Тогда число и размеры этих резервуаров определяют наблюдаемый диапазон концентраций газовых компонентов. Если же тонкая газогеохимическая структура связана с временем взаимодействия вода—газ, то диапазон концентраций будет определяться, например, следующими факторами: скоростью

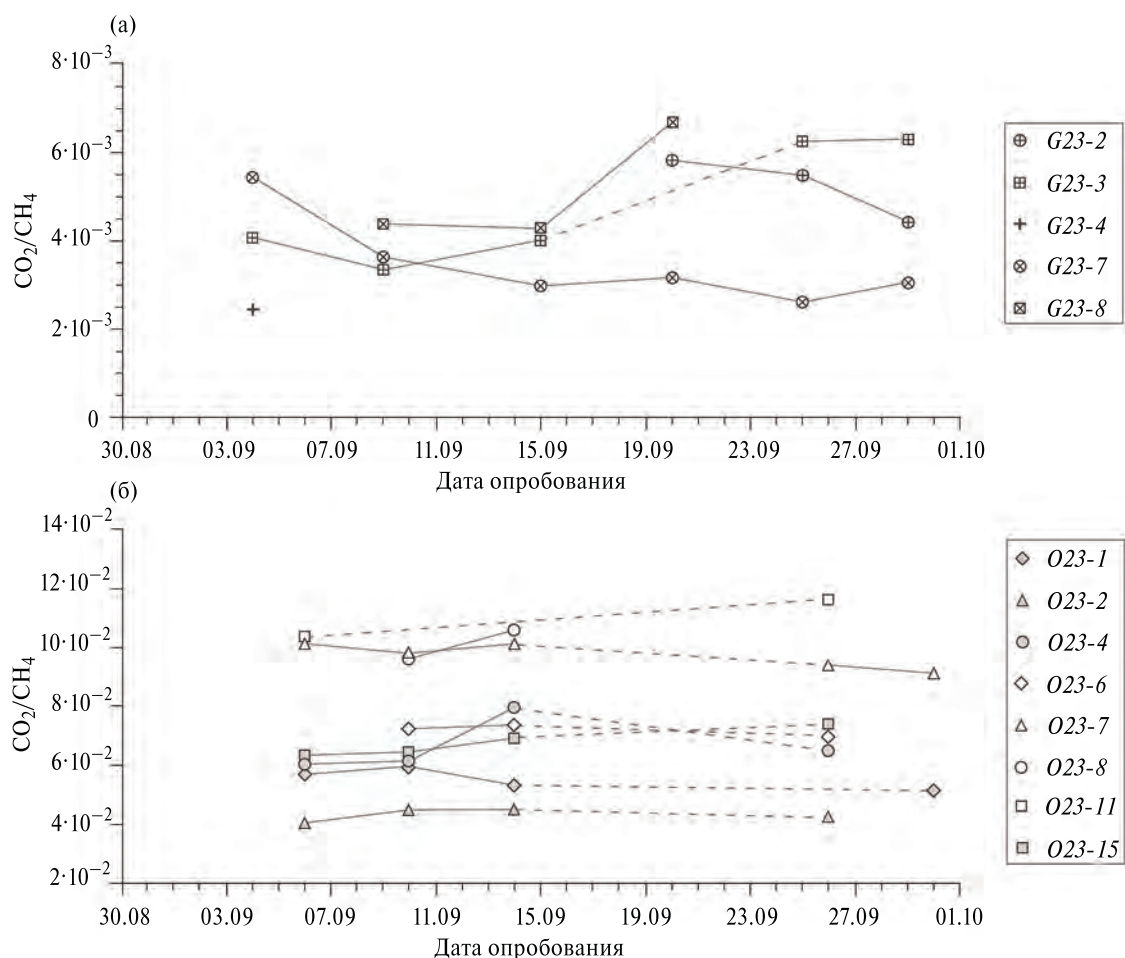


Рис. 3. Вариации химического состава газа в сальзах грязевых вулканов Гладковский (а) и Ольденбургского (б)

Таблица 1. Характеристика химического состава газа в сальзах грязевых вулканов Гладковский и Ольденбургского

Вулкан	Газовая компонента					
	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	Ar	He
	об. %				ppmv	
Ольденбургского	91.3±1.5	6.7±1.8	1.4±0.5	0.23±0.16	608±401	177±50
Гладковский	94.3±1.0	0.42±0.13	4.3±0.7	0.42±0.34	213±206	974±61

Примечание. Значения концентрации указаны как среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

подъёма газовых пузырьков, которая зависит от вязкости брекчии, а она, в свою очередь, зависит от доли воды в брекчии; глубиной, с которой происходит подъём газовых пузырьков; размером газовых пузырьков. Для выявления этого механизма требуются дополнительные исследования. Понимание этого механизма позволит перейти от качественных суждений к анализу количественных закономерностей динамики геохимических показателей грязевых вулканов.

В работе [11] сравнивался химический состав грязевулканических и пластовых газов в Азербайджане, Греции, Италии, Румынии и Тринидаде. Выяснилось, что в грязевулканических газах коэффициент Бернарда, представляющий собой отношение $C_1 / (C_2 + C_3)$, заметно выше, чем в пластовых газах. Эта особенность подтвердилась позже и для грязевых вулканов Китая [16]. Предполагается, что при миграции грязевулканических газов из земных недр на поверхность происходит молекулярное

фракционирование — сегрегация или “хроматографический эффект”, связанный с разной молекулярной адсорбцией на глинистых частицах и разной растворимостью газов C_{2+} по сравнению с CH_4 . Газогеохимические исследования грязевых вулканов Италии показали, что чем выше поток грязевулканических газов, тем ниже значения коэффициента Бернарда [17]. При этом поток грязевулканических газов нормировался на число сальз, в которых проводились измерения, т.е. рассчитывался средний поток, который приходится на одну сальзу вулкана. Для расчёта коэффициента Бернарда проводилось опробование какой-то одной сальзы на исследуемых вулканах. Позднее — после добавления соответствующих данных по грязевым вулканам и газовым сипам Румынии, Швейцарии, Тайваня и Японии — указанная зависимость была выражена графически [18]. Видно, что для большей части графика связь между логарифмами нормированного потока CH_4 и коэффициента Бернарда близка к линейной (рис. 4). В диапазоне значений $C_1 / (C_2 + C_3)$ от 60 до 50 000 эта зависимость неплохо аппроксимируется уравнением: $\lg \Phi N = 0.6 \lg (C_1 / (C_2 + C_3)) + 1.45$, где ΦN — поток CH_4 , приходящийся на одну сальзу вулкана. Поскольку число грязевых вулканов, для которых выполнены соответствующие измерения, всё ещё невелико, то для подтверждения и/или уточнения рассматриваемой зависимости требуется привлечение новых данных. Добавление фигуративных точек, соответствующих грязевым

вулканам Гладковский и Ольденбургского, показало, что эти вулканы также удовлетворяют обсуждаемой зависимости (см. рис. 4). В настоящее время принято считать, что низкие показатели коэффициента Бернарда указывают на антропогенные выбросы CH_4 , связанные с нефтегазовой отраслью, а высокие — на геологическую эмиссию CH_4 [19].

Разовые газогеохимические опробования, выполненные ранее на трёх грязевых вулканах Китая, показали, что обратную зависимость между $C_1 / (C_2 + C_3)$ и дебитом газа можно ожидать и для разных сальз одного и того же вулкана [16]. Поэтому мы выполнили анализ этой связи для грязевых вулканов Гладковский и Ольденбургского (рис. 5). Видно, что обсуждаемая зависимость действительно существует и может быть описана логарифмической функцией. Заметим, что низкий коэффициент корреляции для грязевого вулкана Гладковский не должен нас смущать. Для этого вулкана дебит газа имеет небольшой диапазон значений, поэтому обсуждаемая зависимость становится гораздо менее выраженной на фоне случайных погрешностей измерения дебита и концентрации грязевулканических газов. Отметим также, что даже для вулкана Ольденбургского коэффициент корреляции не настолько высок, чтобы считать дебит газа главным фактором, влияющим на коэффициент Бернарда. Очевидно, что есть и другие факторы, от которых зависят значения $C_1 / (C_2 + C_3)$

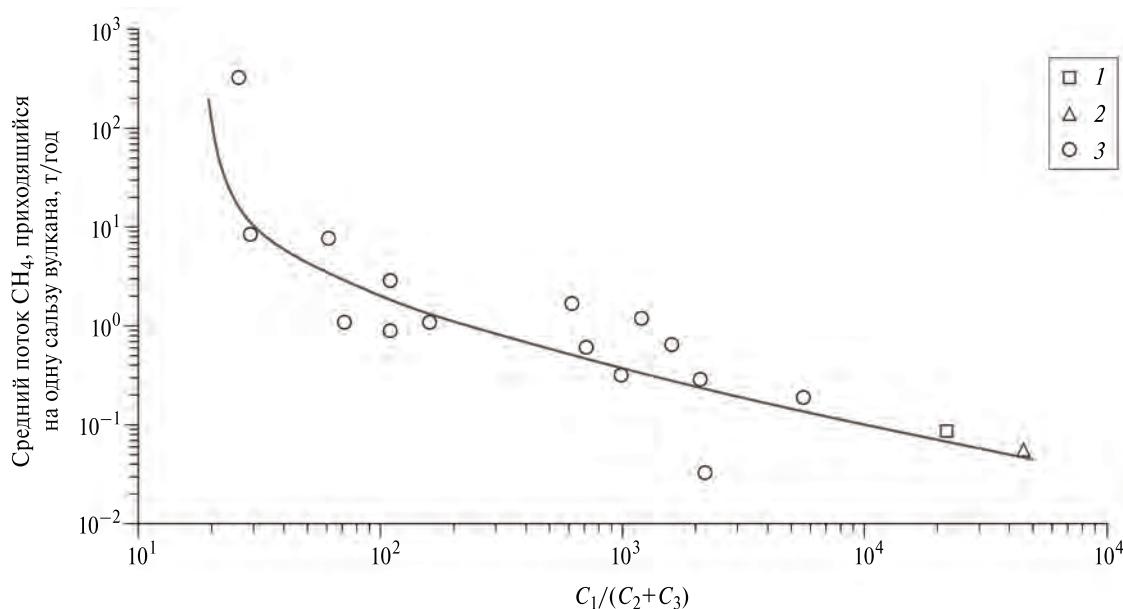


Рис. 4. Соотношение между нормированным потоком CH_4 из грязевых вулканов и коэффициентом Бернарда: 1 — Ольденбургского; 2 — Гладковский; 3 — грязевые вулканы мира. Диаграмма построена на основе данных из работы [18]

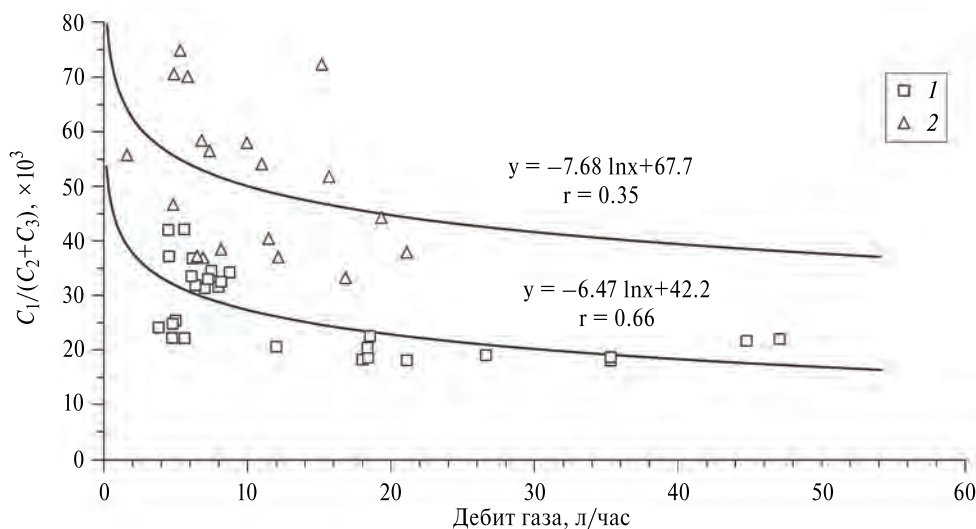


Рис. 5. Зависимость между коэффициентом Бернарда и дебитом газа в сальзах грязевых вулканов Гладковский (2) и Ольденбургского (1)

Таблица 2. Оценки потоков CH_4 для грязевых вулканов Гладковский и Ольденбургского

Параметр	Вулкан	
	Гладковский	Ольденбургского
Измеренный поток из макропросачиваний ΦS , т/год	0.5 ± 0.1	2.84 ± 0.32
Рассчитанный по формуле (1) поток из минипросачиваний ΦD , т/год	0.64 ± 0.13	3.54 ± 0.39
Рассчитанный по формуле (2) общий поток Φ_1 , т/год	1.14 ± 0.23	6.38 ± 0.71
Минимальная площадь вулкана S_{\min} , км ²	0.0059	0.0018
Рассчитанный по формулам (3) и (4) общий поток $\Phi_{2\min}$, т/год	7.41	3.36
Максимальная площадь вулкана S_{\max} , км ²	0.0115	0.0043
Рассчитанный по формулам (3) и (4) общий поток $\Phi_{2\max}$, т/год	11.51	5.96

в грязевулканических газах. Это может быть, например, смешение газов из разных источников, аэробное и анаэробное окисление газообразных алканов, вторичный метаногенез при биодегградации нефти.

При оценке глобальной эмиссии CH_4 из грязевых вулканов необходимо учитывать не только макропросачивания, но также и минипросачивания [4]. Сумма этих потоков показывает общее количество CH_4 , которое выделяет грязевой вулкан за единицу времени. Используя формулы (1)–(4), сделана оценка потока CH_4 из грязевых вулканов Гладковский и Ольденбургского (табл. 2). Для оценки площади вулкана

использовались спутниковые снимки. Поскольку не существует какого-то строгого алгоритма выделения границы грязевого вулкана, то рассчитывалась минимально и максимально возможная площадь вулкана (см. рис. 1). Отметим, что для вулкана Гладковский имеются существенные расхождения в оценках общего потока CH_4 , полученных разными способами. Это свидетельствует о том, что существующие на сегодняшний день расчётные формулы имеют недостаточную точность, и указывает на необходимость продолжения таких исследований, в том числе с проведением измерений на ранее неизученных вулканах. Усредняя оценки, сделанные разными способами, примем следующую

итоговую оценку общего потока CH_4 для исследованных нами вулканов: Гладковский — около 5 т/год, Ольденбургского — около 6 т/год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые проведён мониторинг эмиссии грязевулканических газов на вулканах Гладковский и Ольденбургского. Установлено, что дебит газа в сальзах может сильно изменяться (более чем на порядок) за небольшие интервалы времени (несколько дней). Полученные данные позволяют предложить гипотезу о существовании тонкой структуры газогеохимического режима грязевого вулкана, когда химический состав грязевулканических газов имеет небольшие, но сохраняющиеся во времени, различия в разных сальзах одного и того же вулкана. Установлено, что поток CH_4 из макропросачиваний (сальз) составляет 0.5 ± 0.1 и 2.84 ± 0.32 т/год для вулканов Гладковский и Ольденбургского соответственно. С помощью известных регрессионных зависимостей сделана оценка общего потока CH_4 (из мини- и макропросачиваний), которая составила около 5 и 6 т/год для вулканов Гладковский и Ольденбургского соответственно. Показано, что исследованные нами вулканы удовлетворяют общемировой зависимости, согласно которой значения $C_1 / (C_2 + C_3)$ в грязевулканических газах уменьшаются с ростом потока CH_4 , приходящегося в среднем на одну сальзу вулкана. Выявлено, что в разных сальзах в пределах одного и того же грязевого вулкана тоже имеется зависимость $C_1 / (C_2 + C_3)$ от дебита газа. Однако, судя по силе корреляционной связи, дебит газа не является основным фактором, определяющим значения $C_1 / (C_2 + C_3)$ в газах вулканов Гладковский и Ольденбургского. Следовательно, вариации коэффициента Бернарда могут быть вызваны и другими причинами.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 23-47-00035.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Баку: Nafta-Press, 2015. 322 с.

2. Milkov A.V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates // *Marine Geology*. 2000. V. 167. P. 29–42.
3. Ершов В.В., Бондаренко Д.Д. Характеристика изотопного и химического состава газов, выбрасываемых грязевыми вулканами из разных регионов // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2020. № 3. С. 23–35.
4. Etiope G., Ciotoli G., Schwietzke S., Schoell M. Gridded maps of geological methane emissions and their isotopic signature // *Earth System Science Data*. 2019. V. 11(1). P. 1–22.
5. Saunio M., Stavert A.R., Poulter B. et al. The global methane budget 2000–2017 // *Earth System Science Data*. 2020. V. 12(3). P. 1561–1623.
6. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: Кубань-геология, 2006. 176 с.
7. Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Каменский И.Л. Источники вещества в продуктах грязевого вулканизма (по изотопным, гидрохимическим и геологическим данным) // *Литология и полезные ископаемые*. 1996. № 6. С. 625–647.
8. Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А.С., Сокол Э.В. и др. Грязевулканические флюиды Керченско-Таманской области: геохимические реконструкции и региональные тренды. Сообщение 2. Генезис грязевулканических газов и региональные геохимические тренды // *Литология и полезные ископаемые*. 2022. № 1. С. 3–27.
9. Etiope G., Baciuc C., Caracausi A. et al. Gas flux to the atmosphere from mud volcanoes in Eastern Romania // *Terra Nova*. 2004. V. 16. № 4. P. 179–184.
10. Chang H.-C., Sung Q.-C., Chen L. Estimation of the methane flux from mud volcanoes along Chishan Fault, southwestern Taiwan. *Environmental Earth Sciences*. 2010. V. 61. P. 963–972.
11. Etiope G., Feyzullayev A., Baciuc C.L. Terrestrial methane seeps and mud volcanoes: A global perspective of gas origin // *Marine and Petroleum Geology*. 2009. V. 26. P. 333–344.
12. Hong W.L., Etiope G., Yang T.F., Chang P.Y. Methane flux from miniseepage in mud volcanoes of SW Taiwan: Comparison with the data from Italy, Romania, and Azerbaijan // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013. V. 65. P. 3–12.
13. Войтов Г.И. О химических и изотопно-углеродных нестабильностях грифонных газов грязевых вулканов (на примере Южно-Каспийской и Таманской грязевулканических провинций) // *Геохимия*. 2001. № 4. С. 422–433.

14. *Chao H.C., You C.F., Sun C.H.* Gases in Taiwan mud volcanoes: Chemical composition, methane carbon isotopes, and gas fluxes // *Applied Geochemistry*. 2010. V. 25. P. 428–436.
15. *Ершов В.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И.* Изотопно-геохимические характеристики свободных газов Южно-Сахалинского грязевого вулкана и их связь с региональной сейсмичностью // *ДАН*. 2011. Т. 440. № 2. С. 256–261.
16. *Xu W., Zheng G., Ma X. et al.* Chemical and isotopic features of seepage gas from mud volcanoes in southern margin of the Junggar Basin, NW China // *Applied Geochemistry*. 2022. V. 136. 105145.
17. *Etiope G., Martinelli G., Caracausi A., Italiano F.* Methane seeps and mud volcanoes in Italy: Gas origin, fractionation and emission to the atmosphere // *Geophysical Research Letters*. 2007. V. 34. L14303.
18. *Etiope G., Nakada R., Tanaka K., Yoshida N.* Gas seepage from Tokamachi mud volcanoes, onshore Niigata Basin (Japan): Origin, post-genetic alterations and CH₄–CO₂ fluxes // *Applied Geochemistry*. 2011. V. 26. P. 348–359.
19. *Molofsky L.J., Etiope G., Segal D.C., Engle M.A.* Methane-rich gas emissions from natural geologic seeps can be chemically distinguished from anthropogenic leaks // *Communications Earth & Environment*. 2025. V. 6(1). 11.

DYNAMICS OF METHANE FLOWS FROM GLADKOVSKY AND OLDENBURGSKY MUD VOLCANOES (CRIMEAN-CAUCASIAN REGION)

© 2025 V. V. Ershov^{a,b,#}, O. A. Nikitenko^{a,b}, A. S. Aidarkozhina^b

Presented by Academician of the RAS K.E. Degtyarev May 5, 2025

^a*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

^b*Geological institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: valery_ershov@mail.ru*

Mud volcanoes are a source of greenhouse gas emissions into the atmosphere. We carried out gas-geochemical monitoring at the Gladkovsky and Oldenburgsky's mud volcanoes for the first time. It was found that the flow rate of mud volcanic gases from salses is much more variable than their chemical composition. In various salses of the same volcano, the chemical composition of mud volcanic gases has significant differences. The measured CH₄ flow from macroseeps (salses) is 0.5 ± 0.1 and 2.84 ± 0.32 t/year for Gladkovsky and Oldenburgsky's volcanoes, respectively. The theoretical estimate of CH₄ total flow (from mini- and macroseeps) is about 5 and 6 t/year for Gladkovsky and Oldenburgsky's volcanoes, respectively. The Bernard's coefficient for mud volcanic gases shown to be inversely correlated to their emission rate.

Keywords: mud volcanoes, gases, chemical composition, variability, methane emission