

Научная статья

УДК 550.4.02: 550:424

DOI: 10.37102/0869-7698_2023_228_02_4

EDN: EKTGER

Распределение метана в водной толще района Тропической подводной горы (Атлантический океан)

А.О. Холмогоров, Н.С. Сырбу✉, Р.Б. Шакиров, Л.Б. Невеш

Андрей Олегович Холмогоров

старший инженер, аспирант

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

kholmogorov.ao@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6259-1614>

Надежда Сергеевна Сырбу

кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией

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

syrbu@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1441-6133>

Ренат Белалович Шакиров

доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора, заведующий
лабораторией

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

ren@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1202-0351>

Лейла Брито Невеш

председатель национального комитета Республики Кабо-Верде по объявленному ООН
Десятилетию науки об океане в интересах устойчивого развития Республики Кабо-
Верде

leilabneves@gmail.com

Аннотация. Проведены исследования распределения температуры, солёности и концентрации метана по глубине на гидрологической станции в районе Тропической подводной горы (восточная часть субтропической зоны Атлантического океана) в экспедиции «Комплексные исследования морской экосистемы Антарктики в узловых районах переноса и взаимодействия водных масс в Атлантическом секторе Антарктики, море Скотия и проливе Дрейка» на НИС «Академик Мстислав Келдыш», 7 декабря 2021 г. – 5 апреля 2022 г. (87-й рейс).

При рассмотрении показателей температуры и солености были выделены основные слои водной толщи данного района, а также сопоставлены значения растворенного в морской воде метана с основными гидрологическими показателями (температурой и соленостью). Показано, что растворенный в морской воде метан концентрируется под слоем пикноклина, а также переносится в бароклинном слое от потенциального источника в районе Гвинейского залива на север. В районе Тропической подводной горы значения концентрации метана соотносятся со значениями солености морской воды, что позволяет использовать показатель концентрации метана как дополнительный маркер различных водных масс в толще океана, а также проследить его источник. В связи с обсуждением сотрудничества по проведению океанографических и прибрежных исследований в Атлантическом океане результаты статьи имеют важное значение для формирования совместной научной повестки с национальным комитетом Республики Кабо-Верде в рамках объявленного ООН Десятилетия наук об океане, а также являются частью международных обязательств Российской Федерации как участника Договора об Антарктике и Конвенции о сохранении морских живых ресурсов.

Исследования приобретают особую актуальность в соответствии с ожидаемыми приоритетами проекта ГЕОМИР (ID 164, руководитель д.г.-м.н. Р.Б. Шакиров) ООН Десятилетия наук об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 гг.).

Ключевые слова: метан, Тропическая подводная гора, температура, соленость

Для цитирования: А.О. Холмогоров, Н.С. Сырбу, Р.Б. Шакиров, Л.Б. Невеш. Распределение метана в водной толще района Тропической подводной горы (Атлантический океан) // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 2. С. 64–74. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_228_02_4.

Финансирование. Работы выполнены в рамках: госбюджетной темы «Комплексные исследования окружающей среды Южного океана» (научный руководитель д.г.-м.н. Р.Б. Шакиров; регистрационный номер: АААА-А19-119122390017-4); госбюджетной темы АААА-А19-119122090009-2.

Original article

Distribution of methane in the water column of the Tropical seamount area (Atlantic Ocean)

A.O. Kholmogorov, N.S. Syrbu, R.B. Shakirov, L.B. Nevesh

Andrey O. Kholmogorov

Senior Engineer, Graduate Student

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

kholmogorov.ao@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6259-1614>

Nadezhda S. Syrbu

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Head of the Laboratory

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

syrbu@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1441-6133>

Renat B. Shakirov

Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Deputy Director, Head of the Laboratory
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
ren@poi.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1202-0351>

Leila B. Nevesh

Chairman Cape Verde National Committee for the UN Decade
leilabneves@gmail.com

Abstract. Studies of the temperature, salinity and methane concentration distribution by depth were carried out at a hydrological station in the area of a Tropical seamount (eastern part of the subtropical zone of the Atlantic Ocean) in the expedition “Complex studies of the Antarctic marine ecosystem in the nodal areas of the transport and interaction of water masses in the Atlantic sector of Antarctica, the Scotia Sea and the Drake Strait” onboard R/V “Akademik Mstislav Keldysh”, December 7, 2021 – April 5, 2022 (cruise 87).

When considering the temperature and salinity indicators, the main layers of the water column of this area were identified, and the values of methane dissolved in seawater were compared with the main hydrological indicators (temperature and salinity). It is shown that methane dissolved in seawater is concentrated under the pycnocline layer, and is also transported in the barocline layer from a potential source in the Gulf of Guinea area to the north. In the area of a Tropical seamount, the methane concentration values correlate with the salinity values of seawater, which makes it possible to use the methane concentration indicator as an additional marker of various water masses in the ocean column, as well as to trace its source. In connection with the discussion of cooperation on oceanographic and coastal research in the Atlantic Ocean, the results of the article are important for the formation of a joint scientific agenda with the National Committee of Cape Verde within the framework of the United Nations Decade of Ocean Science, and are also part of the international obligations of the Russian Federation as a party to the Antarctic Treaty and the Convention on the Conservation of Marine Living Resources.

Research is becoming particularly relevant in accordance with the expected priorities of the GEOMIR project (ID 164, the head is R.B. Shakirov) United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030).

Keywords: methane, Tropical seamount, temperature, salinity

For citation: A.O. Kholmogorov, N.S. Syrбу, R.B. Shakirov, L.B. Nevesh. Distribution of methane in the water column of the Tropical seamount area (Atlantic Ocean). *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(2):64-74. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_228_02_4.

Funding. The works were carried out within the framework: of the state budget theme “Integrated environmental studies of the Southern Ocean” (research supervisor R.B. Shakirov, Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy; registration number: AAAA-A19-119122390017-4); of the state budget theme AAAA-A19-119122090009-2.

Введение

Газогеохимические методы широко используются в исследованиях нефтегазозносного потенциала океана. Кроме того, процесс вертикальной миграции метана является важным при исследовании эмиссии парниковых газов с поверхности его акватории. Недостаточно оцененной является роль метана в качестве маркера водных масс. Зачастую наличие эндогенных, микробиологических и антропогенных источников метана приводит к его неравномерному распределению

в океане, образуются очаги его повышенных концентраций, служащие косвенными признаками для поиска залежей углеводородов. Исследование районов, не имеющих интенсивных источников потоков метана, позволяет рассмотреть его роль как океанографического маркера водных масс.

Исследования предыдущих лет выявили некоторые зоны повышенных концентраций метана в экваториальной Атлантике, главным образом связанные с зонами залегания газовых гидратов и проявлением гидротермальной активности. Придонные воды рифтовой долины в районе Срединно-Атлантического хребта отличаются от прилегающих вод Западной Атлантики повышенными температурами и соленостью. В придонных слоях воды обнаружены повышенные концентрации метана, в 5–6 раз превышающие его фоновые концентрации [1]. В работе В.Ю. Абрамова с соавторами [2] проведен сопоставительный анализ акватории шельфовых зон Кот-д’Ивуара и Бразилии, показывающий, что положение известного месторождения газогидратов в Бразилии очень хорошо коррелирует с положением разлома св. Павла, идущего, по-видимому, от Кот-д’Ивуара до Бразилии. Большая часть ивуарских месторождений представляет собой залежи газа, что увеличивает вероятность наличия месторождений гидрата метана в шельфовой части.

В наши дни обнаружено очень широкое развитие сипов в Мировом океане (рис. 1). Они установлены в Атлантическом, Тихом, Индийском океанах, в водах арктических морей. Редкость находок близ Антарктиды связана, надо полагать, с недостаточной изученностью Южного океана. Чаще всего сипы как бы обрамляют Североамериканский и Евразийский континенты. Вокруг Африки, Южной Америки, Австралии, Антарктиды сипы развиты в меньшей мере [3].

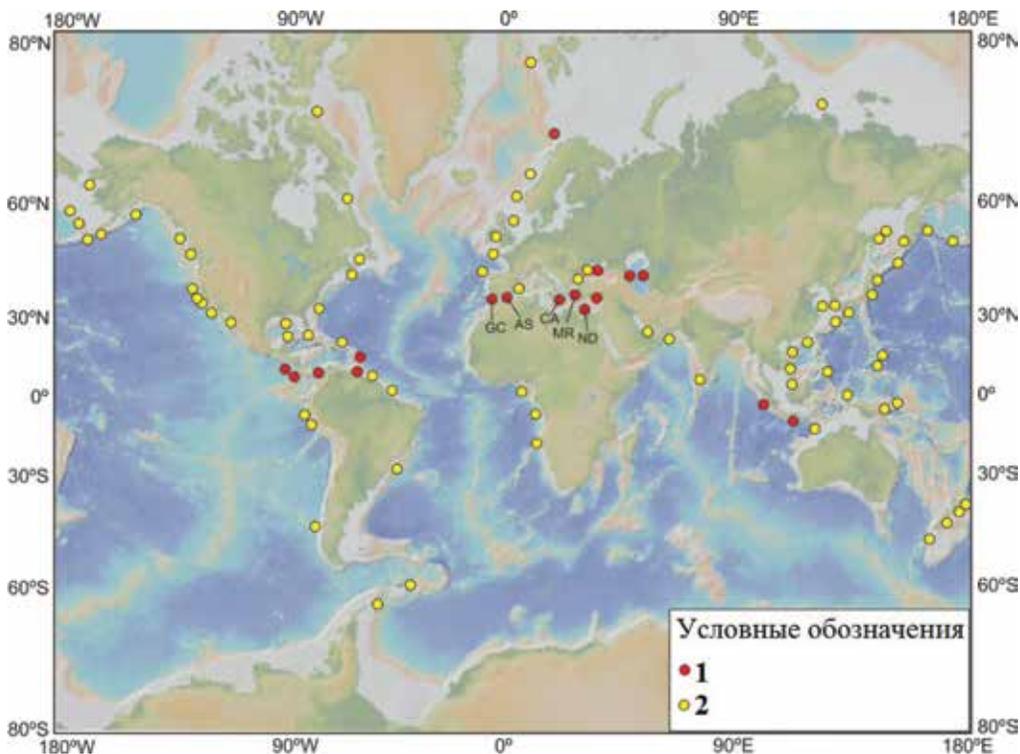


Рис. 1. Известные местоположения подводных метановых сипов [3, 4]. 1 – районы грязевого вулканизма, 2 – покмарки и метановые сипы

Активная гидротермальная деятельность изучалась учеными разных стран в экспедициях на научно-исследовательских судах (НИС) «Академик Борис Петров», «Академик Николай Страхов», «Академик Мстислав Келдыш», «Атлантис-2», «Жан Шарко», «Зонне», «Надир», «Океанограф» и других, подводными лодками «Алвин», «Мир», «Нотиль», «Фара нот», «Флорес» и роботами (подводными буксируемыми аппаратами). К настоящему времени изучено более 100 активных подводно-донных гидротермальных полей, чьи горячие флюиды ассоциируются с магматизмом и конвективной циркуляцией под дном океанов (рис. 2) [5].

Как можно видеть, изучаемый район Тропической подводной горы [6] находится в удалении от потенциальных областей литосферной эмиссии метана. Значительное удаление от шельфа нивелирует влияние рек на дебет метана. Также можно исключить появление здесь метана из антропогенных источников. Все эти факторы позволяют рассматривать район Тропической подводной горы как фоновый.

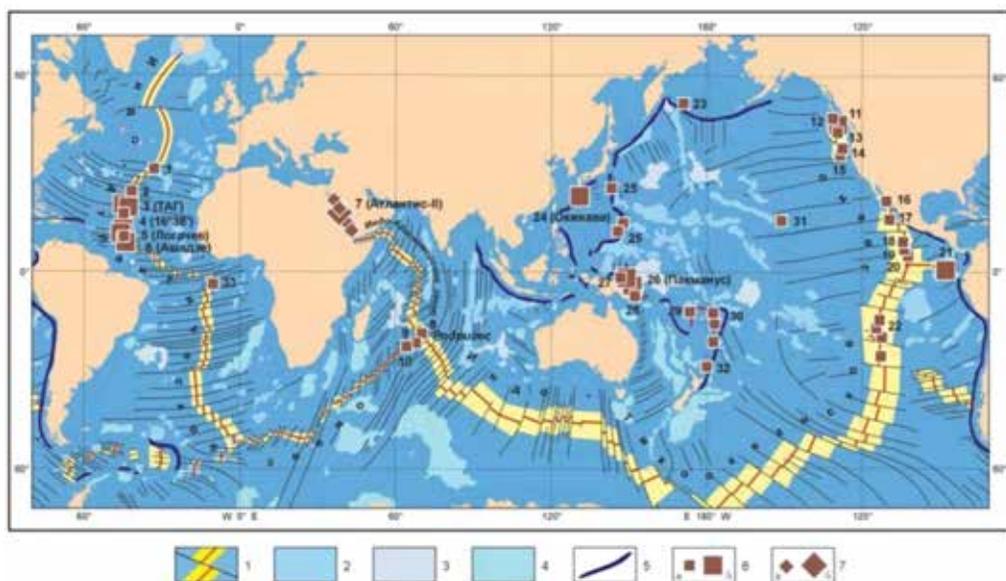


Рис. 2. Карта распространения гидротермальных и гидротермально-осадочных сульфидных руд Мирового океана [7]. 1 – осевая зона срединно-океанического хребта (СОХ) с центральным рифтом и трансформным разломом; 2 – вулканические и вулканотектонические поднятия; 3 – поднятия типа «океанских земель»; 4 – микроматерики и аваншельфы; 5 – окраинные желоба; 6 – скопления сульфидных руд: *a* – мелкие и средние, *b* – крупные; 7 – скопления металлонесных рассолов: *a* – мелкие и средние, *b* – крупные. Основные скопления гидротермальных и гидротермально-осадочных руд океана.

Район САХ (0–40° с.ш.): 1 – Лаки Страйк; 2 – Брокен Спур; 3 – рудный узел ТАГ (рудное тело Рона, постройка Мир); 4 – рудное поле 16°38' с.ш.; 5 – рудный узел Логачев; 6 – рудное поле Ашадзе. Красноморский рифт: 7 – впадина Атлантик II. Индийский океан – тройное сочленение Родригес: 8 – рудная зона MESO; 9 – Кайрайт; 10 – гора Джордан.

Северо-восток Тихого океана: 11 – Миддл-Вели; 12 – хр. Эксплорер; 13 – хр. Эндевор; 14 – хр. Хуан-де-Фука; 15 – хр. Горда. Калифорнийский залив – ВТП: 16 – впадина Гуаймос; 17 – 21° с.ш. ВТП; 18 – 12° с.ш. ВТП; 19, 20 – 6–8° с.ш. ВТП. Галапагосский хребет: 21 – Галапагос. Южная часть ВТП: 22 – 20–22° ю.ш. Западно-Тихоокеанская транзиталь: 23 – вулкан Пийпа; 24 – трог Окинава; 25 – дуга Идзу–Бонино, Марианская; 26 – Пакманус; 27 – Манус; 28 – Вудларк; 29 – Северо-Фиджийский бассейн; 30 – трог Лау. Океанические плиты: 31 – вулкан Лоихи (к юго-востоку от Гавайского поднятия); 32 – вулкан Бразерс. Южная Атлантика: 33 – 5° ю.ш.

Тропическая подводная гора Тропик – гора мелового периода, входящая в провинцию подводных гор Канарских островов – расположена к юго-западу от Канарских островов, к северу от Кабо-Верде и к западу от Марокко. Это одна из множества подводных гор (разновидность подводной вулканической горы) в этой части Атлантического океана, вероятно, образовавшаяся в результате вулканических процессов; сложена вулканическими породами, включая базальт и трахит.

Подводная гора Тропик расположена на глубине 970 м, имеет плоскую вершину площадью около 120 км² [8]. Плоская вершина могла сформироваться с помощью различных механизмов [8]; однако как этот бывший остров опустился на глубину до 1 км (0,62 мили), пока неясно [9].

Возраст образцов, отобранных на юго-западных склонах хребта, составляет от 119,3 ± 0,3 до 113,9 ± 0,2 млн лет [10], в то время как северные склоны сформировались от 84 млн до 59 млн лет назад. Это дает основание полагать, что гора Тропик была активна в основном между 119 млн и 114 млн лет назад [11] в конце Аптиана [11], но позднее вулканическая активность продолжалась примерно до 60 млн лет назад [10], в середине палеоцена [11]. Крупные оползни и поздняя вулканическая активность повлияли на подводную гору, оставив большие шрамы на ее склонах и образовав конусы на ее плато на вершине.

В рамках экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (рейс 87) была выполнена STD станция 7277 в районе Тропической подводной горы для испытания оборудования.

Материалы и методы

Отбор воды с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш» осуществляли 24-позиционной системой «Rosette», оснащенной STD-зондом «INDRONAUT» (Италия). Отбор проб воды проводили кассетой батометров системы NISKIN (23 батометра) на отдельных горизонтах с учетом вертикального распределения температуры, солености и других гидрологических параметров в ходе STD-зондирования. Воду из батометров отбирали методом «тройного перелива» в предварительно стерилизованные медицинские стеклянные бутылки объемом 68 мл, которые закрывались резиновыми пробками герметично, без доступа воздуха. Для удаления излишков воды применялись иглы от медицинского шприца. При создании газовой фазы бутылки заполнялись 10 мл чистого гелия марки «6.0». Далее образцы воды в течение 60 мин интенсивно перемешивались с помощью шейкера LOIPLS-110 (Россия). Перед проведением анализа газовая фаза равновесно извлекалась одноразовым медицинским шприцем (10 мл) для ввода пробы в газовый хроматограф. Для анализа газового состава использовался газовый хроматограф «Кристалл Люкс 4000» с пламенно-ионизационным детектором и датчиками потока ионизации и теплопроводности, чувствительностью 10⁻⁵ %. Ошибка данного метода составила менее 5 %. Расчет концентраций метана, растворенного в морской воде, производили по методике, приведенной в работе [12], в модификации [13] с использованием расчетных констант растворимости метана.

24-позиционную систему «Rosette» опустили на глубину 1103 м (при глубине дна 1113 м). Были отобраны 14 проб воды с разных горизонтов, распределенных по всему разрезу водной толщи, которые проанализировали в лаборатории на борту судна, получены данные по концентрации метана. Методики газогеохимических исследований закреплены в Паспорте лаборатории газогеохимии ПС 1.051-21, утвержденном Свидетельством Росстандарта от 21.12.2021 № 58.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования (см. таблицу) позволяют выделить несколько интервалов вертикального распределения температуры:

- стабильная с незначительным понижением до 21 °С (от поверхности до горизонта 75 м) со скоростью 0,0056 °С/м;
- плавное снижение от 21 до 12 °С (75–418 м) со скоростью 0,0238 °С/м;
- замедление снижения температуры от 12,9 до 12,1 °С (418–500 м) со скоростью 0,0095 °С/м;
- плавное снижение от 12,1 до 7,1 °С (500–880 м) со скоростью 0,0107 °С/м;
- стабильная с незначительным понижением от 7,1 до 6,4 °С (880–1100 м) со скоростью 0,003 °С/м;

Средняя скорость снижения температуры составила 0,0134 °С/м.

Мы выделили изменения солености на основе полученных результатов:

- плавное медленное снижение до 140 м;
- резкое снижение от 140 до 418 м;
- быстрое снижение от 418 до 880 м;
- стабильное плавное снижение от 880 до 900 м;
- плавное медленное снижение до 1100 м.

Распределение температуры, солености и концентрации растворенного в морской воде метана по горизонтам в точке отбора проб

Глубина, м	Температура, °С	Соленость, УЕС	Концентрация метана, нМ/л
2,62	21,4857	36,8632	–
2,39	21,4847	36,8631	–
2,23	21,4802	36,8625	–
2,11	21,4820	36,8631	–
28,96	21,4202	36,9005	–
75,77	21,0175	36,8373	3,75
79,99	20,8754	36,7996	4,61
138,1	19,0542	36,7971	4,61
417,86	12,8709	35,7713	4,93
499,76	12,0841	35,6858	3,00
597,26	10,9151	35,5354	3,32
699,67	9,6786	35,388	2,68
879,69	7,1621	35,1291	1,71
900,56	7,1285	35,1277	2,25
950,67	6,9624	35,1251	1,18
1002,36	6,7655	35,1313	1,39
1050,04	6,6121	35,1406	1,93
1103,61	6,4834	35,163	–
1102,58	6,4836	35,1635	–
1103,38	6,4827	35,1633	–
1103,09	6,4837	35,1615	–
1102,39	6,4825	35,1632	2,36

Примечание. Прочерк – данные отсутствуют.

При совместном рассмотрении показателей температуры и солености можно выделить основные слои водной толщи данного района: поверхностный и подповерхностный (0–140 м), промежуточный (140–880 м) и придонный (880–1100 м). Придонный и поверхностный–подповерхностный слои характеризуются относительно стабильными значениями показателей солености и температуры, тогда как в среднем слое наблюдается плавное их снижение по мере увеличения глубины (рис. 3).

Таким образом, в данном районе можно выделить три водных слоя с различными гидрологическими характеристиками:

- стабильность с незначительным увеличением показателя (от 50 до 418 м) со скоростью 0,0017 нМ/л/м;
- резкое понижение (от 418 до 500 м) со скоростью 0,0240 нМ/л/м с дальнейшим незначительным повышением (к 600 м);
- плавное снижение (от 600 до 880 м) со скоростью 0,0057 нМ/л/м.

Придонный и надпридонный слои (880–1100 м) характеризуются минимальными для данной станции показателями концентрации метана (1,18–2,36 нМ/л), причем минимальное значение зарегистрировано на горизонте 950 м, максимальное – у дна. Данный район сложен из твердых горных пород, образованных древней вулканической активностью и имеющих низкую проницаемость для газофлюидных потоков. Схема распределения теплового потока (рис. 4) также свидетельствует о низкой интенсивности глубинных процессов.

Кривая графика распределения метана также маркирует три основных водных слоя: придонный, срединный и поверхностно-подповерхностный. Динамика изменения концентрации метана больше схожа с динамикой изменения солености: стабильные показатели в придонном и поверхностно-подповерхностном слоях, а также схожие изменения в срединном водном слое – постепенный рост на глубине от 880 до 418 м и малые изменения на глубине от 418 до 140 м. Можно заключить, что в исследуемом районе присутствует четыре типа вод, имеющих вертикальную стратификацию: 0–140, 140–418, 418–880, 880–1100 м.

Среднегодовое положение глубины залегания изопикнических поверхностей восточной части субтропической зоны Атлантики составляет 160 м при

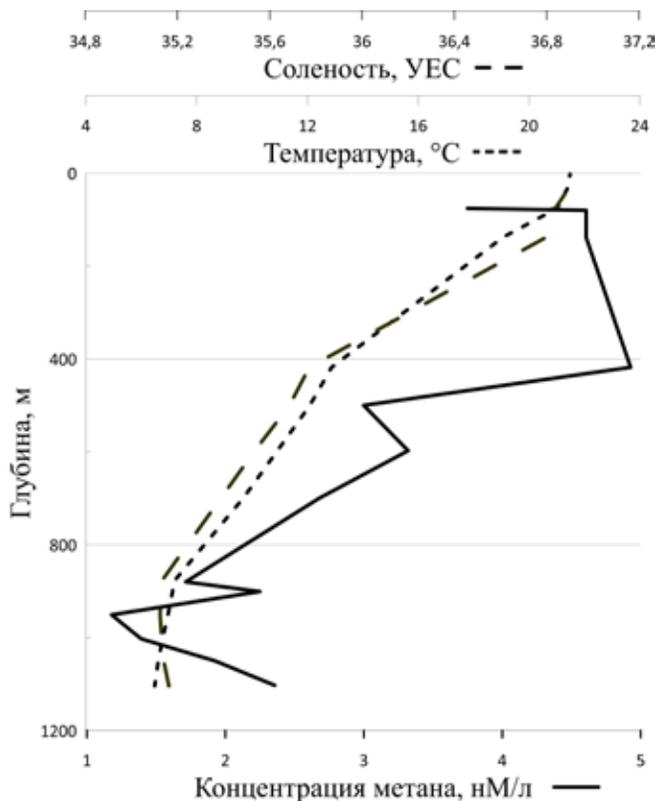


Рис. 3. График распределения температур, солености и концентрации метана по глубине

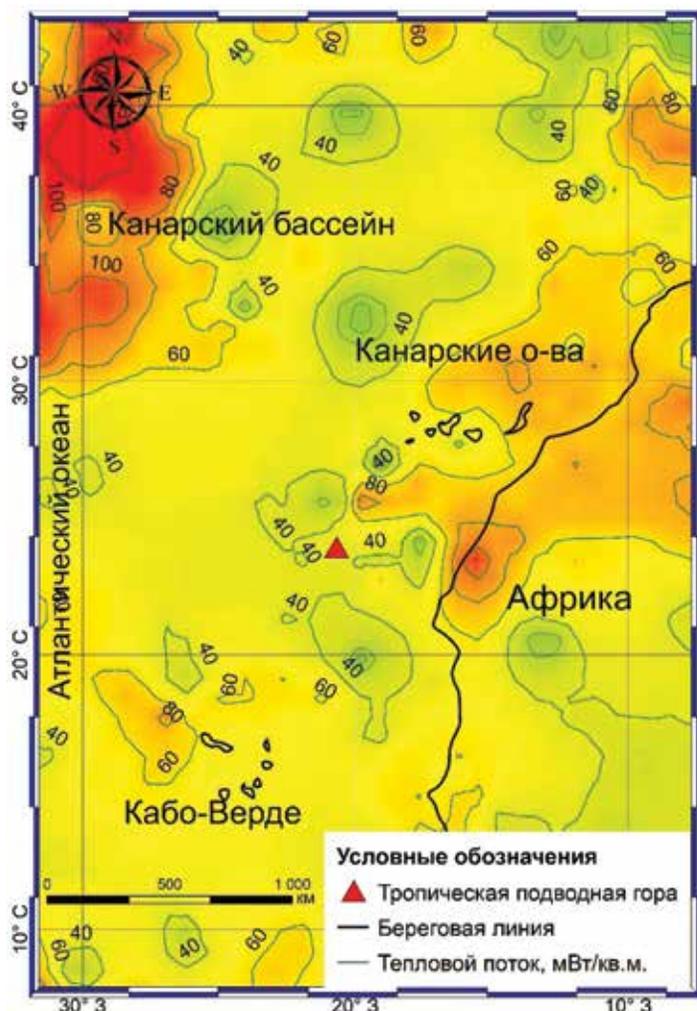


Рис. 4. Схема распределения теплового потока (<https://www.ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database>) в районе Тропической подводной горы с указанием точки отбора проб (красный треугольник). Синие изолинии показывают области значений теплового потока. Высокие значения ТП отмечены красным, средние – желтым, низкие – зеленым цветом (рис. 4 в цвете см. в электронной версии на сайте журнала <http://www.vestnikdvo.ru>)

средней температуре 18 °С [14]. В прибрежных районах западной части Субтропической Атлантики отмечается значительная интенсивность апвеллинга [15]. В работе [16] описан перенос вод Субтропической Атлантики на разрезе в районе 24,5° с.ш., выделен слой дрейфового переноса (5 Св) глубиной 0–100 м и слой бароклинного переноса (27 Св) глубиной 100–2000 м, при этом в обоих слоях транзит водных масс осуществляется на север. По-видимому, повышенные концентрации метана переносятся в бароклинном слое от эндогенного источника в Гвинейском заливе и под воздействием апвеллинга концентрируются в слое 150–400 м под нижней границей пикноклина.

Заключение

Отсутствие эндогенных источников метана в районе Тропической подводной горы обуславливает его низкие концентрации в придонном водном слое, а также нивелирует процесс его вертикальной миграции к поверхности. В связи с этим появляется возможность сопоставить значения растворенного в морской воде метана с основными гидрологическими показателями (температурой и соленостью). Установлено, что в районе Тропической подводной горы значения концентрации метана соотносятся со значениями солености морской воды, что позволяет использовать показатель концентрации метана как маркер водных масс в океане.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сколотнев С.Г., Пейве А.А., Лаврушин В.Ю., Демидова Т.А., Абрамов С.С., Ескин А.Е., Кринов Д.И., Петрова В.В., Раздолина Н.В., Турко Н.Н., Цуканов Н.В., Чаплыгина Н.Л., Шарков Е.В. Геологическое строение и признаки гидротермальной рудоносной активности в зоне сочленения южного сегмента рифта с трансформным разломом Долдрамс (Центральная Атлантика) // Докл. Академии наук. 2006. Т. 407, № 3. С. 372–377.
2. Абрамов В.Ю., Мамаду Д., Ромеро М., Алджабасини Х. Прогноз площадей распространения отложений газогидратов по геофизическим данным в Гвинейском заливе // Вестн. РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19, № 4. С. 482–492.
3. Шнюков Е.Ф., Топачевский И.В. Газовые сипы Мирового океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2019. Т. 15, № 2. С. 3–15.
4. Ceramicola S., Dupre' S., Somoza L., Woodside J. Cold seep systems // *Submarine Geomorphology*. Berlin: Springer, 2018. P. 367–387.
5. Краюшкин В.А. Небиогенная нефтегазоносность современных центров спрединга дна Мирового океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2008. № 3. С. 19–39.
6. Krey V., Canadell G.J., Nakicenovic N., Abe Yu., Andruleit H., Archer D., Grubler A., Hamilton N.T.M., Johnson A., Kostov V., Lamarque J.-F., Langhorne N., Nisbet G.E., O'Neill B., Riahi K., Riedel M., Wang W., Yakushev V. Gas hydrates: entrance to a methane age or climate threat? // *Environmental Research Letters*. 2009. Vol. 4. P. 1–6. Online at stacks.iop.org/ERL/4/034007–P. 1–6.
7. Rona P.A. Hydrothermal mineralization at oceanic ridges // *Can. Miner.* 1988. Vol. 26. P. 431–465.
8. Palomino Desirée, Vázquez Juan-Tomás Somoza, Luis León Ricardo, López-González Nieves, Medialdea Teresa, Fernández-Salas Luis-Miguel, González Francisco-Javier, Rengel Juan Antonio. Geomorphological features in the southern Canary Island Volcanic Province: The importance of volcanic processes and massive slope instabilities associated with seamounts // *Geomorphology*. 2016. Vol. 255. P. 125–139.
9. Schmincke H.U., Graf G. Report of the regional workshop to facilitate the description of ecologically or biologically significant marine areas in the northeast Atlantic ocean // DECOS / OMEX II, Cruise No. 43. METEOR-Berichte, 2019. P. 199–205.
10. Van den Bogaard Paul. The origin of the Canary Island Seamount Province – New ages of old seamounts. *Scientific Reports*. 2013. Vol. 3, N 2107. P. 1–7.
11. Josso Pierre, Parkinson Ian, Horstwood Matthew, Lusty Paul, Chenery Simon, Murton Bramley. Improving confidence in ferromanganese crust age models: A composite geochemical approach // *Chemical Geology*. 2019. Vol. 513. P. 108–119.
12. Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E. Solubility of methane in distilled water and sea water // *Journ. of Chemical and Engineering Data*. 1976. Vol. 21, N 1. P. 78–80.
13. Wiesenburg D.A., Guinasso N.L. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and sea water // *Journal of Chemical and Engineering Data*. 1979. Vol. 24, N 4. P. 356–360.
14. Джиганшин Г.Ф., Полонский А.Б. Низкочастотная изменчивость характеристик пикноклина в Северной Атлантике и ее связь с Североатлантическим колебанием // *Морской гидрофиз. журн.* 2007. № 2. С. 29–48.

15. Дубравин В.Ф. Атлас термохалинной и биогеографической структур вод Атлантического океана / АО ИО РАН. Калининград: Капрос, 2013. 471 с.
16. Крашенинникова С.Б. Водные массы и переносы тепла в Северной Атлантике. Симферополь: АРИАЛ, 2019. 124 с.

REFERENCES

1. Scolotnev S.G., Peyve A.A., Lavrushin V.Yu., Demidova T.A., Abarmov S.S., Eskin A.E., Krinov D.I., Petrova V.V., Razdolina N.V., Turko N.N., Tsukanov N.V., Chaplygina N.L., Sharkov E.V. Geological structure and the traces of hydrothermal ore-bearing activity near intersection of the south segment of the rift and the doldrums fracture zone (central Atlantic). *Reports of the Academy of Sciences*. 2006;407(3):372-377. (In Russ.).
2. Abramov V.Yu., Mamadou Diomande, Romero Moises, Aljabasini Hiba. Forecast of areas of distribution of gas hydrogmat deposits on geophysical data in the gulf of Guinea. *Bulletin of the RUDN. Series: Engineering Research*. 2018;19(4):482-492. (In Russ.).
3. Shnyukov E.F., Topachevsky I.V. World ocean gas seeps. *Geology and minerals of the World Ocean*. 2019;15(2):3-15. (In Russ.).
4. Ceramicola S., Dupre' S., Somoza L., Woodside J. Cold seep systems. In: *Submarine Geomorphology*. Springer; 2018. P. 367–387.
5. Krayushkin V.A. Nonbiogenic oil and gas potential of modern spreading centers of the World Ocean floor. *Geology and minerals of the World Ocean*. 2008;(3):19-39. (In Russ.).
6. Krey V., Canadell G.J., Nakicenovic N., Abe Yu., Andruleit H., Archer D., Grubler A., Hamilton N.T.M., Johnson A., Kostov V., Lamarque J.-F., Langhorne N., Nisbet G.E., O'Neill B., Riahi K., Riedel M., Wang W., Yakushev V. Gas hydrates: entrance to a methane age or climate threat? *Environmental Research Letters*. 2009;4:1-6. Online at stacks.iop.org/ERL/4/034007–pp.
7. Rona P.A. Hydrothermal mineralization at oceanic ridges. *Can. Miner.* 1988;26:431-465.
8. Palomino Desirée, Vázquez Juan-Tomás, Somoza, Luis León Ricardo, López-González Nieves, Medialdea Teresa, Fernández-Salas Luis-Miguel, González Francisco-Javier, Rengel Juan Antonio. Geomorphological features in the southern Canary Island Volcanic Province: The importance of volcanic processes and massive slope instabilities associated with seamounts. *Geomorphology*. 2016;255:125-139.
9. Schmincke H.U., Graf G. Report of the regional workshop to facilitate the description of ecologically or biologically significant marine areas in the northeast Atlantic ocean // DECOS / OMEX II, Cruise No. 43. METEOR-Berichte; 2019. P. 199-205.
10. Van den Bogaard Paul. The origin of the Canary Island Seamount Province – New ages of old seamounts. *Scientific Reports*. 2013;3(2107):1-7.
11. Josso Pierre, Parkinson Ian, Horstwood Matthew, Lusty Paul, Chenery Simon, Murton Bramley. Improving confidence in ferromanganese crust age models: A composite geochemical approach. *Chemical Geology*. 2019;513:108-119.
12. Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E. Solubility of methane in distilled water and sea water. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 1976;21(1):78-80.
13. Wiesenburg D.A., Guinasso N.L. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and sea water. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 1979;24(4):356-360.
14. Dzhiganshin G.F., Polonskii A.B. Low-frequency variations of the characteristics of pycnocline in the North Atlantic and their correlation with the North-Atlantic oscillation. *Physical Oceanography*. 2007;17(2):88-105. (In Russ.).
15. Dubravин V.F. Atlas of thermohaline and biological structure of waters of the Atlantic ocean. JSC IO RAS. Kaliningrad: Kapros; 2013. 471 p. (In Russ.).
16. Krasheninnikova S.B. Water masses and heat transfer in the North Atlantic. Simferopol: ARIAL; 2019. 124 p. (In Russ.).

