

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

*Памяти исследователя Курильской островной дуги
Владимира Леонидовича Ломтева посвящается
Dedicated to the memory of Vladimir L. Lomtev,
a researcher of the Kuril island arc*

УДК 550.8

<https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.1.004-013>

Подводная газо-гидротермальная активность в пределах Курильской островной дуги

© 2021 В. И. Бондаренко¹, В. А. Рашидов²

¹Костромской государственный университет, Кострома, Россия

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

E-mail: ¹vibond@list.ru; ²rashidva@kscnet.ru

Резюме. Важным элементом Тихоокеанской зоны перехода является Курильская островная дуга, в пределах которой происходят современные геологические процессы. Одним из таких процессов является подводная газо-гидротермальная деятельность. Изучение подводной газо-гидротермальной активности кроме фундаментального имеет и большое практическое значение, так как она оказывает непосредственное воздействие на природную среду и жизнедеятельность. В статье представлен обзор изученности подводной газо-гидротермальной активности Курильской островной дуги, приведены новые сведения о проявлениях подводной газо-гидротермальной деятельности в ее пределах, полученные в результате обработки, ревизии и анализа материалов комплексных вулканологических исследований с борта научно-исследовательского судна «Вулканолог» (1981–1991 гг.).

Ключевые слова: подводная газо-гидротермальная активность, Курильская островная дуга

Underwater gas-hydrothermal activity within the Kuril island arc

Vyacheslav I. Bondarenko¹, Vladimir A. Rashidov²

¹Kostroma State University, Kostroma, Russia

²Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

E-mail: ¹vibond@list.ru; ²rashidva@kscnet.ru

Abstract. The Kuril island arc is an important element of the Pacific transition zone, within which such modern geological processes as underwater gas-hydrothermal activity occur. The study of underwater gas-hydrothermal activity, which affects the natural environment and all life activities, has not only fundamental but also a great practical importance. The article provides a review of research studies into the underwater gas-hydrothermal activity of the Kuril island arc. New information on the manifestations of underwater gas-hydrothermal activity within this zone obtained as a result of processing, revision and analysis of materials of complex volcanological shipboard studies at the *Volcanolog* research vessel (1981–1991) is presented.

Keywords: underwater gas-hydrothermal activity, Kuril island arc

Для цитирования: Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Подводная газо-гидротермальная активность в пределах Курильской островной дуги. *Геосистемы переходных зон*, 2021, 5(1), с. 4–13.

<https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.1.004-013>

For citation: Bondarenko V.I., Rashidov V.A. Underwater gas-hydrothermal activity within the Kuril island arc. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2021, 5(1), pp. 4–13. (In Russ., abstr. in Engl.).

<https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.1.004-013>

Введение

На охотоморском склоне Курильской островной дуги (КОД) – единственной островной дуги, полностью находящейся в пределах Российской Федерации, в результате обработки и анализа материалов, полученных в 1981–1991 гг. в комплексных вулканологических экспедициях на НИС «Вулканолог» [Подводный вулканизм... , 1992], с учетом критического рассмотрения всех доступных литературных источников, к настоящему времени выявлено 126 подводных вулканов и 6 подводных или частично затопленных кальдер и кратеров вулканов.

В то же время единственным достоверным подводным извержением в пределах КОД является извержение побочного вулкана Такетоми в 1933–1934 гг. [Рашидов, 2013; Tanakadate, 1934], а сведения о подводной газо-гидротермальной активности в этом регионе (рис. 1), несмотря на более чем 70-летнюю историю изучения КОД, начавшуюся в 1949 г. [Безруков и др., 1958], весьма ограничены [Авдейко и др., 1984; Авдейко, Краснов, 1985; Бондаренко, Надежный, 1987; Зоненшайн и др., 1987; Надежный, Бондаренко, 1989; Мельниченко и др., 1990; Гинзбург, Соловьев, 1994; Обжиров и др., 1999; Бондаренко, Рашидов, 2003, 2006, 2011, 2018а, 2018б; Ломтев, Патрикеев, 2012; Ломтев, 2014; Блох и др., 2020; Рашидов, Бондаренко, 2004].

Любая достоверная информация о подводных газопоявлениях и гидротермальной

активности может служить, с одной стороны, важным поисковым признаком возможной генерации и формирования залежей

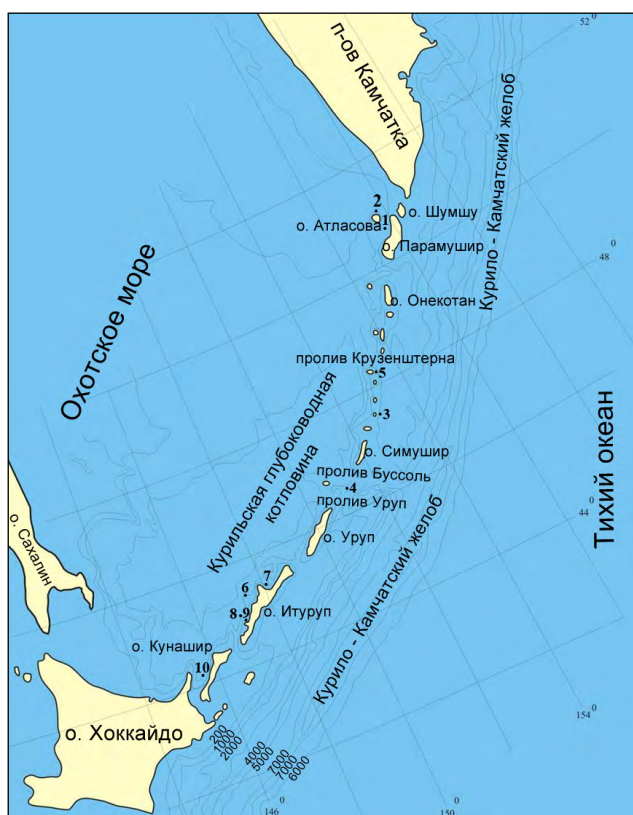


Рис. 1. Местоположение проявлений подводной газо-гидротермальной активности в пределах КОД. 1–10 – номера проявлений газо-гидротермальной активности в соответствии с таблицей.

Figure 1. Location of the manifestations of gas-hydrothermal activity within the Kuril island arc. 1–10 numbers of the manifestations of gas-hydrothermal activity according to the Table.

Таблица. Проявления подводной газо-гидротермальной деятельности в пределах КОД

Table. Manifestations of gas-hydrothermal activity within the Kuril island arc

Номер п/п	Координаты		Глубина, м	Местоположение
	северная широта	восточная долгота		
1	50°30.8'	155°18.45'	700	Парамуширские гидроакустические аномалии
2	51°00.5'	155°35.1'	800	Северный подводный склон о. Атласова
3	47°31.4'	152°50.5'	30	Вулканический массив Ушишир
4	46°28'	150°50'	800	Вулканический массив Черных Братьев
5	48°18'	153°518'	400	Подводный склон о. Райкоке
6	45°16'	147°25'	250–210	Подводный вулкан Крылатка
7	45°25.1'	148°13.9'	500–100	Вулканический массив залива Простор
8	45°01'	147°01'	125	Подводный вулкан 8.10
9	44°53.2'	147°13.5'	120	Залив Одесский, о. Итуруп
10	44°03.8'	145°39.0'	70	Охотоморский склон о. Кунашир

углеводородов, в частности газовых гидратов и подгидратных газовых скоплений, с другой – индикатором возможных проявлений подводной вулканической активности и грязевулканической деятельности в пределах КОД, что, по нашему мнению, имеет большое значение и для фундаментальной науки, и для планирования в этом регионе мероприятий по защите населения от стихийных бедствий, оперативного оповещения морских и воздушных судов о возможных негативных последствиях.

Методы исследований

В комплекс вулканологических исследований, применяемых на НИС «Вулканолог», входили эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), гидромагнитная съемка, драгирование и отбор проб донных осадков. Исследования проводились в два этапа. На первом этапе на ходу судна выполнялись профильные площадные исследования, а на втором – в выбранных точках отрабатывались станции геологического и газо-гидрохимического опробования. Навигационная привязка при работе в пределах КОД осуществлялась с помощью судовых радиолокаторов «Океан-21» и «Океан-23» по береговым ориентирам и с помощью спутниковой навигационной системы «Транзит» с приемником «FURUNO FSN-20 B» в комплекте с доплер-лагом «FURUNO MF-200» и приемо-индикатором радионавигационной системы «FURUNO FORM-3AP».

В результате 15-летних исследований (с 1977 по 1991 г.) в Тихом океане с борта НИС «Вулканолог» была разработана методика изучения современного подводного вулканизма, исследовано большое количество подводных вулканов, выявлены определенные критерии обнаружения неизвестных вулканических объектов геофизическими, гидрохимическими и газо-гидрохимическими методами.

Обнаружение новых подводных вулканических объектов происходило как при проведении планомерных площадных и рекогносцировочных геолого-геофизических исследований, так и при попутном эхолотном промере в вулканически активных районах Тихого океана [Бондаренко, 1990; Рашидов, 2010].

Нередко для этих целей проверяли сообщения капитанов судов о возможных проявлениях подводной вулканической деятельности.

Проверка такого сообщения, полученного от капитана рыболовного траулера «Пограничник Змеев» 20.03.2082 г., стала началом изучения подводной газо-гидротермальной активности в пределах КОД [Авдейко и др., 1984]. Тогда в 13-м рейсе НИС «Вулканолог» на записях эхолота WD-110M 21.04.1982 г. в 6:54 по камчатскому времени учеными были впервые обнаружены акустические помехи в форме факела на запад-северо-западном подводном склоне о. Парамушир.

После 1994 г. рейсы научно-исследовательских судов, направленные на изучение подводной газо-гидротермальной активности КОД, к большому сожалению, не проводились [Мельниченко и др., 1990; Подводный вулканизм ... , 1992; Gaedicke et al., 1997].

Результаты исследований

В северной тыловой части КОД, на запад-северо-западном склоне о. Парамушир, приблизительно посередине между вулканами Алаид (о. Атласова) и Ширинки (о. Анциферова), в период с 1982 по 1991 г. были выполнены многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых по изучению акустических аномалий, зафиксированных в водной толще в точке с координатами 50°30.8' с.ш. и 155°18.45' в.д. [Бондаренко, Рашидов, 2006]. По своей форме выявленные аномалии напоминали факелы или султаны (рис. 2), которые фиксировались от дна моря на глубине около 700 м до глубин 400–200 м.

По данным исследований 1982–1983 гг. в 13, 15 и 17-м рейсах НИС «Вулканолог», акустические аномалии приурочены к слабо проявленной вулканической зоне, косо ориентированной по отношению к КОД и представленной почти полностью погребенными экструзивными куполами или небольшими вулканическими конусами [Авдейко и др., 1984; Подводный... , 1992]. Первоначально было высказано предположение о газо-гидротермальной природе выявленных гидроакустических аномалий, а позднее – об их газовой природе и возможном развитии в данном районе в верхней части осадочного разреза процессов гидратообразования [Бондаренко, Надежный, 1987; Бондаренко, Рашидов, 2006].

В 1986 г. в рейсе 11^а НИС «Мстислав Келдыш» морское дно в районе гидроакустических

аномалий было обследовано с помощью подводного обитаемого аппарата «Пайсис» [Зоненшайн и др., 1987]. Во время этих исследований никаких гидротермальных источников выявлено не было, а в месте проявления гидроакустических аномалий были отмечены рассеянные выделения пузырьков газа, в основном метана, в водную толщу. При литологических исследованиях с глубины 3 м ниже морского дна были подняты газовые гидраты. Позднее газовые гидраты были подняты здесь и в 1991 г. в рейсе НИС «Геолог Петр Андропов» [Гинзбург, Соловьев, 1994].

В работах, опубликованных до 2006 г. [Авдейко и др., 1984; Зоненшайн и др., 1987; Гинзбург, Соловьев, 1994; и др.], рассматривались результаты изучения района обнаруженных гидроакустических аномалий на участке 2×1 км. В статье [Бондаренко, Рашидов, 2006] представлены результаты исследований, выполненных в трех рейсах НИС «Вулканолог» на участке 38×22 км, когда были выявлены новые гидроакустические аномалии, установлен характер взаимосвязи аномалий с рельефом дна и строением осадочного чехла. Также был сделан вывод о том, что Парамуширские гидроакустические аномалии приурочены к долгоживущей зоне глубинных разломов на границе структур прогиба Атласова и Парамуширского островного блока, которая является активной, по крайней мере, с неогена. Активность в пределах выделенной зоны проявлялась в значительных вертикальных и горизонтальных движениях по разломам, вулканизме и газо-гидротермальной деятельности. Здесь же были обнаружены признаки грязевого вулканизма, приуроченные к газовыделениям в водную

толщу на границе обширной зоны гидратообразования в верхней части разреза [Бондаренко, Надежный, 1987; Надежный, Бондаренко, 1989; Бондаренко, Рашидов, 2006].

В северной части КОД в рейсах НИС «Академик Александр Несмеянов» в начале июня 1985 г. у основания северного подводного склона о. Атласова (вулкан Алаид) были выявлены акустические аномалии в виде трех звукорассеивающих «столбов воды» [Мельниченко и др., 1990]. Ревизия имеющихся материалов показала, что в этом месте акустические аномалии были зафиксированы ранее в 15-м рейсе НИС «Вулканолог» 04.09.1982 г. (рис. 3), но этому факту не было уделено должного внимания. Анализ имеющихся данных позволяет говорить о том, что газо-гидротермальная активность у основания северного подводного склона о. Атласова продолжалась по крайней мере три года.

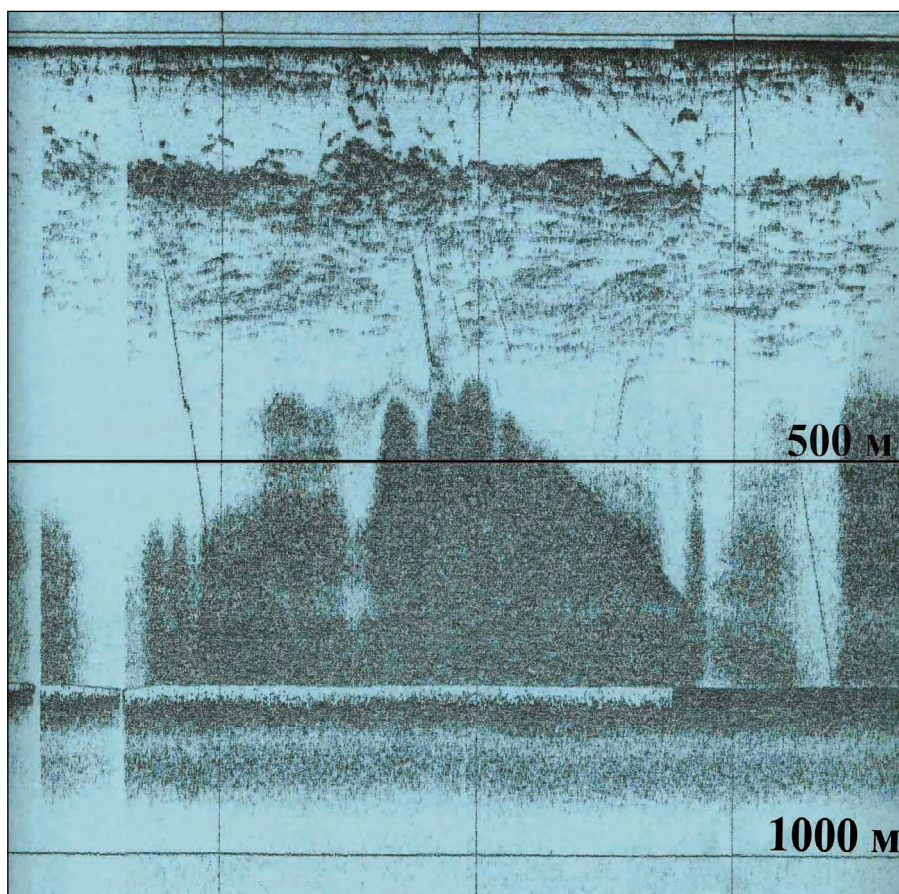


Рис. 2. Парамуширские гидроакустические аномалии, зафиксированные на самописце эхолота WD-110M (центральная частота 12.5 кГц) 03.09.1985 г. в дрейфе НИС «Вулканолог».

Figure 2. Paramushir hydroacoustic anomalies recorded on 03.09.1985 by the WD-110M echograph (center frequency is 12.5 kHz) while the “Volcanolog” research vessel was set adrift.

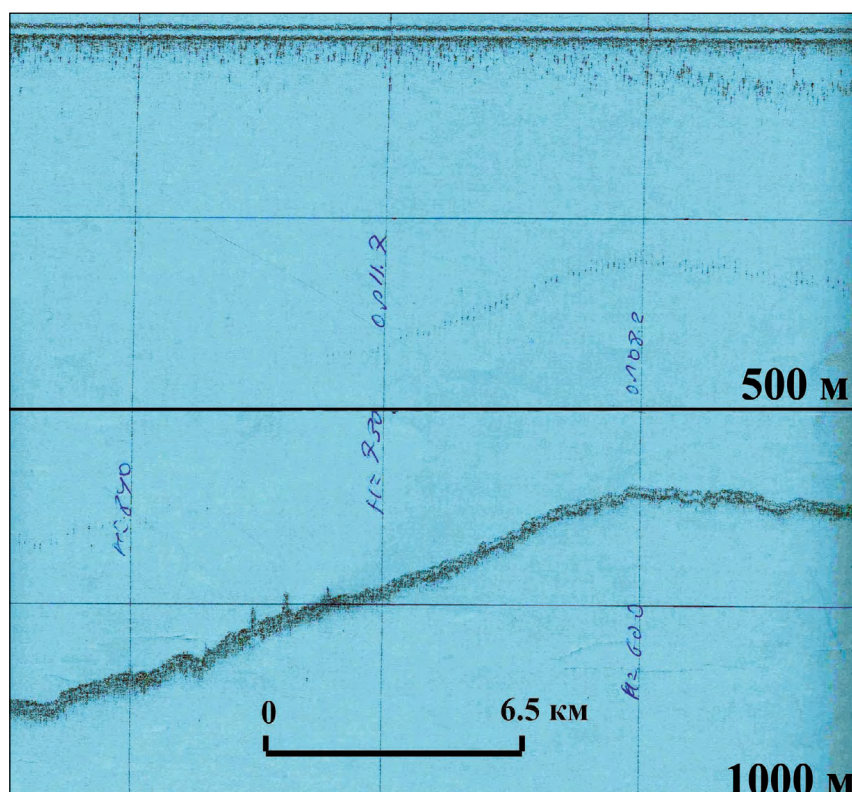


Рис. 3. Акустические помехи в водной толще у основания северного подводного склона о. Атласова, зафиксированные на самописце эхолота WD-110M (центральная частота 12.5 кГц) 04.09.1982 г. на ходу НИС «Вулканолог».

Figure 3. Acoustic noise in the water column at the base of the northern slope of Atlasov Island recorded on 04.09.1982 by the WD-110M echograph (center frequency is 12.5 kHz) while the “Volcanolog” research vessel was under way.

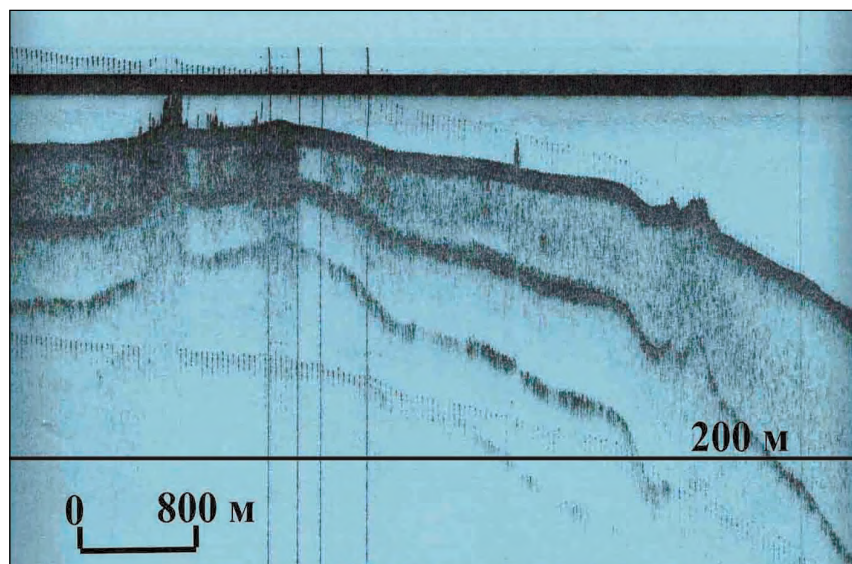


Рис. 4. Акустические помехи в водной толще около о. Янкича, зафиксированные на самописце эхолота WD-110M (центральная частота 12.5 кГц) 29.08.1987 г. на ходу НИС «Вулканолог».

Figure 4. Acoustic noise in the water column in the vicinity of Yankich Island recorded on 29.08.1987 by the WD-110M echograph (center frequency is 12.5 kHz) while the “Volcanolog” research vessel was under way.

В центральной части КОД подводная газо-гидротермальная деятельность была зафиксирована в пределах вулканических массивов Ушишир и Черных Братьев [Бондаренко, 1990; Бондаренко, Рашидов, 2003, 2018a], а также у подводного основания о. Райкоке [Ломтев, Патрикеев, 2012; Ломтев, 2014].

В 1981–1991 гг. с борта НИС «Вулканолог» и с борта катамарана были выполнены комплексные исследования вулканического массива Ушишир [Бондаренко, 1990, 2015; Бондаренко, Рашидов, 2018a], состоящего из двух островов – Рыпонкича и Янкича – и нескольких скал. В пределах о. Янкича находится затопленный кратер действующего вулкана Ушишир – бухта Кра-терная, а эволюция массива происходила на протяжении 6 этапов [Бондаренко, 2015; Бондаренко, Рашидов, 2018a]. В результате выполненных исследований установлено, что подводная газо-гидротермальная активность наблюдается не только внутри бухты Кра-терная, но и с тихоокеанской и охотоморской (рис. 4) сторон о. Янкича и приурочена к разломам и трещинам.

В 1982–1991 гг. в пяти вулканологических экспедициях НИС «Вулканолог» были выполнены геолого-геофизические исследования вулканического массива Черных Братьев, который прошел длительную и сложную историю развития [Бондаренко, Рашидов, 2003].

В 1987 г. в 29-м рейсе НИС «Вулканолог» в районе вулканического массива Черных Братьев на записях самописца эхолота были обнаружены

многочисленные акустические аномалии в водной толще, которые прослеживались на ряде взаимопересекающихся профилей в пределах кальдеры Горшкова [Бондаренко, Рашидов, 2003]. На профилях НСП, отработанных в районе вулканического массива, во многих местах были выделены аномалии сейсмоакустического изображения – «яркие пятна», одной из причин появления которых может быть повышенная газонасыщенность разреза, обусловленная гидротермальной деятельностью [Бондаренко, Надежный, 1987; Бондаренко Рашидов, 2003]. Над местами проявления акустических аномалий зафиксированы локальные участки повышения содержания ртути, растворенной в морской воде, которая

является надежным индикатором выявления зон подводной гидротермальной разгрузки [Гавриленко, 1997]. Полученные результаты позволили предположить, что отмеченные акустические аномалии связаны с подводной газо-гидротермальной активностью [Бондаренко, Рашидов, 2003].

На профиле НСП, пересекающем основание подводного склона о. Райкоке, сахалинскими исследователями были выделены две амплитудно-скоростные аномалии и газовые столбы [Ломтев, Патрикеев, 2012; Ломтев, 2014].

В южной части КОД в четырех рейсах НИС «Вулканолог» был исследован подводный вулкан Крылатка [Рашидов, Бондаренко, 2004].

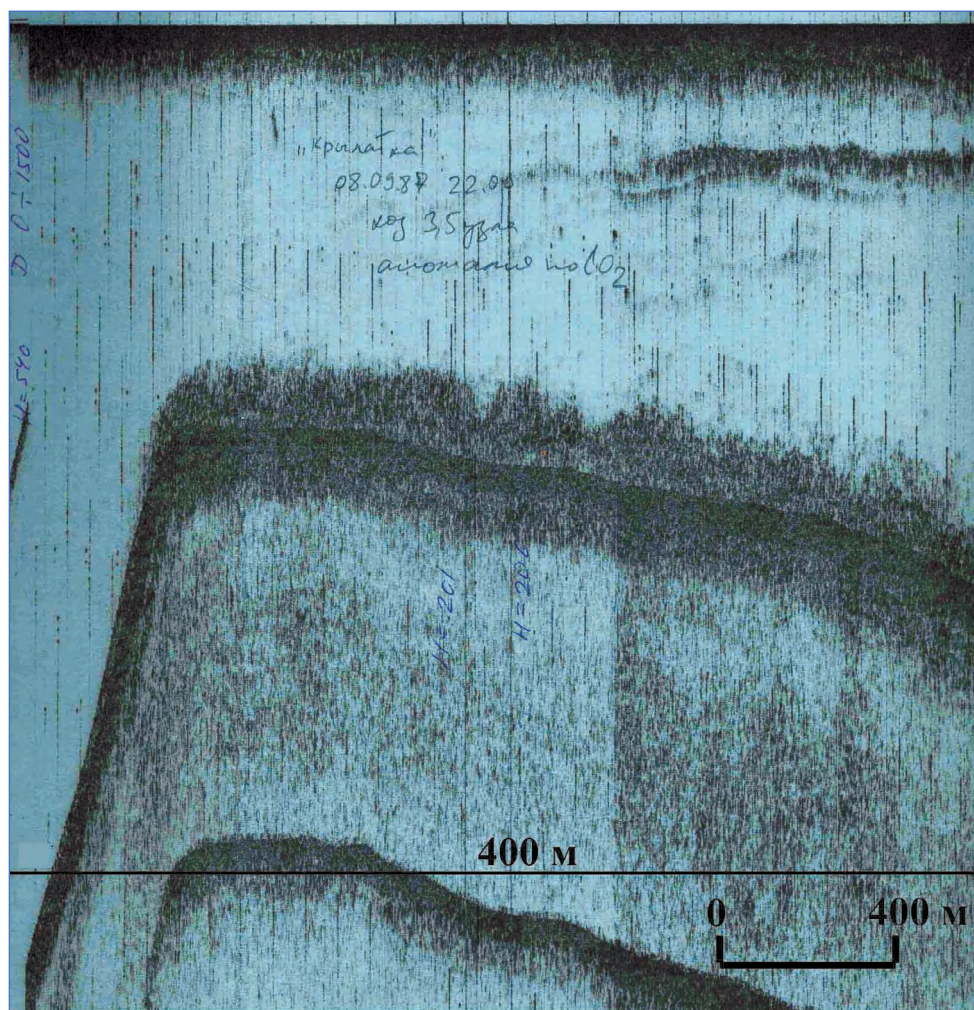


Рис. 5. Акустические помехи в водной толще над подводным вулканом Крылатка, зафиксированные на самописце эхолота WD-110M (центральная частота 12.5 кГц) 08.09.1987 г. на ходу НИС «Вулканолог».

Figure 5. Acoustic noise in the water column above the Krylatka submarine volcano recorded on 08.09.1987 by the WD-110M echograph (center frequency is 12.5 kHz) while the “Volcanolog” research vessel was under way.

На записях эхолотных промеров, выполненных в 15, 29 и 34-м рейсах НИС «Вулканолог» в 1983, 1987 и 1989 гг. [Рашидов, Бондаренко, 2004], в центре плоской вершины подводного вулкана Крылатка в интервале глубин 250–210 м отмечены акустические аномалии в водной толще (рис. 5), а газо-гидрохимическими исследованиями 1987 г. в районе акустических помех зафиксированы аномальные содержания CO_2 . Основываясь на полученных результатах и учитывая то, что тыловая зона Южных Курил является перспективной для поиска подводных гидротерм [Авдейко, Краснов, 1985], было сделано предположение, что отмеченные акустические аномалии, которые фиксировались на

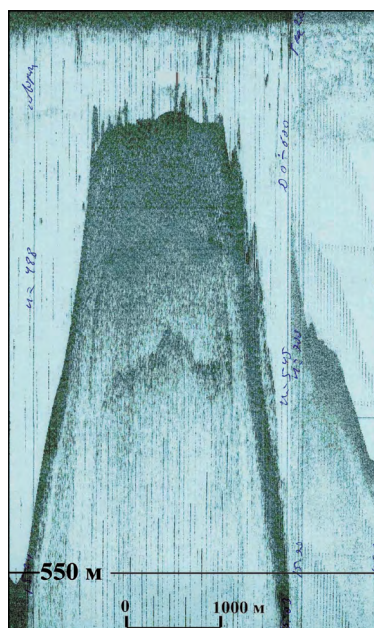


Рис. 6. Акустические помехи в водной толще в пределах вулканического массива залива Простор, зафиксированные на самописце эхолота WD-110M (центральная частота 12.5 кГц) 07.09.1987 г. на ходу НИС «Вулканолог».

Figure 6. Acoustic noise in the water column within the volcanic massif in the Prostor bay recorded on 07.09.1987 by the WD-110M echograph (center frequency is 12.5 kHz) while the “Volcanolog” research vessel was under way.

записях эхолотов в интервале 6 лет и всегда были приурочены к определенному участку плоской вершины подводного вулкана, вызваны газо-гидротермальной деятельностью.

Недавняя ревизия имеющихся материалов эхолотного промера и НСП показала, что проявление подводной газо-гидротермальной активности в южной части КОД более масштабное, чем было принято до сих пор считать.

Так, в пределах вулканического массива залива Простор (о. Итуруп) выявлены многочисленные акустические аномалии в водной толще (рис. 6), которые свидетельствуют о возможной гидротермальной деятельности в пределах этого массива [Бондаренко, Рашидов, 2019].

Аналогичные акустические аномалии отмечены над вершиной подводного вулкана 8.10 [Блох и др., 2020a] и в юго-западной части охотоморского склона о. Итуруп в районе зал. Одесский [Блох и др., 2020б], а также в юго-западной части охотоморского склона о. Кунашир (рис. 7).

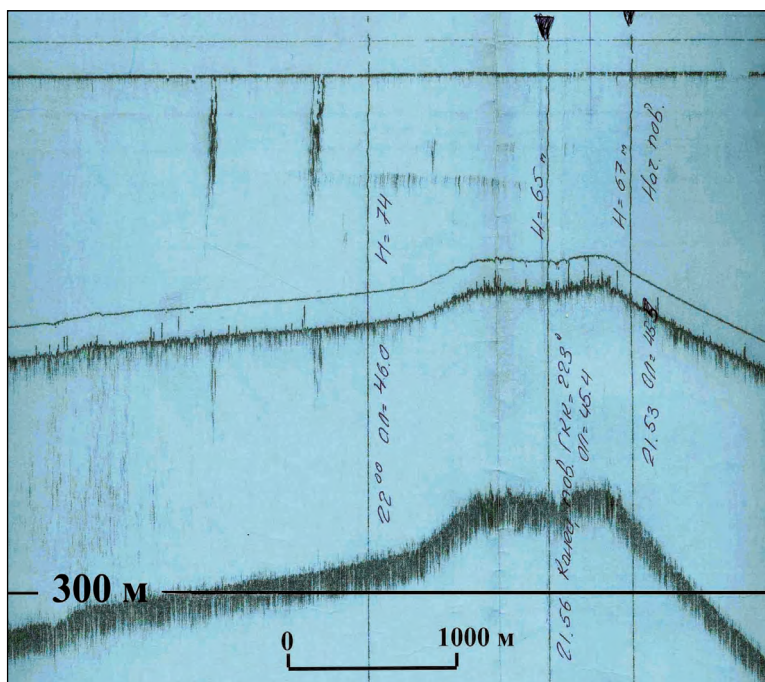


Рис. 7. Акустические помехи в водной толще в юго-западной части охотоморского склона о. Кунашир, зафиксированные на самописце эхолота WD-110M (центральная частота 12.5 кГц) 23.06.1989 г. на ходу НИС «Вулканолог».

Figure 7. Acoustic noise in the water column in the south-western part of the Sea of Okhotsk slope of Kunashir Island recorded on 23.06.1989 by the WD-110M echograph (center frequency is 12.5 kHz) while the “Volcanolog” research vessel was under way.

Закключение

Обобщена накопленная к настоящему времени информация о подводных газопроявлениях и гидротермальной активности в пределах Курильской островной дуги.

В результате обработки и анализа материалов комплексных вулканологических исследований с борта НИС «Вулканолог» (1981–1991 гг.) получены новые сведения о проявлениях подводной газо-гидротермальной деятельности в пределах КОД, которые актуальны и для решения такой важной прикладной задачи, как прогноз подводной вулканической активности.

Полученные данные, личный опыт работы авторов на действующих наземных вулканах и обобщение материалов по кратерным озерам Большой Курильской гряды, выполненное Д.Н. Козловым [Козлов, 2015], позволяют говорить о том, что проявления газо-гидротермальной активности в пределах КОД намного масштабнее, чем предполагалось ранее.

Список литературы

1. Авдейко Г.П., Краснов С.Г. **1985**. Сульфидные руды и их связь с подводными вулканами и гидротермами островных дуг. *Вулканология и сейсмология*, 4: 26–39.
2. Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Гусева В.И., Мальцева В.И., Сазонов А.П. **1984**. Подводная газогидротермальная активность на северо-западном склоне о. Парамушир (Курильские острова). *Вулканология и сейсмология*, 6: 66–81.
3. Безруков П.Л., Зенкевич Н.Л., Канаев В.Ф., Удинцев Г.Б. **1958**. Подводные горы и вулканы Курильской островной гряды. *Тр. Лаборатории вулканологии*, 13: 71–88.
4. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусов А.А. **2020а**. Комплексные геолого-геофизические исследования подводных вулканов Центральных и Южных Курил. В кн.: *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 47-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова. Воронеж, 27–30 января 2020 г.* Воронеж: Научная книга, с. 41–44.
5. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусов А.А. **2020б**. Новые данные о строении подводных вулканов Центральных и Южных Курил. В кн.: *Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)»*. Тверь: ПолиПРЕСС, т. 3 (3): 482–485.
6. Бондаренко В.И. **1986**. Строение вулканической впадины бухты Кратерной (Курильские острова) по данным сейсмоакустических исследований. *Вулканология и сейсмология*, 5: 96–101.
7. Бондаренко В.И. **1990**. *Строение подводных кальдер по данным сейсмоакустического профилирования (на примере Курильской островной дуги)*: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 24 с.
8. Бондаренко В.И. **2015**. Строение и предполагаемая история развития вулканического массива Ушишир (Центральные Курилы). В кн.: *Геология морей и океанов: Материалы XXI Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии*. М.: ГЕОС, т. 5: 48–52.
9. Бондаренко В.И., Надежный А.М. **1987**. Акустические неоднородности осадочного чехла в районе предполагаемого газогидротермального выхода у о. Парамушир. *Вулканология и сейсмология*, 2: 100–104.
10. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. **2003**. О возможной подводной вулканической активности в районе островов Черные Братья (Курильские острова). *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, № 2: 80–88.
11. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. **2006**. Погребенная подводная вулканическая зона к западу от о. Парамушир (Курильская островная дуга). *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 2(8): 69–85.
12. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. **2011**. Проявления гидратообразования и грязевого вулканизма в районе пролива Буссоль (Курильская островная дуга). В кн.: *Геология морей и океанов: Материалы XIX Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии, Москва, 14–18 ноября 2011 г.* М.: ГЕОС, т. 5: 38–42.
13. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. **2018а**. Строение вулканического массива Ушишир (Центральные Курилы). *Вулканология и сейсмология*, 1: 16–34.
14. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. **2018б**. Подводная вулканическая активность в пределах Охотоморского склона Курильской островной дуги. *Актуальные проблемы нефти и газа*, 4(23). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art51>
15. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. **2019**. Подводная кальдера залива Простор, о. Итуруп, Курильские острова. В кн.: *Геология морей и океанов: Материалы XXIII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии, Москва, 18–22 ноября 2019 г.* М.: ИО РАН, т. 5: 54–57.
16. Гавриленко Г.М. *Подводная вулканическая и гидротермальная деятельность как источник металлов в железо-марганцевых образованиях островных дуг*. Владивосток: Дальнаука, 1997. 164 с.
17. Гинзбург Г.Д., Соловьев В.А. **1994**. *Субмаринные газовые гидраты*. СПб: ВНИИОкеангеология, 199 с.
18. Зоненшайн Л.П., Мурдмаа И.О., Баранов Б.В., Кузнецов А.П., Кузин В.С., Кузьмин М.И., Авдейко Г.П., Стунжас П.А., Лукашин В.Н., Бараш М.С., Валяшко Г.М., Демина Л.Л. **1987**. Подводный газовый источник в Охотском море к западу от острова Парамушир. *Океанология*, 27(5): 795–800.
19. Козлов Д.Н. **2015**. Кратерные озера Курильских островов. Южно-Сахалинск: Сахалинский обл. краевед. музей; ИМГИГ ДВО РАН, 112 с.
20. Ломтев В.Л. **2014**. К строению и газоносности кайнозойского чехла северного фланга Срединно-Курильского прогиба (по данным НСП). *Глубинная нефть*, 2(6): 953–968. URL: http://journal.deepoil.ru/images/stories/docs/DO-2-6-2014/6_Lomtev_2-6-2014.pdf
21. Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. **2012**. Новое в строении северного фланга Срединно-Курильского прогиба (по данным НСП). *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 2(20): 59–70.
22. Мельниченко Ю.И., Казанский Б.А., Обжиров А.И. **1990**. Гидроакустические эффекты при эхолотировании дна морских бассейнов. В кн.: *Новые данные по геоморфологии и геологии западной части Тихого океана*. Владивосток: ДВО АН СССР, с. 75–89.

23. Надежный А.М., Бондаренко В.И. **1989.** Газовые гидраты в прикамчатско-припарамуширской части Охотского моря. *Доклады Академии наук*, 306(5): 1192–1195.
24. Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И., Верещагина О.Ф., Мишукова Г.И., Сорочинская А.В., Югай И.Г. **1999.** Газогидрохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 183 с.
25. *Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги* (отв. ред. Ю.М. Пуцаровский). **1992.** М.: Наука, 528 с.
26. Рашидов В.А. **2010.** Геомагнитные исследования при изучении подводных вулканов островных дуг и окраинных морей западной части Тихого океана: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петропавловск-Камчатский, 27 с.
27. Рашидов В.А. **2013.** Побочный вулкан Такетоми (о. Атласова, Курильская островная дуга). *Геофизические процессы и биосфера*, 12(1): 5–13.
28. Рашидов В.А., Бондаренко В.И. **2004.** Геофизические исследования подводного вулкана Крылатка (Курильская островная дуга). *Вулканонология и сейсмология*, 4: 65–76.
29. Gaedicke C., Baranov B.V., Obzhiriv A.I., Lelikh E.P., Belykh I.N., Basov E.I. **1997.** Seismic stratigraphy, BSR distribution and venting of metan-rich fluids west off Paramushir and Onkotan Islands, northern Kurils. *Marine Geology*, 136(3–4): 259–276. [https://doi.org/10.1016/s0025-3227\(96\)00067-9](https://doi.org/10.1016/s0025-3227(96)00067-9)
30. Tanakadate H. **1934.** Volcanic activity in Japan during the period between June 1931 and June 1934. *Japanese J. of Astronomy and Geophysics*, 12: 89–108.

References

1. Avdeiko G.P., Krasnov S.G. **1985.** Sulphide ores and their relationship to submarine volcanoes and hydrothermal waters of island arcs. *Volcanology and Seismology*, 4: 26–39.
2. Avdeiko G.P., Gavrilenko G.M., Chertkova L.V., Bondarenko V.I., Rashidov V.A., Guseva V.I., Mal'tseva V.I., Sazonov A.P. **1984.** Submarine gas-hydrothermal activity on the northwestern slope of the Paramushir Island, the Kurile. *Volcanology and Seismology*, 6: 61–81.
3. Bezrukov P.L., Zenkevich N.L., Kanaev V.F., Udincev G.B. **1958.** [Submarine mountains and volcanoes of the Kuril island arc]. *Trudy Laboratorii vulkanologii [Proceedings of the Laboratory of Volcanology]*, 13: 71–88. (In Russ.).
4. Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal' A.S., Novikova P.N., Petrova V.V., Pilipenko O.V., Rashidov V.A., Trusov A.A. **2020.** [Complex geological and geophysical studies of submarine volcanoes of the Central and Southern Kuriles]. In: *Questions of theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields: Proceedings of the 47th session of the International Scientific Seminar named after D.G. Uspensky – V.N. Strakhov, Voronezh, January 27–30, 2020.* Voronezh: Scientific Book, p. 41–44. (In Russ.).
5. Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal' A.S., Novikova P.N., Petrova V.V., Pilipenko O.V., Rashidov V.A., Trusov A.A. **2020.** [New data on the structure of submarine volcanoes of the Central and Southern Kuriles]. In: *IX International conference "Marine Research and Education" (MARESEDU-2020)*, 3(3): 482–485. (In Russ.).
6. Bondarenko V.I. **1986.** The structure of the Kraternaya volcanic depression, Kuril Islands: Seismoacoustic surveys. *Volcanology and Seismology*, 5: 96–101.
7. Bondarenko V.I. **1990.** *Stroenie podvodnykh kal'der po dannym sejsmoakusticheskogo profilirovaniya (na primere Kuril'skoj ostrovnoj dugi) [The structure of submarine calderas according to the data of seismoacoustic profiling (by the example of the Kuril island arc)]*: [Extended abstract of candidate's dissertation in Geology and Mineralogy]. Moscow, 24 p. (In Russ.).
8. Bondarenko V.I. **2015.** [Structure and forming history of the Ushishir volcanic massif (Central Kurile)]. In: *Geology of seas and oceans: Materials of the XIX International scientific conference (School) on marine geology.* Moscow: GEOS, vol. 5: 38–42. (In Russ.).
9. Bondarenko V.I., Nadezhnyi A.M. **1987.** Acoustic inhomogeneities of sedimentary cover in the area of submarine hydrothermal vent near Paramushir Island. *Volcanology and Seismology*, 2: 100–104.
10. Bondarenko V.I., Rashidov V.A. **2003.** On probable submarine volcanic activity in region Chernye Brat'ya islands (Kurile Islands). *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle = Bull. of KRAESC. Earth Sciences*, 2: 80–88. (In Russ.).
11. Bondarenko V.I., Rashidov V.A. **2006.** A submarine volcanic zone to the West of Paramushir Island (Kuril island arc). *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle = Bull. of KRAESC. Earth Sciences*, 2(8): 69–85. (In Russ.).
12. Bondarenko V.I., Rashidov V.A. **2011.** [Appearance of gas hydrate and mud volcanism in area of Bussol' strait (Kurile island arc)]. In: *Geology of seas and oceans: Materials of the XIX International scientific conference (School) on marine geology, Moscow, November 14–18, 2011.* Moscow: GEOS, vol. 5: 38–42. (In Russ.).
13. Bondarenko V.I., Rashidov V.A. **2018a.** The structure of the Ushishir Volcanic Massif, Central Kurils. *J. of Volcanology and Seismology*, 12(1): 16–33. <https://doi.org/10.1134/s0742046318010025>

14. Bondarenko V.I., Rashidov V.A. **2018b**. [Underwater volcanic activity on the Okhotsk side of the Kuril island arc]. *Actual Problems of Oil and Gas*, 4(23). (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art51>
15. Bondarenko V.I., Rashidov V.A. **2019**. [Submarine Caldera of Prostor Bay, Iturup Island, Kurile islands]. In: *Geology of seas and oceans: Materials of the XXIII International scientific conference (School) on marine geology, Moscow, November 18–22, 2019*. Moscow: GEOS, vol. 5: 54–57. (In Russ.).
16. Gavrilenko G.M. **1987**. [Submarine volcanic and hydrothermal activity as a source of metals in Island-Arc ferromanganese deposits]. Vladivostok: Dalnauka, 165 p. (In Russ.).
17. Ginzburg G.D., Solovyov V.A. **1994**. [Submarine gas hydrates]. St. Petersburg: All-Russia Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean “VNIIOkeangeologiya”, 199 p. (In Russ.).
18. Zonenshain L.P., Murdmaa I.O., Baranov B.V., Kuznetsov A.P., Kuzin V.C., Kuz'min M.I., Avdeiko G.P., Stunzhas P.A., Lukashin V.N., Barash M.C., Valyashko G.M., Demin L.L. **1987**. [Underwater gas source in the Sea of Okhotsk to the west from Paramushir Island]. *Oceanology*, 27(5): 795–800. (In Russ.).
19. Kozlov D.N. **2015**. *Crater Lakes of the Kuril Islands*. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. obl. kraevedch. muzey; In-t morskoy geologii i geofiziki DVO RAN, 112 p. (In Russ.).
20. Lomtev V.L. **2014**. To the structure and cenozoic cover gas presence of the Northern Mid-Kuril trough (by seismic continuous data). *Deep Oil*, 2(6): 953–968. (In Russ.).
URL: http://journal.deepoil.ru/images/stories/docs/DO-2-6-2014/6_Lomtev_2-6-2014.pdf
21. Lomtev V.L., Patrikeev V.N. **2012**. New peculiarities in the structure of Northern Mid-Kuril Trough (based on seismic continuous data). *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle = Bull. of KRAESC. Earth Sciences*, 2(20): 59–70. (In Russ.).
22. Mel'nichenko Yu.I., Kazanskiy B.A., Obzhairov A.I. **1990**. [Hydroacoustic effects during echo sounding of the floor of marine basins]. In: *Novye dannye po geomorfologii i geologii zapadnoy chasti Tikhogo okeana [New data on geomorphology and geology of the Western Pacific]*. Vladivostok: DVO AN SSSR, p. 75–89. (In Russ.).
23. Nadezhnyi A.M., Bondarenko V.I. **1989**. Gas hydrates in the Kamchatka-Paramushir part of the Sea of Okhotsk. *Doklady Earth Sciences*, 306(5): 1192–1195. (In Russ.).
24. Obzhairov A.I., Astakhova N.V., Lipkina M.I., Vereshchagina O.F., Mishukova G.I., Sorochinskaya A.V., Yugay I.G. **1999**. [Gasgeochemical zoning and floor mineral association of the Sea of Okhotsk]. Vladivostok: Dalnauka, 183 p. (In Russ.).
25. *Podvodnyy vulkanizm i zonal'nost' Kuril'skoy ostrovnnoy dugi [Submarine volcanism and zonation of the Kuril island arc]* (Ed. Yu.M. Pushcharovskiy). **1992**. Moscow: Nauka, 528 p. (In Russ.).
26. Rashidov V.A. **2010**. *Geomagnitnye issledovaniya pri izuchenii podvodnykh vulkanov ostrovnnykh dug i okrainnykh morej zapadnoy chasti Tihogo okeana [Geomagnetic investigations during the study of submarine volcanoes at island arcs and in marginal seas of the Western Pacific]*: [Extended abstract of candidate's dissertation in Engineering]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 27 p. (In Russ.).
27. Rashidov V.A. **2013**. Taketomi subordinate volcano, Atlasov Island, the Kurile island arc. *Geophysical Processes and Biosphere*, 12(1): 5–13. (In Russ.).
28. Rashidov V.A., Bondarenko V.I. **2004**. Geophysical studies of Krylatka submarine volcano, Kuril Islands. *Journal of Volcanology and Seismology*, 4: 65–76.
29. Gaedicke C., Baranov B.V., Obzhairov A.I., Lelikh E.P., Belykh I.N., Basov E.I. **1997**. Seismic stratigraphy, BSR distribution and venting of metan-rich fluids west off Paramushir and Onkotan Islands, northern Kurils. *Marine Geology*, 136: 259–276. [https://doi.org/10.1016/s0025-3227\(96\)00067-9](https://doi.org/10.1016/s0025-3227(96)00067-9)
30. Tanakadate H. **1934**. Volcanic activity in Japan during the period between June 1931 and June 1934. *Japanese J. of Astronomy and Geophysics*, 12: 89–108.

Об авторах

БОНДАРЕНКО Вячеслав Илларионович (ORCID 0000-0002-6521-2915), кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры биологии и экологии, Костромской государственный университет, Кострома, vibond@list.ru
РАШИДОВ Владимир Александрович (<https://orcid.org/0000-0002-5790-6829>), кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры петрологии и геохимии, Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петropавловск-Камчатский, rashidva@ksnet.ru

About the Authors

BONDARENKO Vyacheslav I. (<https://orcid.org/0000-0002-6521-2915>), Cand. of Sciences (Geol. and Miner.), Associate Professor at the Department of biology and ecology, Kostroma State University, Kostroma, vibond@list.ru
RASHIDOV Vladimir A. (<https://orcid.org/0000-0002-5790-6829>), Cand. of Engineering, Senior Researcher at the Laboratory of petrology and geochemistry, Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, rashidva@ksnet.ru