



УДК 550.4.02:550:424

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.61>

Глубоководная метановая аномалия в проливе Брансфилд (Антарктика)

Н. С. Полоник, А. Л. Пономарева, Р. Б. Шакиров

*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, Россия*

Аннотация. Представлены предварительные результаты изучения распределения метана в водных массах глубоководного (более 1000 м) участка пролива Брансфилд. С помощью газогеохимической съемки был выявлен единичный метановый сип на глубине 1397 м, характеризующийся высоким уровнем содержания метана (43 нмоль/л) в придонном горизонте воды. Также было установлено, что обогащенный метаном (10,29–14,46 нмоль/л) придонный слой морской воды распространяется на расстояние до 30–35 км от центральной части метановой аномалии. Анализ геомикробиологических показателей морской воды пролива Брансфилд выявил мощный микробный фильтр, расположенный в зоне разгрузки метана, в составе которого были зафиксированы культивируемые формы термофильных метанотрофных бактерий, что указывает на термогенное происхождение метана.

Ключевые слова: метан, газовая хроматография, пролив Брансфилд, Южный океан, Антарктика.

Для цитирования: Полоник Н. С., Пономарева А. Л., Шакиров Р. Б. Глубоководная метановая аномалия в проливе Брансфилд (Антарктика) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 32. С. 61–76. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.61>

Введение

Климат в высоких широтах подвержен изменениям в наибольшей степени по сравнению с остальными территориями планеты. Последние исследования колебаний температуры в Антарктическом регионе подтверждают это наблюдение. При Научном комитете исследований Антарктики (SCAR) существует программа исследования трансформаций климата под действием парниковых газов Antarctic Climate Change and the Environment (ACCCE), к которым относятся в первую очередь углекислый газ и метан. Многие из проводимых исследований посвящены антропогенному влиянию на климат, но в последние годы все большее внимание уделяется природным источникам парниковых газов. Так, по некоторым данным, глобальный бюджет метана, поступающего из Южного океана в атмосферу, составляет около $0,19 \text{ Ggd}^{-1}$. Кроме того, Антарктический регион является малоизученным с геологической точки зрения, что затрудняет оценку влияния метана, поступающего из природных источников, на окружающую среду [Antarctic climate change ... , 2013; Methane production, consumption ... , 2010].

Все эти факторы делают проблему поиска новых районов разгрузки метана в Антарктике достаточно актуальной. Целью работы является газогеохимическое и геомикробиологическое исследование толщи вод Атлантического сектора Южного океана для выявления аномалий метана и взаимосвязанных с ним сообществ микроорганизмов.

Краткая геолого-географическая характеристика района исследований

Пролив Брансфилд расположен в южной части Атлантического океана (Южный океан) между архипелагом Южные Шетландские острова и Антарктическим полуостровом. Юго-западная часть пролива ограничена проливом Герлаш. Протяженный глубоководный участок, достигающий глубины 1500 м, резко переходит в мелкоководную шельфовую зону Южных Шетландских островов и Антарктического полуострова глубиной от 300 до 700 м. Согласно современным исследованиям, пролив входит в рифтогенную зону, отмечающуюся повышенной сейсмической активностью, при этом центральная часть пролива характеризуется резким понижением в рельефе, вероятно, тектонической или вулкано-тектонической природы [Глубинные неоднородности структур ... , 2010; Тетерин, 2011]. Южные Шетландские острова имеют вулканическое происхождение, при этом в данном районе существуют участки недавней активности, например кальдера острова Десепшен [The timing and widespread ... , 2018]. Обобщение результатов комплексных геолого-геофизических исследований в Южном океане, в частности в зоне его сочленения с Атлантическим океаном, показывает, что этот регион является областью существования крупных фрагментов деструкцированного межконтинентального моста между Южной Америкой и Западной Антарктикой, который испытал растрескивание и локальный рифтогенный спрединг. Динамика его развития определялась разогревом литосферы под влиянием обширного воздымания мантийного вещества (плюма) в условиях умеренного раздвижения между континентальными массивами Южной Америки и Западной Антарктики. Этому сопутствовали региональный магматизм типа ареальных океанических платобазальтов, локальный магматизм (типа базальтов СОХ) в молодых локальных рифтах, дробление и обрушение коровых блоков в проливе Дрейка, а также последовательное погружение таких блоков в котловине моря Скоша.

В проливе Брансфилд неоднократно проводились исследования, направленные на поиски глубоководных гидротермальных источников и связанных с ними экосистем, основанных на хемотрофии [Hydrothermal activity at ... , 1999; Bransfield Strait, Antarctic ... , 1995], а также работы [Tilbrook, Karl, 1994] по выявлению закономерностей распределения метана в водной толще пролива. Большинство этих исследований было связано с подводными поднятиями вулканической природы (The Hook, The Axe, Three Sisters) в различных частях пролива Брансфилд. В отдельных случаях в придонных слоях воды были зафиксированы повышенные концентрации метана (до 15 нмоль/л). В 2013 г. в проливе Брансфилд был впервые обнаружен активный гидротермальный источник на поднятии The Hook, причем его су-

ществование было подтверждено как аналитическими методами анализа осадков, так и данными видеонаблюдения [Geochemical and visual ... , 2013]. Тем не менее глубоководная часть пролива Брансфилд осталась относительно малоизученной из-за того, что усилия по поиску гидротермальных источников были направлены преимущественно на исследование вулканических поднятий [Грикуров, Иванов, Каменев, 1990; Гордин, 2007; Куренцова, Удинцев, 2004; О каменном материале ... , 2007; Макаренко, 1997; Рудич, 2010; Платобазальтовый магматизм дна ... , 2009].

Краткая гидрологическая характеристика района исследований

В проливе Брансфилд происходит столкновение теплых вод Атлантического циркумполярного течения (АЦТ), проникающих через глубокие проливы между островами Брабант, Лоу и Смит, и поверхностных вод моря Уэдделла, попадающих в пролив Брансфилд через пролив Антарктика (Antarctica Sound) и шельфовую зону острова Жуэнвиль (Joinville) [Морозов, 2007; Zhou, Niiler, Hu, 2002; Zhou, Dorland, 2004]. Результатом взаимодействия вод АЦТ и вод моря Уэдделла является образование в проливе Брансфилд прибрежного пограничного течения, направленного вдоль южного побережья Южных Шетландских островов на северо-восток. Пограничное течение пролива Брансфилд оказывает существенное влияние на физико-химические свойства воды в этом районе и участвует в переносе биогенных элементов [Deer and bottom ... , 2000], необходимых для развития морской биоты на всех трофических уровнях. Этот район имеет важное биоресурсное значение, поскольку является районом, где происходит рост и развитие антарктического криля до взрослых особей. Криль является важным экосистемным звеном в Южном океане, представляющим собой источник питания для многих видов рыб, пингвинов и морских млекопитающих [Самышев, 1991].

В период австралийского лета (декабрь – февраль) акватория пролива Брансфилд свободна от ледового покрова, практически отсутствуют айсберги и крупные осколки льда, мешающие мореплаванию, что делает пролив удобным полигоном для проведения ряда геологических, океанологических и гидробиологических исследований этой части Южного океана.

Район исследования, материалы и методы

Район исследования

Научные работы проводились на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» в ходе второго и третьего этапов рейса АМК-79 (5 января – 7 марта 2020 г.). Географически район работ охватывал акваторию от 62°33'988S до 62°36'725S и от 59°38'806W до 59°05'224W в проливе Брансфилд между Южными Шетландскими островами и Антарктическим полуостровом. Было выполнено два разреза – продольный и поперечный (рис. 1). Поперечный разрез располагался в центральной части пролива Брансфилд в юго-восточном направлении от острова Гринвич до Антарктического полуострова и включал в себя шесть STD-станций, продольный состоял из двух станций и располагался в зоне действия прибрежного пограничного течения в проливе Брансфилд вдоль островов Ливингстона, Гринвич и Роберт.

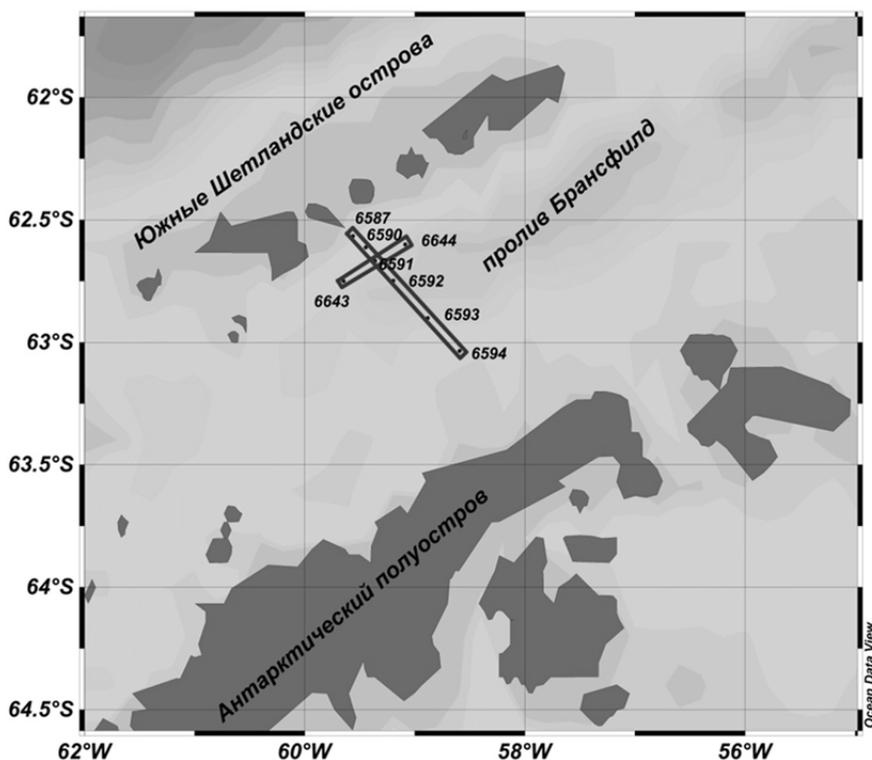


Рис. 1. Карта района исследований и расположение выполненных разрезов

На восьми станциях была отобрана 61 проба морской воды. При отборе проб с борта использовалась 24-позиционная система Rosette (США), комбинированная с CTD-зондом. Зондирующий комплекс оснащался кассетой батометров системы NISKIN (22 батометра). Отбор проб производился, как правило, на стандартных глубинах 50, 100, 150, 200, 300, 500, 700, 1000, 1500 м и в придонном горизонте водной толщи. Пробы изучались на содержание метана в воде, интенсивность процессов метанотрофии/метаногенеза и обнаружение термофильных биоиндикаторных микроорганизмов.

Химические методы

Для анализа содержания метана во всех образцах воды применялся метод равновесных концентраций HeadSpace [Vereshchagina, Korovitskaya, Mishukova, 2013]. Вода из батометров отбиралась в стеклянные бутылки объемом 120 мл, которые немедленно герметично закрывались резиновыми пробками без доступа воздуха. Для удаления излишков воды использовались иглы от медицинского шприца. Бутылки заполнялись 22 мл гелия при помощи пластикового мешка Tedlar Bag Dual Valve (США) с двумя клапанами: через первый клапан производилось заполнение мешка гелием, через второй клапан с помощью иглы осуществлялось заполнение бутылки с образцом гелием через пробку. В качестве газовой фазы использовался чистый гелий марки «6.0». Образцы воды интенсивно перемешивались 3,5 часа перед проведением анализа с помощью шейкера LOIPLS-110 (Россия), также

до анализа газовая фаза равновесно извлекалась шприцем для ввода в газовый хроматограф. Для газохроматографического анализа газового состава применялся газовый хроматограф «ЭХО-EW мод.2» (Россия), оснащенный пламенно-ионизационным детектором (ПИД) и металлической поликапиллярной колонкой (длина 2 м, толщина 0,2–0,3 мм, фаза Hayesep SD). Объем вводимой в прибор газовой фазы составлял 1500 мкл. Разделение компонентов происходило в изотермическом режиме при температуре колонки 50 °С. Температура детектора (ПИД) составляла 190 °С. В качестве газа-носителя использовался чистый гелий марки «6.0». Для калибровки прибора применялись сертифицированные поверочные газовые смеси (ООО «ПГС-Сервис», Россия). Расчет концентраций метана, растворенного в морской воде, производился по методике [Yamamoto, Alcauskas, Crozier, 1979] в модификации [Wiesenburg, Guinasso, 1979] с использованием расчетных констант растворимости метана. Методики газогеохимических исследований утверждены в паспорте Лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН (Свидетельство Росстандарта № 21).

Геомикробиологические методы

Для определения скорости метанотрофии и метаногенеза использовали газохроматографический метод с применением ингибитора. В качестве ингибитора выступал дифторметан. Инкубирование проб осуществляли при температуре отбора пробы.

Для исследования геомикробиологических показателей проводили расчет двух параметров: скоростей синтеза (МГ) и окисления метана (МТ) по следующим формулам [Miller, Sasson, Oremland, 1998]:

$$МТ = (М_{и} - М) / 24;$$

$$МГ = (М_{и} - М_{исх}) / 24,$$

где МТ – скорость метанотрофии, МГ – скорость метаногенеза, $M_{и}$ – концентрация метана в пробе с ингибитором, M – концентрация метана в пробе без ингибитора, $M_{исх}$ – исходная концентрация метана, 24 часа – время инкубирования.

Обнаружение метанотрофных термофильных бактерий проводили высевом на селективную питательную среду AMS-NMS следующего состава: NH_4Cl – 1 г, $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 1 г, $Na_2HPO_4 \times 12H_2O$ – 0,05 г, K_2HPO_4 – 0,05 г, $CaCl_2$ – 0,2 г на 1 л среды, pH – 6,8 с добавлением раствора микроэлементов по Пффенингу. Концентрация метана в среде составляла 0,02 г/л. Пробы исследовались в течение 2 часов после их отбора. Культивирование проходило в течение трех суток при температуре +60 °С. Присутствие бактерий определяли по помутнению среды и/или образованию бактериальной пленки либо осадка, изменению цвета среды. Наличие клеток бактерий после инкубирования подтверждали с помощью световой микроскопии (фиксированные препараты, окрашенные фуксином).

Статистическая обработка результатов

Для расчетов и систематизации полученных в рейсе данных применялись электронные таблицы Microsoft Excel. Получаемые данные непосред-

ственно после обработки вводились в геоинформационные приложения (Ocean Data View 4.7.8, Grapher 3, Strater, Surfer 13, Mapinfo 12, ArcGis 10.3) для оперативной интерпретации.

Результаты и их обсуждение

Поперечный океанографический разрез в проливе Брансфилд выполнен в диапазоне глубин от 191 до 1417 м (см. рис. 1, табл.). На станциях этого разреза была отобрана и проанализирована на содержание метана 41 проба морской воды. Средняя концентрация метана в водных колонках первого разреза составила 7,91 нмоль/л для всего диапазона глубин.

Таблица

Список станций в проливе Брансфилд

№ станции	Координаты		Максимальная глубина, м	Максимальная концентрация CH ₄ , нмоль/л
	ю. ш.	з. д.		
6587	62,56647	59,56258	470	12,29
6590	62,61208	59,44607	1243	12,33
6591	62,66742	59,36123	1397	42,99
6592	62,74872	59,19462	1417	14,36
6593	62,90107	58,88333	743	8,28
6594	63,03478	58,59258	191	6,44
6643	62,75050	59,64677	1376	14,46
6644	62,60052	59,08707	1507	10,29

В ходе газогеохимических исследований водной толщи пролива Брансфилд на большинстве станций были выявлены горизонты со значительным превышением средней концентрации метана (см. табл. 1.). В преобладающем числе случаев повышенные концентрации метана были приурочены к придонному слою серии близкорасположенных глубоководных станций (6590, 6591, 6592, 6643 и 6644), что отражает поступление метана из источника на дне пролива. На станциях на склоне и шельфе Антарктического полуострова (6593 и 6594) средняя концентрация метана была ниже, чем в глубоководной части пролива, так как Антарктический полуостров омывается водами моря Уэдделла, бедными метаном [Methane dynamics in ... , 2004]. Необычный бимодальный характер распределения метана наблюдался на шельфе Южных Шетландских островов (станция 6587) и был обусловлен воздействием течения пролива Брансфилд. Увеличение концентрации метана до 12,29 нмоль/л на этой станции объясняется оптимальными условиями для биогенного синтеза метана (прогревом морской воды, поступлением органического вещества и биогенных элементов с Южных Шетландских островов). Следует отметить, что бимодальное распределение метана в водных колонках на шельфе и континентальном склоне было неоднократно замечено ранее при изучении холодных метановых сипов [Полоник, 2019].

Станция 6587, расположенная на шельфе острова Гринвич, характеризовалась достаточно хорошим прогревом всей толщи морской воды (от 1,95 в поверхностном слое до 0,39 °C в придонном). Верхние слои морской воды

(до 38 м) были распреснены до 34,17 единиц шкалы практической солености благодаря пресноводному стоку с Южных Шетландских островов.

Распределение метана на этой станции носило бимодальный характер: максимумы концентраций метана (11,37 и 13 нмоль/л) были приурочены к горизонтам 150 и 350 м соответственно (рис. 2, *a*). Слой воды с пониженной концентрацией метана (6,45 нмоль/л) на глубине 225 м также обладал и наиболее низкой температурой (0,02 °С). Изучение бактериальных процессов окисления и синтеза метана на этой станции показало, что на глубине от 300 до 150 м процессы метанотрофии резко замедляются. Данное явление может быть объяснено вторжением воды с пониженной температурой и концентрацией метана в шельфовую зону и вызвано переносом холодной воды с более глубоких горизонтов под действием течения пролива Брансфилд, заглубляющегося до 400 м и переносящего воду в северо-восточном направлении вдоль Южных Шетландских островов [Морозов, 2007].

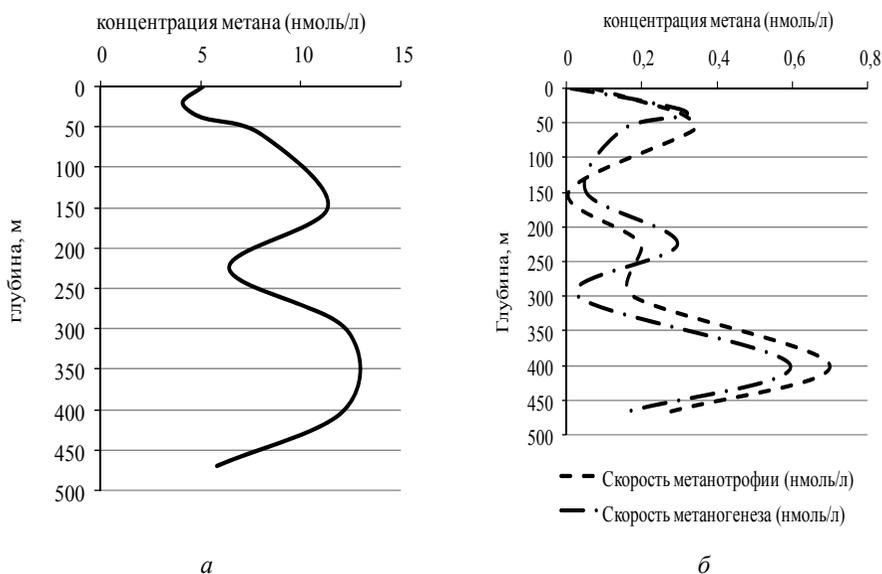


Рис. 2. Бимодальное распределение метана в водной колонке станции 6587: *a* – концентрация метана в воде; *б* – скорость процессов метанотрофии и метаногенеза

При этом метаногенез также ингибируется на глубине 300 м, но на горизонте 225 м его скорость значительно увеличивается, и синтез метана начинает преобладать над его окислением до 150 м. Эти данные свидетельствуют о том, что придонный максимум концентрации метана носит эндогенный характер, а приповерхностный максимум имеет биотическое происхождение. Преобладание синтеза метана над его окислением в поверхностных водах является характерным для сульфат-метановой переходной зоны, обычно связанной либо с хемо-, либо (как в данном случае) с термоклином [Jørgensen, Weber, Zopf, 2001] (см. рис. 2). На трех следующих наиболее глубоких станциях профиля (6590, 6591, 6592) в придонных слоях морской воды были обнаружены высокие (от 12,33 до 42,99 нмоль/л) концентрации метана.

На этом участке профиля до положительной температуры был прогрев лишь верхний слой воды до глубины 70 м, а затем начиналось монотонное понижение температуры до $-1,5$ °С в придонном слое. Также из-за отсутствия пресноводного стока незначительно было выражено и распреснение поверхностного слоя воды (от 34,18 до 34,25 единиц шкалы практической солености для горизонтов 30–48 м на станциях 6590, 6591 и 6592).

На всех указанных станциях (за исключением станции 6590) распределение метана по горизонтам носило мономодальный характер: максимальная концентрация метана во всех случаях обнаруживалась в придонном слое. Наиболее выражено эта закономерность наблюдалась на станции 6591, где концентрация метана была максимальной (43 нмоль/л).

В зоне наибольшей концентрации метана на станциях 6591 и 6592 были зафиксированы минимальные значения интенсивности его бактериального синтеза. Повышение метаногенной активности, которое практически полностью уравнивалось метанотрофией (0,19 и 0,15 нМ/л в час соответственно), наблюдали в придонном слое лишь на станции 6585. Максимальная для данного профиля скорость окисления метана была зафиксирована в донных и придонных слоях водной толщи на станциях 6592 (0,36 и 0,31 нМ/л в час соответственно) и 6593 (0,39 и 0,24 нМ/л в час соответственно). На станции 6591 наибольшая скорость окисления метана наблюдалась на глубине 1000 м при общей глубине станции 1397 м (0,46 и 0,17 нМ/л в час соответственно). Зона высокой активности метанотрофных бактерий смещена относительно станций с наибольшей средней концентрацией метана в шельфовую зону Антарктического полуострова, что вызвано действием течения из моря Уэдделла (рис. 3). Полученные данные об отсутствии глубоководной зоны синтеза метана, а также существование мощного метанотрофного фильтра над станциями с максимальными средними концентрациями метана в морской воде позволяют сделать вывод об эндогенном происхождении метана.

Такое распределение метана свидетельствует о поступлении метана в водную толщу из источников на дне пролива. Для пролива Брансфилд наиболее вероятным выглядит поступление метана из гидротермального источника на дне пролива ввиду недавнего открытия на подводном поднятии The Hook первой гидротермы в этом районе. Гипотезу о гидротермальном происхождении метана подтверждает и обнаружение в придонных слоях морской воды на всех станциях разреза термофильных метанотрофных микроорганизмов, представленных мелкими кокковыми формами, характерными для глубоководных бактерий. В районе исследований ранее фиксировались повышенные концентрации метана в придонном слое, приуроченные к вулканическим поднятиям. Кроме того, все перспективные районы поиска гидротерм и зон флюидной разгрузки находятся на значительном удалении от обнаруженного нами сипа. Эти факты указывают на существование ранее неизвестной зоны метановой разгрузки на дне пролива Брансфилд, которая требует специального исследования.

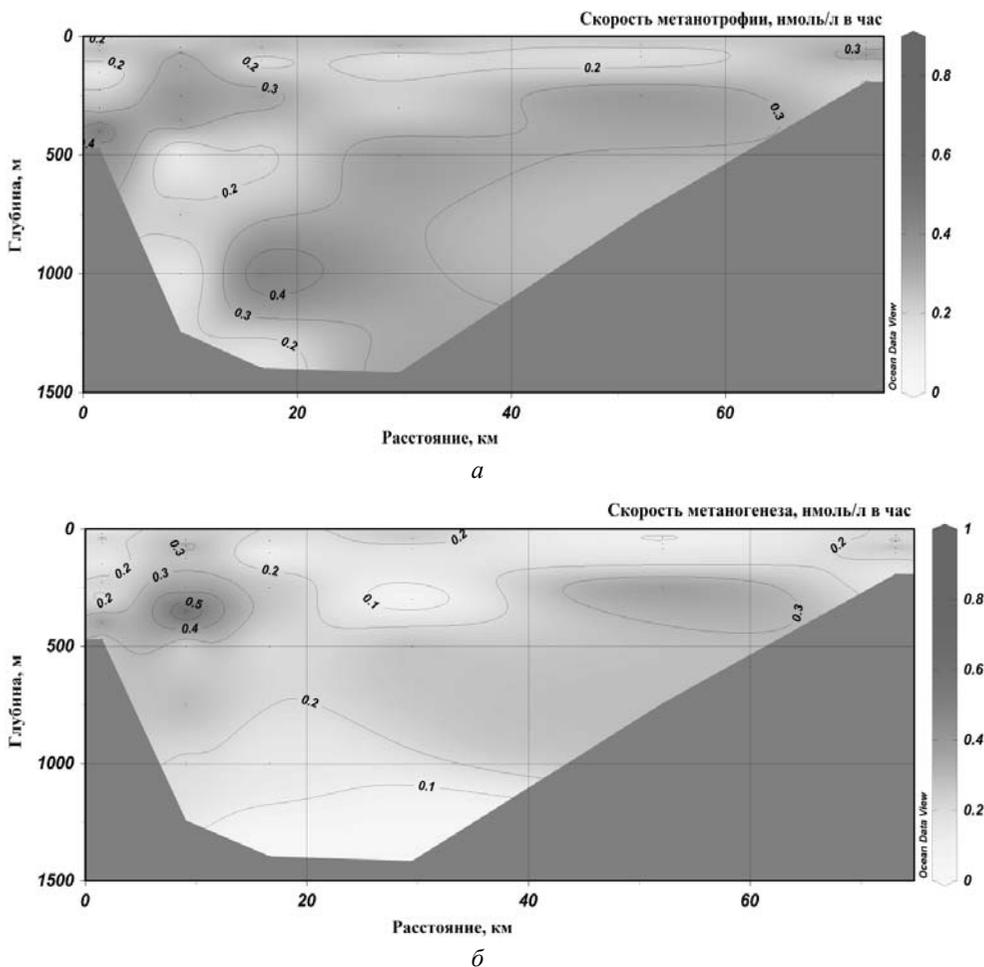


Рис. 3. Скорость метанотрофии (а) и метаногенеза (б) в проливе Брансфилд

Юго-восточная часть разреза представлена двумя мелководными станциями 6593 и 6594 с глубиной дна 743 и 191 м соответственно. Эта часть пролива Брансфилд находится под действием холодных вод из моря Уэдделла, попадающих в пролив через шельфовую зону Антарктического полуострова и пролив Антарктика. Действительно, водные массы станций 6593 и 6594 имели отрицательную температуру (от $-0,03$ до $-1,1$ °C), а также достаточно высокую соленость (от 34,27 до 34,55 единиц шкалы практической солености) для всего диапазона изученных горизонтов. Воды моря Уэдделла бедны метаном [Methane dynamics in ..., 2004], поэтому средняя концентрация метана (5,34 нмоль/л) для этого участка разреза была меньше, чем средняя концентрация метана (7,91 нмоль/л) для всего разреза через пролив Брансфилд. Кроме того, на станции 6593 на глубине 250 м был обнаружен горизонт холодной воды ($-1,1$ °C) с наименьшей концентрацией метана (3,46 нмоль/л) на разрезе.

Распределение метана по горизонтам водной толщи поперечного разреза через пролив Брансфилд сильно зависит от течений (рис. 4).

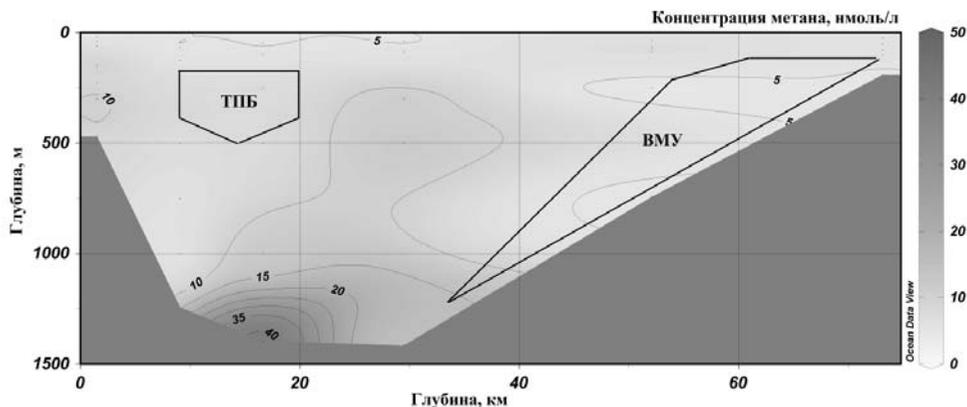


Рис. 4. Распределение метана по горизонтам водной толщи пролива Брансфилд (поперечный разрез, станции 6587, 6590, 6591, 6592, 6593, 6594). Многоугольники:

ТПБ – примерная зона действия течения пролива Брансфилд, ВМУ – участок распространения вод из моря Уэдделла

Действительно, воздействие течения пролива Брансфилд (ТПБ) вызывает смещение насыщенных метаном водных слоев на горизонтах от 1000 до 250 м в юго-восточную часть пролива. В юго-восточной части пролива на распределение метана более явное влияние оказывают воды моря Уэдделла (ВМУ). Таким образом, метан из метановой аномалии на дне пролива занимает наиболее глубокий участок в центре пролива Брансфилд на горизонтах от 1417 до 250 м.

После обнаружения на дне пролива метановой аномалии были отобраны пробы на двух дополнительных станциях 6643 и 6644, образующие со станцией 6591 короткий продольный разрез вдоль пролива Брансфилд. Станции 6643 и 6644 располагались на расстоянии примерно 15–17 км и были приурочены к глубинам 1376 и 1507 м соответственно. Гидрологические параметры воды (температура и соленость) в водных колонках станций 6643 и 6644 были сходны с параметрами воды на станции 6591. Максимальные концентрации метана в воде обнаружены в придонном слое и составили 14,46 и 12,42 нмоль/л соответственно. Снижение концентрации метана в придонном слое воды по сравнению со станцией 6591, вероятнее всего, объясняется удаленностью станций 6643 и 6644 от источника метана на дне (рис. 5).

Близкие по величине концентрации метана в придонном слое воды (12,33 и 14,36 нмоль/л) ранее были зафиксированы и на ближайших станциях 6590, 6592 поперечного разреза (см. табл.).

Таким образом, сопоставление газогеохимических, гидрологических и микробиологических данных указывает на наличие активного фокусированного источника метана на дне пролива Брансфилд, при этом насыщенные метаном водные массы могут распространяться на значительные расстояния.

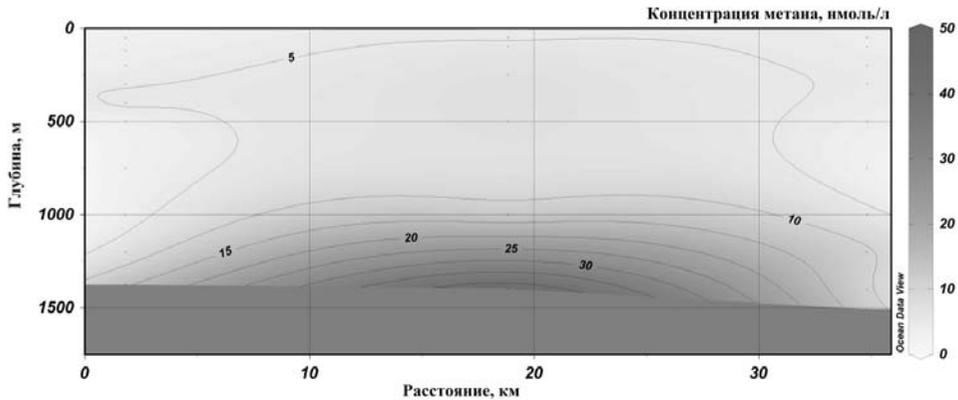


Рис. 5. Распределение метана по горизонтам водной толщи пролива Брансфилд (продольный разрез, станции 6643, 6591, 6644)

По всей видимости, новый, ранее неизвестный источник метана на дне пролива Брансфилд носит локальный характер и связан с участком газовой разгрузки, вероятнее всего, представляющим собой гидротермальный выход. Найденная метановая аномалия связана с эндогенными процессами в рифтогенной сейсмоактивной зоне, а локализация источника обусловлена особенностями тектонического строения дна пролива Брансфилд и требует более детального изучения.

Исследования газогеохимических полей именно в придонном слое толщи вод позволяют наиболее точно обнаружить струйные выходы метана из донных отложений. В связи с приведенными результатами можно предположить, что в Атлантическом секторе Южного океана могут находиться районы дальнего переноса аномальных полей метана в толще вод по латерали. Достижение аномальными полями метана поверхностного слоя толщи вод возможно при условии наличия мощных пузырьковых струй, высота которых в разных районах Мирового океана иногда достигает 2 км [Новые данные о линеаментном ... , 2017].

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ТОИ ДВО РАН «Комплексные исследования окружающей среды Южного океана» FWMM-2019-0007 и гранта РФФИ 20-55-12010 ННЮ_а «Источники и динамика эмиссии метана в двух разных арктических окраинных морях».

Авторы признательны научному составу экспедиции 78 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» за совместную работу и благодарят капитана дальнего плавания и экипаж судна за обеспечение проведенных работ. Экспедиция выполнена при поддержке Минобрнауки РФ.

Список литературы

Глубинные неоднородности структур дна центрального сегмента зоны разломов Шеклтон (пролив Дрейка) по данным геофизических исследований / В. Д. Соловьев, В. Г. Бахмутов, И. Н. Корчагин, С. П. Левашов // Ukrainian Antarctic Journal. 2010. № 9. С. 62–75.

Гордин В. М. Аномальное магнитное поле Мирового океана и гипотеза Вайна – Метгьюза // Гордин В. М. Избранные труды. М. : ИФЗ РАН, 2007. С. 63–92.

Грикуров Г. Э, Иванов В. Л, Каменев Е. Н. Геология и минеральные ресурсы Антарктиды. М. : Недра, 1990. 231 с.

Куренцова Н. А., Удинцев Г. Б. Основные черты строения и эволюции южной части моря Скоша, Западная Антарктика // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23, № 5. С. 25–39.

Макаренко Г. Ф. Периодичность базальтов, биокризисы, структурная симметрия Земли : монография. М. : Геоинформмарк, 1997. 95 с.

Морозов Е. Г. Течение в проливе Брансфилд // Доклады Академии наук. 2007. Т. 415, № 6. С. 823–825.

Новые данные о линеamentном контроле современных очагов метановой дегазации морей Восточной Азии / Р. Б. Шакиров, А. И. Обжиров, А. С. Саломатин, М. М. Макаров // Доклады РАН. 2017. Т. 477, № 3. С. 331–334. <https://doi.org/10.7868/S0869565217330155>

О каменном материале со дна моря Уэдделла, Южный океан / Н. А. Куренцова, Т. Н. Фролова, Г. Б. Удинцев, И. А. Рощина // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26, № 5. С. 32–42.

Платобазальтовый магматизм дна морей Западной Антарктики, Южный океан / Г. Б. Удинцев, Н. А. Куренцова, А. В. Кольцов, Л. Г. Домарацкая // Докл. РАН. 2009. Т. 424, № 1. С. 111–117.

Полоник Н. С. Источники метана на Корякском склоне Берингова моря // Природа. 2019. № 6. С. 36–43.

Рудич Е. М. Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы : монография. М. : Недра, 1984. 251 с.

Самышев Э. З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале : монография. М. : Наука, 1991. 168 с.

Тетерин Д. Е. Геодинамическая эволюция пролива Дрейка в постмиоценовое время, Западная Антарктика, Южный океан // Физика Земли. 2011. № 8. С. 3–19.

The timing and widespread effects of the largest Holocene volcanic eruption in Antarctica / D. Antoniadou, S. Giralto, A. Geyer, A. M. Álvarez-Valero, S. Pla-Rabes, I. Granados, E. J. Liu, M. Toro, J. L. Smellie, M. Oliva // Scientific Reports. 2018. Vol. 8. 17279. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35460-x>

Geochemical and visual indicators of hydrothermal fluid flow through a sediment-hosted volcanic ridge in the Central Bransfield Basin (Antarctica) / A. Aquilina, D. P. Connelly, J. T. Copley, D. R. H. Green, J. A. Hawkes, L. E. Hepburn, V. A. I. Huvenne, L. Marsh, R. A. Mills, P. A. Tyler // PLoS ONE. 2013. Vol. 8, N 1. e54686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054686>

Hydrothermal activity at Hook Ridge in the Central Bransfield Basin, Antarctica / G. Bohrmann, C. Chin, S. Petersen, H. Sahling, U. Schwarz-Schampera, J. Greinert, S. Lammer, G. Rehder, A. Daehlmann, K. Wallmann, S. Dijkstra, H.-W. Schenke // Geo-Marine Letters. 1998. Vol. 18. N 4. P. 277–284. <https://doi.org/10.1007/s003670050080>

Methane dynamics in the Weddell Sea determined via stable isotope ratios and CFC-11 / K. Heeschen, R. S. Keir, G. Rehder, O. Klatt, E. Suess // Global Biogeochemical Cycles. 2004. Vol. 18, Iss. 2. P. GB2012. <https://doi.org/10.1029/2003GB002151>, 200

Methane production, consumption and its carbon isotope ratios in the Southern Ocean during the austral summer / N. Boontanon, S. Watanabe, T. Odate, N. Yoshida // Biogeosciences Discuss. 2010. Vol. 7. P. 7207–7225. <https://doi.org/10.5194/bgd-7-7207-2010>

Deep and bottom water of the Bransfield Strait eastern and central basins / A. L. Gordon, M. Mensch, D. Zhaoqian, Jr. W. M. Smethie, J. de Bettencourt // Journal of Geophysical Research Atmospheres. 2000. Vol. 105, N C5. P. 11337–11346. <https://doi.org/10.1029/2000JC900030>

Jørgensen B. B., Weber A., Zopfi J. Sulfate reduction and anaerobic methane oxidation in Black Sea sediments // *Deep Sea Res. I.* 2001. Vol. 48. P. 2097–2120. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00007-3)

Bransfield Strait, Antarctic Peninsula active extension behind a dead arc / L. A. Lawver, R. A. Keller, M. R. Fisk, J. A. Strelin // *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism* / ed. B. Taylor. New York : Plenum Press, 1995. P. 315–342. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1843-3_8

Miller L. G., Sasson C., Oremland R. S. Difluoromethane, a new and improved inhibitor of methanotrophy // *Applied and Environmental Microbiology.* 1998. Vol. 64, N 11. P. 4357–4362. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.11.4357-4362.1998>

Tilbrook B. D., Karl D. M. Dissolved methane distributions, sources, and sinks in the western Bransfield Strait, Antarctica // *Journal of Geophysical Research.* 1994. Vol. 99 N C8. P. 16383–16393. <https://doi.org/10.1029/94JC01043>

Antarctic climate change and the environment: an update / J. Turner, N. E. Barrand, T. J. Bracegirdle, P. Convey, D. A. Hodgson, M. Jarvis, A. Jenkins, G. Marshall, M. P. Meredith, H. Roscoe, J. Shanklin // *Polar Record.* 2013. Vol. 50, N 3. P. 237–259. <https://doi.org/10.1017/S0032247413000296>

Vereshchagina O. F., Korovitskaya E. V., Mishukova G. I. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan // *Deep-Sea Res. II.* 2013. Vol. 86–87. P. 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.08.017>

Wiesenburg D. A., Guinasso N. L. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and sea water // *J. Chem. Eng. Data.* 1979. Vol. 24, N 4. P. 356–360. <https://doi.org/10.1021/je60083a006>

Yamamoto S., Alcauskas J. B., Crozier T. E. Solubility of methane in distilled water and sea water // *J. Chem. Eng. Data.* 1976. Vol. 21, N 1. P. 78–80. <https://doi.org/10.1021/je60068a029>

Zhou M., Dorland R. Aggregation and vertical migration of *Euphausia superba* // *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography.* 2004. P. 2119–2137. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.07.009>

Zhou M., Niiler P. P., Zhu Y., Dorland R. D. The western boundary current in the Bransfield Strait, Antarctica // *Deep-Sea Res. I.* 2006. Vol. 53. P. 1244–1252. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2006.04.003>

Zhou M., Niiler P. P., Hu J.-H. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica // *Deep-Sea Res. I.* 2002. Vol. 49. P. 267–280. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00062-0)

Deep Water Methane Anomaly in Brancefield Straw (Antarctic)

N. S. Polonik, A. L. Ponomareva, R. B. Shakirov

V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

Abstract. The paper presents the preliminary results about the distribution of dissolved methane in water of Bransfield strait deep sea (more 1000 m) area by gas chromatography. The gasochemical survey revealed single methane seepage at 1397 meters with high methane concentration (43 nmol/l) in the bottom water horizon. Also, it was discovered that methane saturated (10,29-14,46 nmol/l) water layer covered the space about 30-35 km around the central cite of methane anomaly. The studies of geomicrobiological parameters of sea water revealed the rich microbiological filter in the methane discharge zone. The thermogenic origin of methane was confirmed by the discovery of cultivated forms of thermophilic methanotrophic bacteria founded in the microbiological filter.

Keywords: methane, gas chromatography, Bransfield Strait, Southern Ocean, Antarctica.

For citation: Polonik N.S., Ponomareva A.L., Shakirov R.B. Deep Water Methane Anomaly in Brancefield Straw (Antarctic). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 32, pp. 61-76. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.61> (in Russian)

References

Gordin V.M. *Anomalnoe magnitnoe pole Mirovogo okeana i gipoteza Vaina-Mett'yuza* [Anomalous magnetic field of the oceans and the Vine-Matthews hypothesis]. *Izbrannye trudy*, Moscow, IFZ RAN Publ., 2007, pp. 63-92 (in Russian).

Grikurov G.E., Ivanov V.L., Kamenev E.N. *Geologiya i mineralnye resursy Antarktidy* [Geology and Mineral Resources of Antarctica]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 231 p. (in Russian).

Kurentsova N.A., Udintsev G.B. Osnovnye cherty stroeniya i evolyutsii yuzhnoi chasti moray Skosha, Zapadnaya Antarktika [The main features of the structure and evolution of the southern part of the Sea of Scotia, Western Antarctica]. *Tikhookeanskaya geologiya* [Pacific Geology], 2004, vol. 23, no. 5, pp. 25-39. (in Russian).

Kurentsova N.A., Frolova T.N., Udintsev G.B., Roshchina I.A. O kamennom materiale so dna moray Ueddella, Yuzhnyi okean [About stone material from the bottom of the Weddell Sea, South Ocean]. *Tikhookeanskaya geologiya* [Pacific Geology], 2007, vol. 26, no. 5, pp. 32-42. (in Russian).

Makarenko G.F. *Periodichnost bazaltov, biokrizisy, strukturnaya simmetriya Zemli* [Periodicity of basalts, biocrisis, structural symmetry of the Earth]. Moscow, Geoinformmark Publ., 1997, 95 p. (in Russian).

Morozov E.G. Techenie v prolive Bransfil'd [Current in the Bransfield Strait]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Science], 2007, vol. 415, no. 6, pp. 823-825.

Polonik N.S. *Istochniki metana na Koryakskom sklone Beringova morya* [The methane sources of the Koryak slope of Bering sea]. *Priroda* [Nature], 2019, no. 6, pp. 36-43. (in Russian).

Rudich E.M. *Rasshiryayushchiesya okeany: fakty i gipotezy* [Expanding Oceans: Facts and Hypotheses]. Moscow, Nedra Publ., 1984, 251 p. (in Russian).

Samyshev E.Z. *Antarkticheskii kril' i struktura planktonnogo soobshchestva v ego areale* [Antarctic krill and plankton community structure in its range]. Moscow, Nauka Publ., 1991, 168 p. (in Russian).

Solov'ev V.D., Bakhmutov V.G., Korchagin I.N., Levashov S.P. Glubinnye neodnorodnosti struktur dna tsentral'nogo segmenta zony razlomov Sheklton (proliv Dreika) po dannym geofizicheskikh issledovaniy. [Deep heterogeneity of bottom structures of the central segment of the Shackleton fault zone (Drake Strait) according to geophysical research]. *Ukrainian Antarctic Journal*, 2010, no. 9, pp. 62-75. (in Russian).

Teterin D.E. Geodinamicheskaya evolyutsiya proliva Dreika v postmiotsenovskoe vremya, zapadnaya Antarktika, Yuzhnyi okean [Geodynamic evolution of the Drake Strait in the Post-Miocene time, western Antarctica, South Ocean]. *Fizika Zemli* [Earth Physics], 2011, vol. 8, no. 8, pp. 3-19. (in Russian).

Udintsev G.B., Kurentsova N.A., Koltsov A.V., Domaratskaya L.G. Platobazal'tovyy magmatizm dna morei Zapadnoi Antarktiki, Yuzhnyi okean [Platobasaltic magmatism of the bottom of the seas of Western Antarctica, the Southern Ocean]. *Doklady RAN* [RAS Reports], 2009, vol. 424, no. 1, pp. 111-117. (in Russian).

Shakirov R.B., Obzhairov A.I., Salomatin A.S., Makarov M.M. Novye dannye o lineamentnom kontrole sovremennykh ochagov metanovoi degazatsii morei Vostochnoi Azii [New data about lineament control of modern focuses of methane degasation of Eastern Asia seas]. *Doklady RAN* [RAS Reports], 2017, vol. 477, no. 3, pp. 331-334. (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0869565217330155>

Antoniades D., Giralt S., Geyer A., Álvarez-Valero A.M., Pla-Rabes S., Granados I., Liu E.J., Toro M., Smellie J.L., Oliva M. The timing and widespread effects of the largest Holo-

cene volcanic eruption in Antarctica. *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, 17279. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35460-x>

Aquilina A., Connelly D.P., Copley J.T., Green D.R.H., Hawkes J.A., Hepburn L.E., Huvenne V.A.I., Marsh L., Mills R.A., Tyler P.A. Geochemical and visual indicators of hydrothermal fluid flow through a sediment-hosted volcanic ridge in the Central Bransfield Basin (Antarctica). *PLoS ONE*, 2013, vol. 8, no. 1, e54686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054686>

Bohrmann G., Chin C., Petersen S., Sahling H., Schwarz-Schampera U., Greinert J., Lammers S., Rehder G., Daehlmann A., Wallmann K., Dijkstra S., Schenke H.-W. Hydrothermal activity at Hook Ridge in the Central Bransfield Basin, Antarctica. *Geo-Marine Letters*, 1998, vol. 18, no. 4, pp. 277-284. <https://doi.org/10.1007/s003670050080>

Boontanon N., Watanabe S., Odate T., Yoshida N. Methane production, consumption and its carbon isotope ratios in the Southern Ocean during the austral summer. *Biogeosciences Discuss.*, 2010, vol. 7, pp. 7207-7225. <https://doi.org/10.5194/bgd-7-7207-2010>

Gordon A.L., Mensch M., Zhaoqian D., Smethie Jr. W.M., de Bettencourt J. Deep and bottom water of the Bransfield Strait eastern and central basins. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2000, vol. 105, no. C5, pp. 11337-11346. <https://doi.org/10.1029/2000JC900030>

Heeschen K., Keir R. S., Rehder G., Klatt O., Suess E. Methane dynamics in the Weddell Sea determined via stable isotope ratios and CFC-11. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, vol. 18, iss. 2, pp. GB2012. <https://doi.org/10.1029/2003GB002151>, 200

Jørgensen B.B., Weber A., Zopf J. Sulfate reduction and anaerobic methane oxidation in Black Sea sediments. *Deep Sea Res. I*, 2001, vol. 48, pp. 2097-2120. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00007-3)

Lawver L.A., Keller R.A., Fisk M.R., Strelin J.A. Bransfield Strait, Antarctic Peninsula active extension behind a dead arc. *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. B. Taylor (eds.). New York, Plenum Press, 1995. pp. 315-342. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1843-3_8

Miller L.G., Sasson C., Oremland R.S. Difluoromethane, a new and improved inhibitor of methanotrophy. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, vol. 64, no. 11, pp. 4357-4362. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.11.4357-4362.1998>

Tilbrook B.D., Karl D.M. Dissolved methane distributions, sources, and sinks in the western Bransfield Strait, Antarctica. *Journal of Geophysical Research*, 1994, vol. 99, no. C8, pp. 16383-16393. <https://doi.org/10.1029/94JC01043>

Turner J., Barrand N.E., Bracegirdle T.J., Convey P., Hodgson D.A., Jarvis M., Jenkins A., Marshall G., Meredith M.P., Roscoe H., Shanklin J. Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record*, 2013, vol. 50, no. 3, pp. 237-259. <https://doi.org/10.1017/S0032247413000296>

Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan. *Deep-Sea Res. II*, 2013, vol. 86-87, pp. 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.08.017>

Wiesenburg D.A., Guinasso N.L. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and sea water. *J. Chem. Eng. Data*, 1979, vol. 24, no. 4, pp. 356-360. <https://doi.org/10.1021/je60083a006>

Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E. Solubility of methane in distilled water and sea water. *J. Chem. Eng. Data*, 1976, vol. 21, no. 1, pp. 78-80. <https://doi.org/10.1021/je60068a029>

Zhou M., Dorland R. Aggregation and vertical migration of *Euphausia superba*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004, pp. 2119-2137. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.07.009>

Zhou M., Niiler P.P., Zhu Y., Dorland R.D. The western boundary current in the Bransfield Strait, Antarctica. *Deep-Sea Res. I*, 2006, vol. 53, pp. 1244-1252. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2006.04.003>

Zhou M., Niiler P.P., Hu J.-H. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep-Sea Res. I*, 2002, vol. 49, pp. 267-280. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00062-0)

Полоник Никита Сергеевич

кандидат химических наук, научный сотрудник, лаборатория газогеохимии Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43
e-mail: nikpol@poi.dvo.ru

Polonik Nikita Sergeevich

Candidate of Sciences (Chemistry), Research Scientist Laboratory of Gas Geochemistry V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russian Federation
e-mail: nikpol@poi.dvo.ru

Пономарева Анна Леонидовна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексного исследования окружающей среды и минеральных ресурсов Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43
e-mail: giston@list.ru

Ponomareva Anna Leonidovna

Candidate of Sciences (Biology), Senior Research Scientist, Laboratory a Comprehensive Study of Environment and Mineral Resources V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russian Federation
e-mail: giston@list.ru

Шакиров Ренат Белалович

доктор геолого-минералогических наук, заведующий, лаборатория газогеохимии Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43
e-mail: ren@poi.dvo.ru

Shakirov Renat Belalovich

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Head, Laboratory of Gas Geochemistry V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russian Federation
e-mail: ren@poi.dvo.ru

Код научной специальности: 25.00.36

Дата поступления 10.04.2020

Received: April, 10, 2020