

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 532

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗООБМЕНА МЕЖДУ ВСПЛЫВАЮЩИМИ ПУЗЫРЬКАМИ МЕТАНА И ВОДНОЙ СРЕДОЙ

© 2019 г. Д. В. Черных^{a,c}, Д. А. Космач^{a,c}, А. В. Константинов^b, Н. Е. Шахова^c,
А. С. Саломатин^a, В. И. Юсупов^{c,d}, В. И. Силионов^b, И. П. Семилетов^{a,c}

Поступила в редакцию 10.07.2018 г.

После доработки 10.07.2018 г.

Принята к публикации 30.07.2018 г.

DOI: 10.1134/S0032816219010063

Метан является в 35 раз более эффективным парниковым газом, чем двуокись углерода, а прирост его концентрации в атмосфере Земли составляет в среднем 1% в год. Предполагается, что, кроме антропогенного фактора, значительный вклад в дисбаланс цикла метана может вносить его эмиссия, обусловленная дестабилизацией арктических гидратов вследствие прогрессирующей деградации подводной мерзлоты [1]. На основе многолетних комплексных исследований было показано, наиболее значимая неучтенная эмиссия метана ассоциируется с Восточно-Сибирским шельфом — самым широким и мелководным шельфом Мирового океана [2, 3]. Наиболее эффективный перенос метана из донных отложений в водную толщу и атмосферу осуществляется всплывающими пузырьками [3, 4]. Для прогнозирования поступления метана в атмосферу необходимо оценить скорость деградации газогидратов и формирующиеся при всплытии пузырьков потоки метана в водную толщу и атмосферу. Первая задача может быть решена моделированием [5, 6], для решения второй задачи по исследованию газообмена между всплывающими пузырьками и водной средой нами разработан лабораторный стенд.

Стенд (рис. 1) состоит из камеры высокого давления с соплом; системы соединенных с камерой труб, выдерживающих высокое давление; баллона с поверочной газовой смесью или чистым метаном; системы впуска газовых проб, обеспечивающей ввод проб непрерывно с заданным потоком газа или дискретно; системы видео-

регистрации и газового отборника для отбора проб с различных горизонтов водного столба.

В нижней части камеры высокого давления 2 установлено сопло с отверстием, диаметр которого определяет размер выходящих пузырьков. Через один из патрубков 5 в систему напускается вода, заполняющая камеру высокого давления 2 и поднимающаяся по трубе 4 на заданную высоту. Через сопло в камеру подается газ. На выходе сопла образуются пузырьки, которые отрываются и всплывают к отборнику газовых проб 7, проходя сформированный с помощью трубы водный столб. Анализ газовой составляющей осуществляется с помощью газового анализатора (хроматографа) 8, соединенного с отборником газовых проб 7. Все происходящие в камере высокого давления процессы записываются с помощью цифровой видеокамеры 1 высокого разрешения (например, GoPRO Hero3+ BE). Скорость всплытия пузырьков измеряется с помощью секундомера 10, позволяющего проводить измерения с точностью до 0.001 с. Профили температуры и солености определяются с помощью гидрологического зонда 9.

Камера высокого давления выполнена из стали толщиной 5 мм и прозрачных пластин оргстекла толщиной 10 мм. В стенде используется НПВХ труба, выдерживающая давление 10 атм. Для дискретной подачи проб к соплу подсоединяется шприц с пробой необходимого объема, которая вводится в систему с помощью однокоординатной подвижки. Непрерывная подача газовых проб со скоростью от 1 до 720 л/мин осуществляется от газового баллона, соединенного с соплом через газовый расходомер. Используется набор сопел из медных трубок с внутренним диаметром от 1.0 до 5.0 мм. Это позволяет получать в камере высокого давления пузыри диаметром от 2.0 до 15.0 мм.

^a Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Россия, Владивосток

^b Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток

^c Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск

^d Институт фотонных технологий ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Россия, Москва

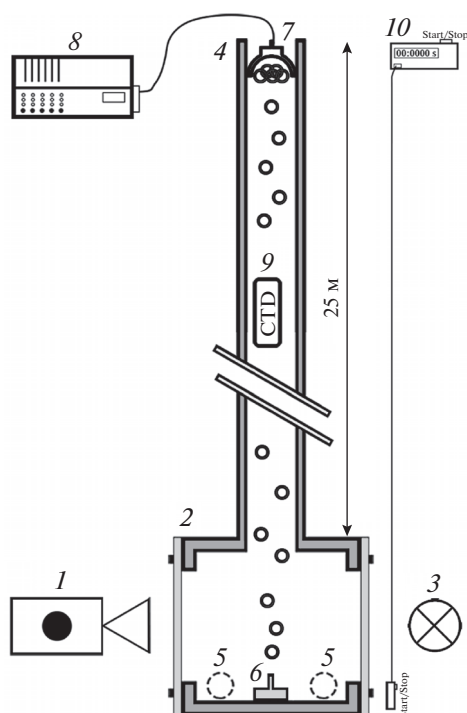


Рис. 1. Схема стенда. 1 — скоростная видеокамера высокого разрешения; 2 — камера высокого давления; 3 — осветительный прибор; 4 — труба высокого давления, заполненная водой; 5 — патрубки, предназначенные для слива жидкости и подачи проб газа; 6 — сопло с изменяемым внутренним диаметром; 7 — отборник газовых проб; 8 — газопровод; 9 — CTD-зонд — гидрологический прибор для определения параметров температуры, электропроводимости и давления в водной среде; 10 — секундомер.

Разработанный экспериментальный стенд позволяет определять зависимость количества метана, доставляемого всплывающими пузырьками в атмосферу, от параметров всплывающих пузырьков в условиях, максимально приближенных к природным. Полученные результаты позволяют верифицировать известные теоретические модели газообмена между водной средой и всплывающим через нее метановым пузырьком [7].

От описанных в литературе установок (например, [8]), позволяющих изучать газообмен всплывающих пузырьков, данный стенд отличается возможными размерами водного столба (до 25 м). Размеры и параметры газообмена пузырька при всплытии существенно зависят от давления. В отличие от установки [8], стенд позволяет проводить исследования в условиях реальных давле-

ний, которые существуют на мелководном шельфе морей.

Основные технические характеристики стенда.

Рабочий диапазон давлений 1–5 атм., высота водного столба от 1 до 25 м, размеры пузырьков газа от 2.0 до 15.0 мм в диаметре.

Работы выполнены при частичной поддержке Правительства Российской Федерации (грант № 14, Z50.31.0012/03.19.2014). Денис Черных, Денис Космач, Антон Константинов и Вячеслав Силюнов благодарны за поддержку гранту Российского научного фонда № 18-77-10004. Наталья Шахова благодарна за поддержку гранту Российского научного фонда № 15-17-20032.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shakhova N., Semiletov I., Alekseev V. // *Doklady Earth Sciences*. 2010. V. 430. P. 190.
2. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Panteleev G., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson O. // *Phil. Trans. Royal Soc.* 2015. V. 373. P. 1. doi 10.1098/rsta.2014.0451
3. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskoy V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk A., Ananiev R., Koshurnikov A., Kosmach D., Charkin A., Dmitrevsky N., Karnaukh V., Gunar A., Meluzov A., Chernykh D. // *Nature Communications*. 2017. V. 8. № 15872. <https://doi.org/doi.10.1038/ncomms15872>
4. Zhang Y. // *Geophys. Res. Lett.* 2003. V. 30. № 7. P. 1398. doi 10.1029/2002GL016658
5. Юсупов В.И., Минаев Н.В., Саломатин А.С., Черных Д.В., Семилетов И.П., Баграшвили В.Н. // *ПТЭ*. 2018. № 3. С. 159. <https://doi.org/10.7868/S0032816218030151>
6. Минаев Н.В., Юсупов В.И., Баграшвили В.Н. Патент на полезную модель 133022 РФ // *Бюл.* № 28. Опубл. 10.10.2013.
7. Greinert J., McGinnis D.F. // *Environmental Modelling and Software*. 2009. V. 24. № 8. P. 1012. doi 10.1016/j.envsoft.2008.12.011
8. Legendre D., Zevenhoven R. // *Chemical Engineering Science*. 2017. V. 158. P. 552. doi 10.1016/j.ces.2016.11.004

Адрес для справок: Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН. Тел.: +79644361466. E-mail: denis.chernykh.vl@gmail.com (Черных Д.В.)