

УДК 550.834:550.838.2:551.214.6(571.645)

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

**Блох Ю.И.¹, Бондаренко В.И.², Долгаль А.С.³, Новикова П.Н.³, Петрова В.В.⁴,
Пилипенко О.В.⁵, Рашидов В.А.^{6,7}, Трусов А.А.⁸**

¹ г. Москва, yuri_blokh@mail.ru

² Костромской ГУ, г. Кострома

³ Горный институт УрО РАН, г. Пермь

⁴ Геологический институт РАН, г. Москва

⁵ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

⁶ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский,

⁷ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

⁸ АО «ГНПП Аэрогеофизика», г. Москва

Введение

22 июня 2019 г. после длительного периода покоя произошло извержение острова-вулкана Райкоке, расположенного в северной части Центральных Курил [13], которое вызвало значительный интерес как у нас в стране, так и за рубежом. При этом ни в сообщениях средств массовой информации, ни в сети Интернет не было упомянуто, что Райкоке составляет единый вулканический массив с подводным вулканом 3.18 [11, 12]. Меж тем в пределах Центральной части Курильской островной дуги (КОД) насчитывается значительное количество как подводных вулканов, вулканических массивов и кальдер, так и островов-вулканов и наземно-подводных вулканических массивов [1-12].

В настоящее время авторским коллективом с помощью эффективной технологии количественной интерпретации материалов гидромагнитной съемки в комплексе с эхолотным промером, непрерывным сейсмоакустическим профилированием, анализом естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород, проведено изучение подводных вулканов и вулканических массивов центральной части КОД в состав которой входят три подводные вулканические зоны: Расшуа, Симуширская и Броутона [1-7]. При этом применялись разнообразные методы интерпретации, одни из которых ориентированы на 2D и 2.5D–анализ магнитного поля на отдельных галсах, а другие – на 3D–анализ по всему массиву наблюдений. Для уточнения глубинного строения подводных вулканических построек использовались методы особых точек, интерпретационная томография и монтажный метод решения обратной задачи магниторазведки в смешанной постановке

Результаты и их обсуждение

В результате комплексных геолого-геофизических исследований установлено, что ведущую роль в формировании современного рельефа центральной части КОД играют тектонические процессы. В рельефе находят отражение движения по разломам, субпараллельным простиранию дуги или проходящим под острым углом к этому направлению. Значительную роль в формировании рельефа играют также вулканические и эрозионные процессы.

В пределах Центральной части КОД выявлены три подводные кальдеры: кальдера Горшкова, Внешняя кальдера Горшкова в вулканическом массиве Черных Братьев, и кальдера в вулканическом массиве Ушишир. Прослежена эволюция этих кальдер, а в пределах вулканических массивов Черных Братьев и Ушишир выделены участки проявления подводной гидротермальной деятельности [7-9].

Установлено, что массив Рикорда располагается внутри субмеридиональной грабенообразной структуры, названной нами грабеном Рикорда [3]. Образование этого грабена связано со сдвиговыми смещениями по упоминавшимся выше сдвиговым зонам в соответствии с механизмом формирования впадин типа пулл-апарт (pull-apart).

В пределах части Курильской котловины, прилегающей к о. Симушир и проливу Буссоль, установлена высокая активность обвально-оползневых процессов и выделено три участка проявления процессов гидратообразования и грязевого вулканизма [10]. Особенно широко оползневые отложения распространены на склонах и у подножий массивов Броутона, Черных Братьев и 6.13. На склонах этих массивов также обнаружены многочисленные линзы осадочных отложений с объемом

до 10-15 км³, находящихся в гравитационно-неустойчивом, «подвешенном» состоянии, что создает потенциальную опасность возникновения здесь крупных подводных цунамигенных оползней, о разрушительной силе которых можно судить по событиям в Зондском проливе 23 декабря 2018 г. после извержения вулкана Анак-Кракатау.

Со склонов и вершин подводных вулканических построек в центральной части КОД драгированы эффузивные и интрузивные породы, а также значительное количество железомарганцевых образований, имеющих гидротермально-осадочный генезис при различной степени участия гидрогенного фактора [14].

В породах некоторых вулканических массивов обнаружены вторичные минеральные ассоциации, которые являются индикаторами проявления высокотемпературных гидротермальных систем (рис. 1).

Петромагнитные исследования показали, что значения естественной остаточной намагниченности J_n горных пород в пределах группы Расшуа достигают 8.57 А/м, в пределах Симуширской вулканической зоны – 18.93 А/м, а в пределах поперечной зоны Броутона – 64.53 А/м, что является в настоящее время максимальным показателем для горных пород, драгированных в пределах КОД. Такие высокие значения J_n обусловлены высокой концентрацией однодоменных и псевдооднодоменных зерен титаномагнетита и магнетита.

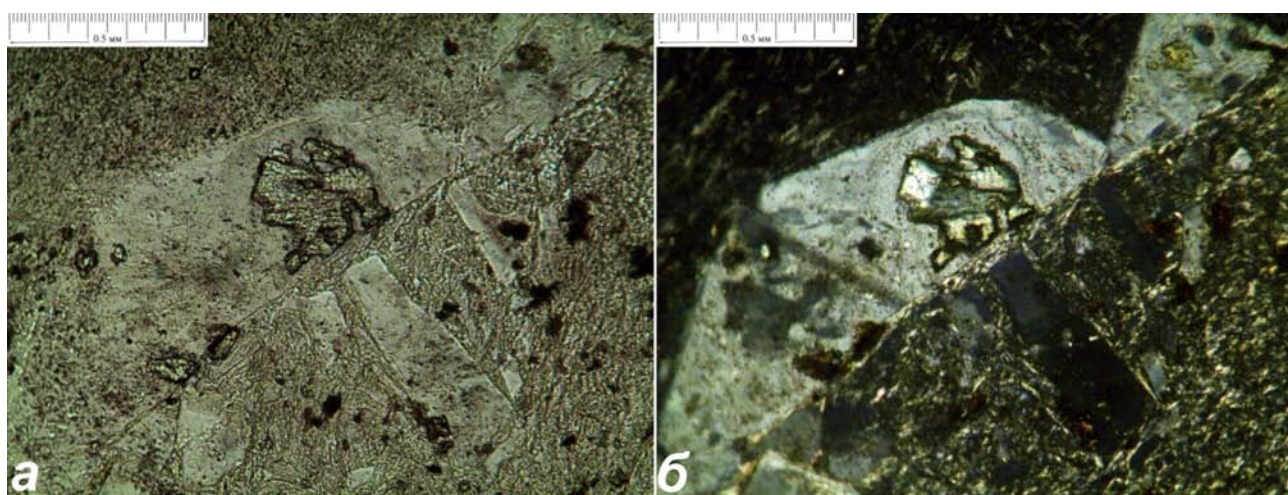


Рис. 1. Заметное увеличение количества гидрослюд и эпидота вдоль границы между кристаллокластами плагиоклаза и литокластом андезита в туфолаве, драгированной на подводном вулкане Обручева.
Свет: а – проходящий, б – поляризованный.

К подводным вулканическим постройкам в пределах центральной части КОД как правило приурочены положительные локальные аномалии магнитного поля ΔT_a (рис. 2) интенсивностью до 1800 нТл. Встречаются и исключения – например, к подводному вулкану Пегас приурочена отрицательная локальная аномалия ΔT_a амплитудой ~130 нТл.

Интерпретация данных гидромагнитной съемки с помощью системы СИНГУЛЯР (рис. 2) позволила сделать предположения о времени образования ряда подводных вулканических построек Центральных Курил, о наличии в постройках периферических магматических очагов и местоположении подводящих каналов.

При расчетах всегда учитывается истинный рельеф вулканических построек (рис. 3), с учетом погребенного под осадками основания. Мощность осадков, достигающая 600 м, определяется по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования [12].

Пространственное распределение векторов эффективной намагниченности для целого ряда подводных вулканов и вулканических массивов Центральных Курил, полученное путем решения линейных обратных задач с помощью программы ИГЛА (рис. 4), свидетельствует о приуроченности времени образования этих структур к периодам геомагнитных инверсий [1-6].

В подводных вулканических постройках выделены периферические магматические очаги и подводящие каналы, оконтурены застывшие магматические системы (рис. 5) и сделаны предположения о времени образования этих построек [1-6].

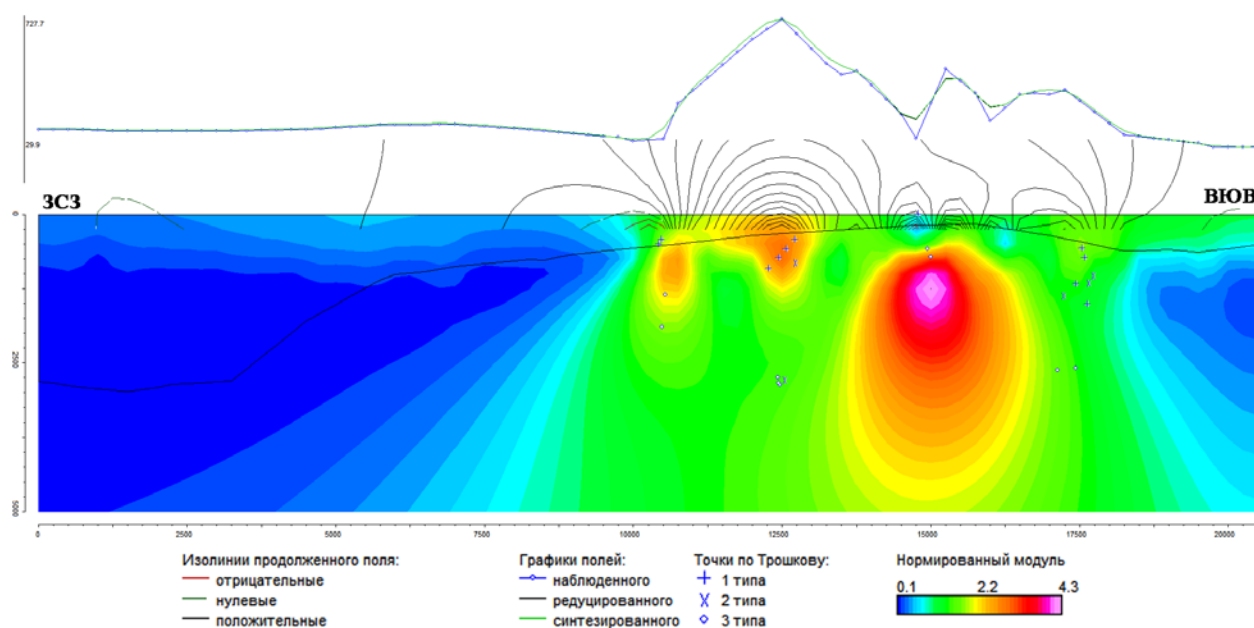


Рис. 2. Изображение, синтезированное системой СИНГУЛЯР, использующееся для локализации особых точек функции, описывающей аномальное магнитное поле ΔT_a подводного вулкана Лисянского.

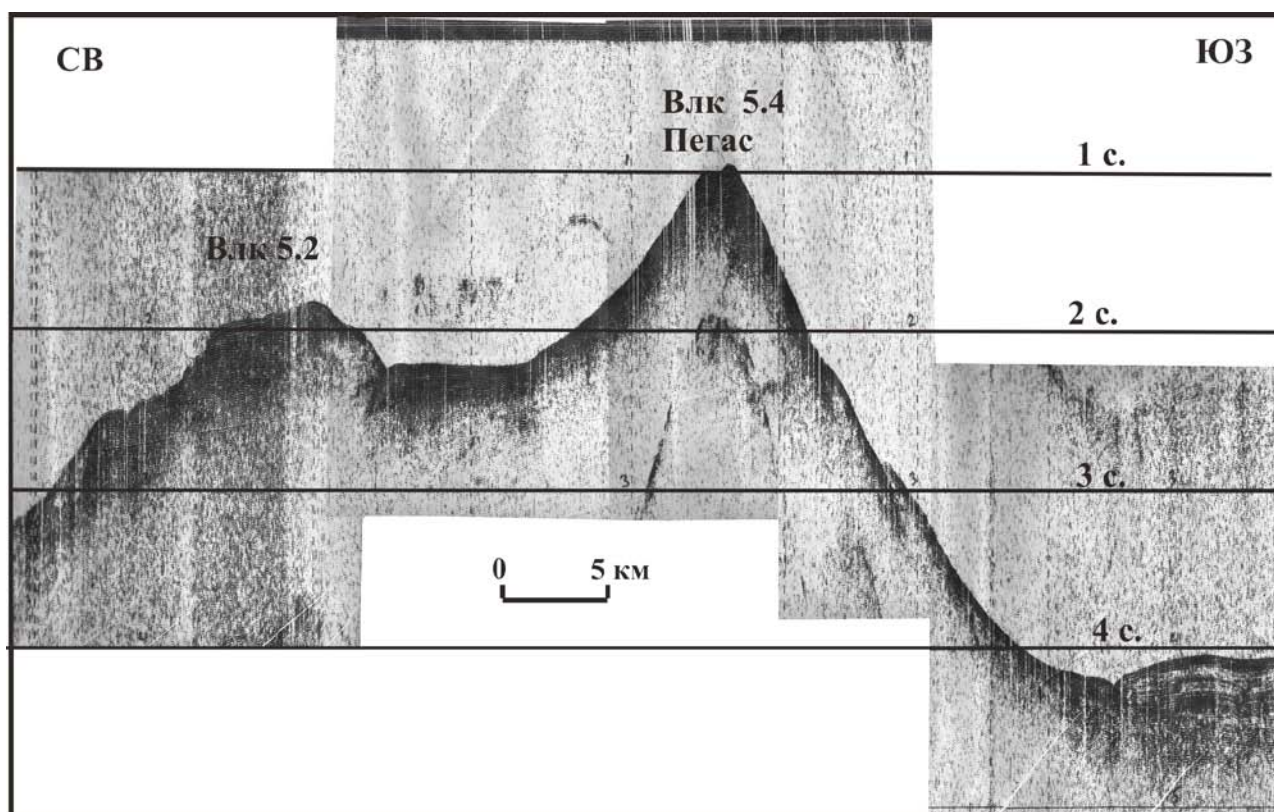


Рис. 3. Фрагмент профиля непрерывного сейсмоакустического профилирования пересекающего подводные вулканы 5.2 и Пегас (5.4).

Привлечение информации о гравитационном поле КОД, полученной с помощью спутниковой интерферометрической радарной альтиметрии, показало, что вычисленные таким образом аномалии Фая приурочены к вершинам подводных вулканов 6.2-6.4 и позволяют проводить количественную оценку параметров геоплотностных неоднородностей.

Закключение

В результате выполненных исследований идентифицированы новые вулканические постройки и оконтурены области распространения обвально-оползневых процессов.

Получены новые данные о петрографическом и минеральном составе пород, составляющих подводные вулканы и подводные вулканические массивы в пределах Центральных Курил и установлены время и место их кристаллизации. В драгированных породах некоторых вулканов выявлены вторичные минеральные ассоциации, которые в вулканических зонах являются индикаторами проявления высокотемпературных гидротермальных систем. Изучение петромагнитных характеристик драгированных образцов позволило получить новую информацию о составе зерен-носителей естественной остаточной намагниченности.

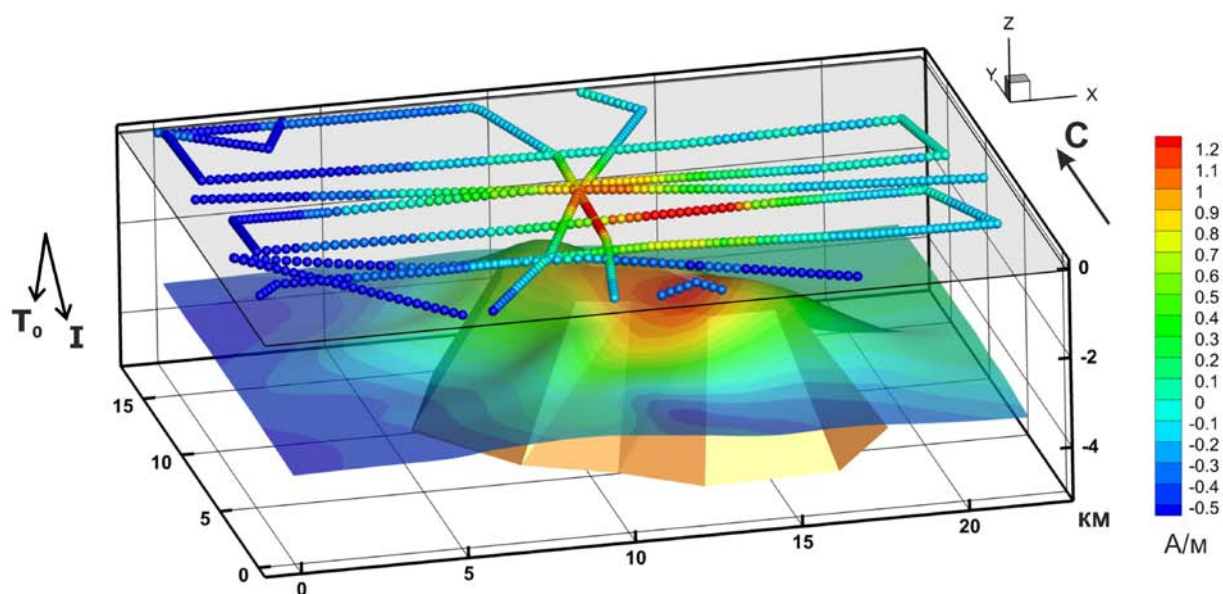


Рис. 4. Уточнение направления вектора эффективной намагниченности $J_{\text{эф}}$ подводного вулкана 6.3 с помощью программы ИГЛА.

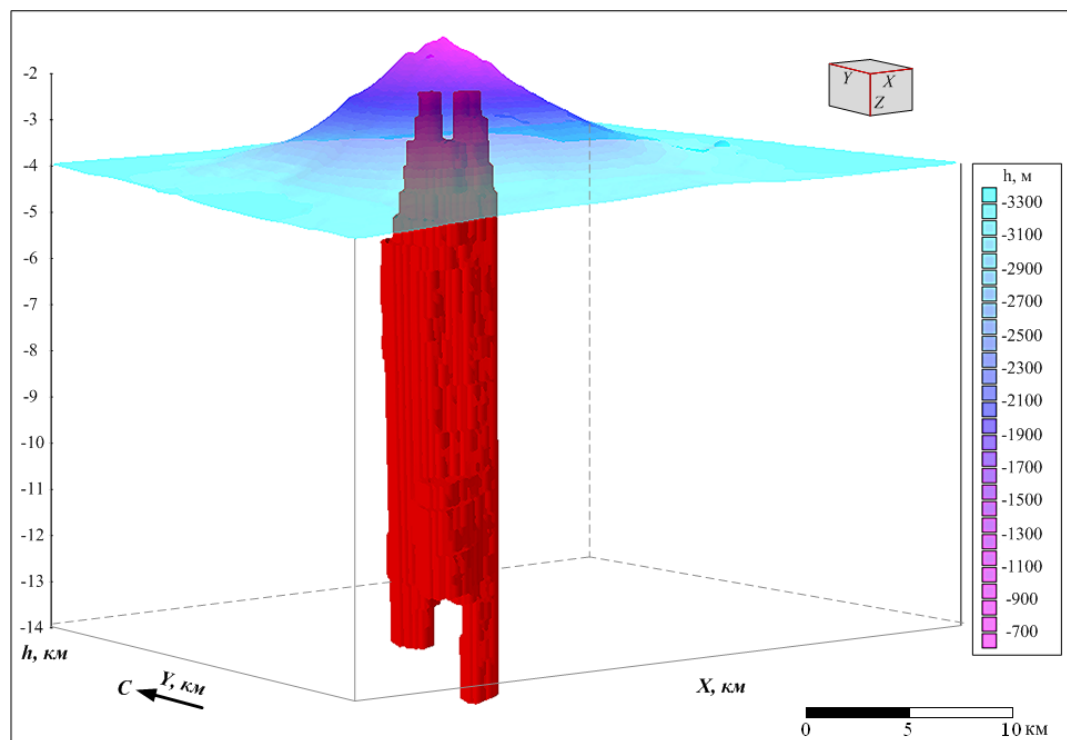


Рис. 5. Пространственное положение выделенного магнитовозмущающего блока в подводном вулкане Миронова по результатам 2.5D-моделирования с использованием монтажного метода: 1 – монтажный элемент.

В изученных вулканических постройках Центральных Курил выделены периферические магматические очаги и подводные каналы, а также оконтурены застывшие магматические системы. Сделан вывод о приуроченности времени образования ряда изученных построек к периодам геомагнитных инверсий.

Полученные данные, несомненно, имеют большое значение как для изучения строения центральной части КОД, так и для изучения островодужного вулканизма Тихого океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (проекты 18-05-00410 «Комплексные геолого-геофизические исследования подводного вулканизма центральной и южной частей Курильской островной дуги» и 19-05-00654 «Развитие методов обработки и интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки»).

Список литературы

1. Аникин Л.П., Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусев А.А., Чубаров В.М. Комплексные исследования подводных и наземных вулканов Курильской островной дуги в 2018-2019 гг. // Материалы XXI Всероссийской научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2018 г. // Материалы XXII региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 28 - 29 марта 2019 г. / Главный редактор: д.г.-м.н. А.Ю. Озеров. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 136–139.
2. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусев А.А. Подводные вулканы Броутонской вулканической зоны (центральная часть Курильской островной дуги) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. С. 47–51.
3. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусев А.А. Подводный вулканический массив Рикорда (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 26–42.
4. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусев А.А. Применение современных компьютерных технологий для исследования подводного вулканического центра вблизи юго-западной оконечности о. Симушир (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 27–40.
5. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусев А.А. Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 6.1, Курильская островная дуга // Геофизика. 2012. № 2. С. 58–66.
6. Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусев А.А. Оценка остаточной намагниченности подводных вулканов Курильской островной дуги с применением программы ИГЛА // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 2. Вып. № 26. С. 5–10.
7. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. О возможной подводной вулканической активности в районе островов Черные Братья (Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 2. С. 80–88.
8. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 3. С. 35–51.
9. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Строение вулканического массива Ушишир (Центральные Курилы) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 1. С. 16–34.
10. Бондаренко В. И., Рашидов В.А. Проявления гидратообразования и грязевого вулканизма в районе пролива Буссоль (Курильская островная дуга) // Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Москва 14-18 ноября 2011 г. М: ГЕОС, 2011. С. 38–42.
11. Брусиловский Ю.В., Иваненко А.Н., Рашидов В.А. Анализ магнитного поля трех позднекайнозойских подводных вулканов в северной части Курильской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2004. № 2. С. 73–83.
12. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. Ю.М. Пущаровский М.: Наука, 1992. 528 с.
13. Рашидов В.А., Гирина О.А., Озеров А.Ю., Павлов Н.Н. Извержение вулкана Райкоке (Курильские острова) в июне 2019 г.
14. Glasby G.P., Chercashov G.A., Gavrilenko G.M. Rashidov V.A., Slovtsov I.B. Submarine hydrothermal activity and mineralization on the Kurile and western Aleutian island arcs, N.W. Pacific // Marine Geology. 2006. V. 231. P. 163–180.