

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Л.П. Аникин<sup>1</sup>, Ю.И. Блох<sup>2</sup>, В.И. Бондаренко<sup>3</sup>, А.С. Долгаль<sup>4</sup>, А.А. Долгая<sup>1</sup>,  
П.Н. Новикова<sup>4</sup>, В.В. Петрова<sup>5</sup>, О.В. Пилипенко<sup>6</sup>, В.А. Рашидов<sup>1</sup>, А.А. Трусов<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;  
e-mail: rashidva@kscnet.ru;

<sup>2</sup>Москва;

<sup>3</sup>Костромской ГУ им. Н.А. Некрасова, Кострома;

<sup>4</sup>Горный институт УрО РАН, Пермь;

<sup>5</sup>Геологический институт РАН, Москва;

<sup>6</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва;

<sup>7</sup>ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», Москва

### Введение

В 1981-1991 гг. в 11 рейсах НИС «Вулканолог» было проведено комплексное геолого-геофизическое исследование подводных вулканов Охотоморского склона Курильской островной дуги (КОД) – важного элемента Тихоокеанской зоны перехода. В качестве обязательных методов выполнялись эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), модульную гидромагнитную съемку (ГМС) и драгирование. Интерпретация геофизических данных, полученных в этих рейсах, выполнена с помощью эффективной технологии, использующей материалы ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП и определениями естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород в современных лабораториях [1-7, 13, 16]. Для изучения глубинного строения вулканических построек применены томографический анализ геомагнитного поля и монтажный метод решения обратной задачи магниторазведки в смешанной постановке.

### Результаты исследований

На Охотоморском склоне КОД при современном уровне изученности выделено 125 подводных вулканов и 6 подводных или частично затопленных кальдер и кратеров, и установлено широкое развитие процессов гидратообразования и грязевого вулканизма. Так в вулканическом массиве Ушишир изучен затопленный кратер (бухта Кратерная), а по данным геофизических исследований [2, 8] сделано предположение о наличии подводной кальдеры (рис. 1).

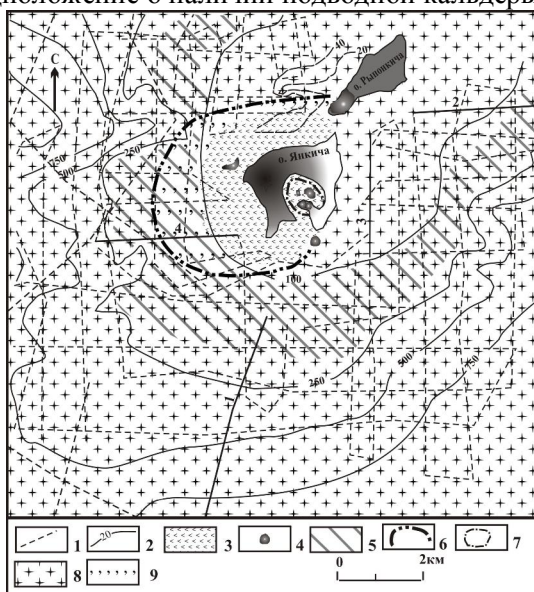


Рис. 1. Морфоструктурная схема массива Ушишир: 1 – геофизические профили; 2 – изобаты; 3 – образования, слагающие подводную часть о. Янкича; 4 – экструзии; 5 – предголоценовая терраса; 6 – предполагаемая граница кальдеры; 7 – кольцевой разлом бухты Кратерной; 8 – образования, слагающие древнюю постройку массива Ушишир; 9 – предполагаемые внутрикальдерные отложения.

На крутых склонах подводных вулканов и островов по данным НСП выявлены неустойчивые «подвешенные» крупные блоки осадочных или рыхлых вулканогенных отложений, объемом до нескольких км<sup>3</sup>, которые, вследствие их гравитационной неустойчивости при сильных землетрясениях могут стать причиной возникновения цунами [9-11]. По данным НСП была составлена карта участков, характеризующихся повышенной опасностью возникновения потенциально цунамигенных оползней в пределах КОД.

3D-моделирование с помощью программы REIST из пакета структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D (рис. 2) позволило выделять в пределах вулканических построек отдельные лавовые потоки и побочные конусы [2-6, 12].

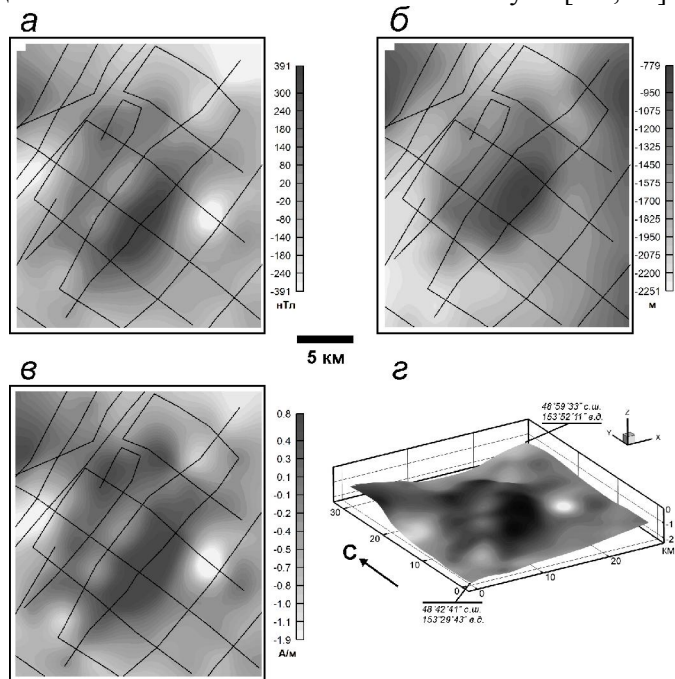


Рис. 2. Подводный вулканический массив Ратманова: *а* – аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$ ; *б* – батиметрия; *в* – распределение эффективной намагниченности вулкана; *г* – распределение эффективной намагниченности, изображенное на поверхности вулкана.

С помощью программного комплекса СИНГУЛЯР в подводных вулканах определены направления подводящих каналов и местоположения магматических камер [2-6, 13]. Для проведения комплексного анализа геофизических материалов привлечены данные спутниковой альтиметрии [7], пересчитанные в гравитационные аномалии в редукции Фая, которые четко отражают расположение подводных вулканов КОД и позволяют проводить количественную оценку параметров геоплотностных неоднородностей (рис. 3).

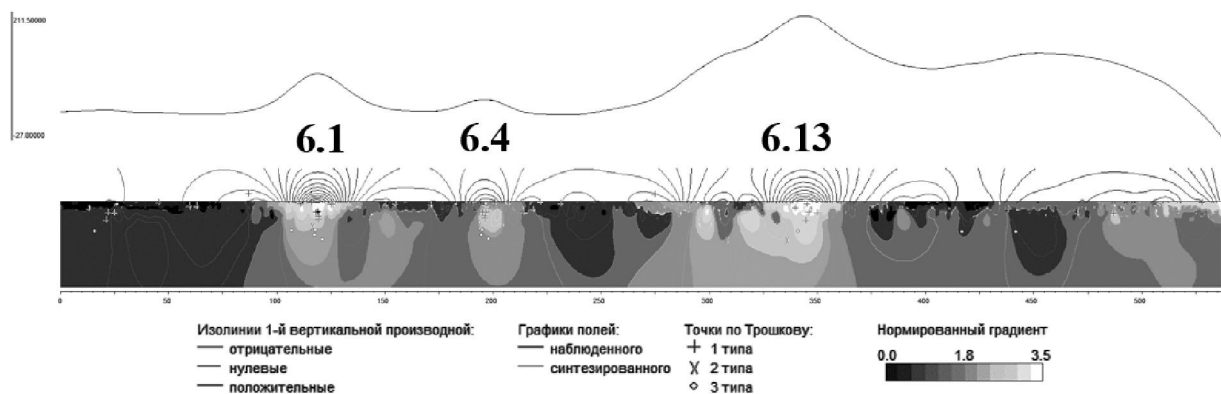


Рис. 3. Анализ особых точек функции, описывающей аномалии Фая на интерпретационном профиле в районе Броутонской группы подводных вулканов с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР. Цифрами обозначены номера подводных вулканов.

С помощью программы ИГЛА установлено, что векторы естественной остаточной намагниченности изученных подводных вулканов не совпадают по своим направлениям с вектором нормального поля  $T_0$ , а его изменения в пределах региона свидетельствуют о приуроченности времени образования этих построек к периодам геомагнитных инверсий [6].

Петромагнитные исследования показали, что породы, слагающие подводные вулканы Охотоморского склона КОД, сильно дифференцированы по величинам естественной остаточной намагниченности, магнитной восприимчивости и фактора Кенигсбергера. Основными носителями намагниченности в изученных породах являются псевдооднородные и многодоменные зерна титаномагнетита и низкотитанистого титаномагнетита. Высокие величины естественной остаточной намагниченности обусловлены псевдооднородной структурой зерен титаномагнетита, а высокие значения магнитной восприимчивости – большой концентрацией ферримагнитных зерен [2, 4, 16].

Структурные и петрографо-минералогические особенности драгированных образцов свидетельствуют о том, что они относятся к породам из разных стадий извержений.

Для удобства работы и хранения имеющихся данных на современных носителях создана и эффективно используется реляционная база данных профильных геофизических наблюдений и станций драгирования подводных вулканов КОД [2]. В комплексе с базой данных реализовано программное приложение, обеспечивающее добавление, поиск, экспорт и визуализацию данных.

Наземные комплексные геолого-геоморфологические и геофизические исследования 2007-2016 гг. показали, что побочный вулкан Такетоми на о. Атласова (остров-вулкан Алаид), извержение которого началось под водой и закончилось на суше, под действием денудационных процессов перманентно разрушается (рис. 4) и в ближайшее время опять станет островом [1, 2, 14, 15].



Рис. 4. Побочный вулкан Такетоми на о. Атласова.

По данным геомагнитных исследований аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$  постройки Такетоми изменяется от -1470 до 4900 нТл, а горизонтальный градиент поля превышает на отдельных участках 250 нТл/м. Магнитная восприимчивость горных пород в естественном залегании изменяется на этом участке острова-вулкана Алаид в диапазоне  $(0.40-38.6) \cdot 10^{-3}$  СИ.

Аномальное магнитное поле вершинной бокки Такетоми изменяется в диапазоне от -1468 до 2678 нТл (рис. 5). К центру бокки приурочена интенсивная положительная аномалия, обусловленная, вероятнее всего, застывшим подводным каналом [1].

Во время полевых работ на острове-вулкане Алаид на мысе Пологий и в бухте Северной в заплесковых лужах на лавовых потоках была обнаружена «цветная вода» различных оттенков красного, желтого и зеленого цветов [12, 14-15], обусловленная пурпурными серобактериями рода *Thiocapsa* и *Thiorhodococcus* (рис. 6), о чем ранее никем не упоминалось. Тот факт, что дважды в течение одного календарного года на разных участках о. Атласова обнаружена «цветная вода», обусловленная развитием пурпурных серобактерий, говорит о том, что это явление не является случайным, и на это следует обратить внимание.

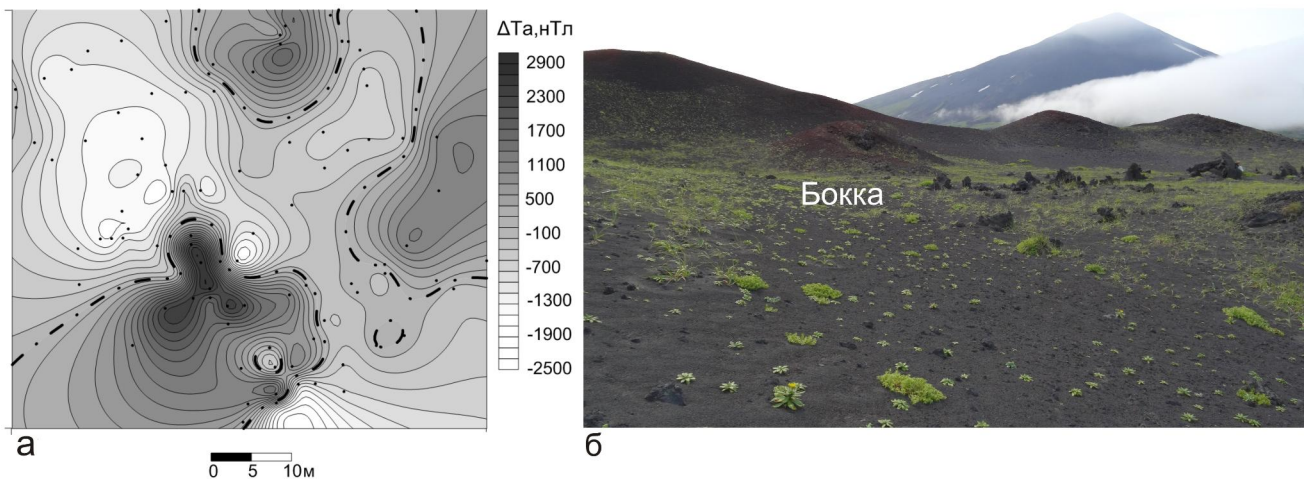


Рис. 5. Аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$  (а) вершинной бокки Такетоми (б).

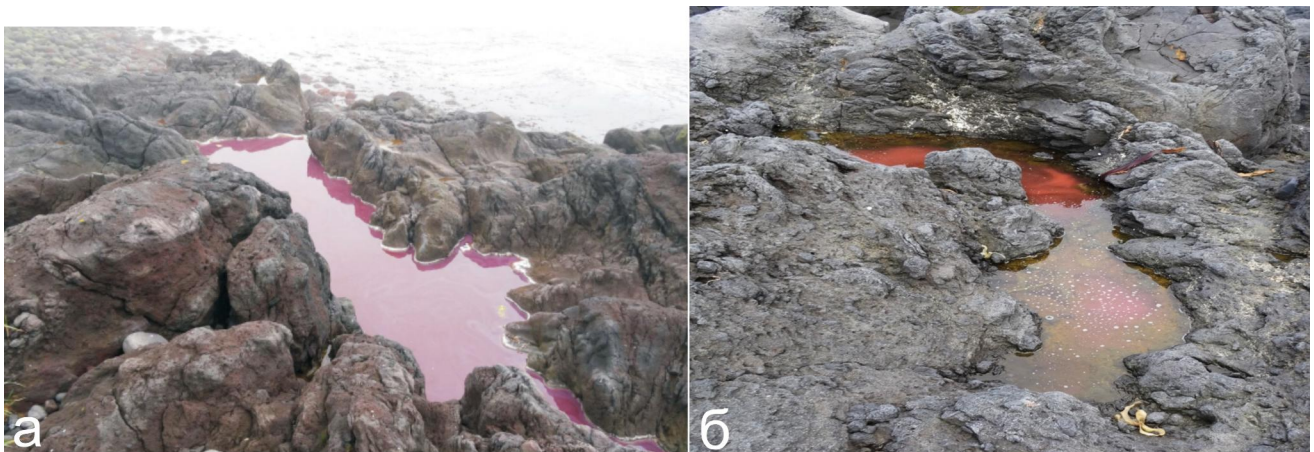


Рис. 6. Заплесковые лужи с «цветной водой» на острове-вулкане Алаид: на мысе Пологий (а) и в бухте Северной (б).

### Заклучение

В результате выполненных исследований выявлены новые подводные вулканы и кальдеры. Изучены морфология, геологическое строение и эволюция подводных вулканических построек и массивов, в пределах которых выявлены лавовые потоки, лавовые пробки и кальдеры, определены направления подводящих каналов и местоположения магматических камер. Оценены масштабы проявления подводной вулканической деятельности и сделаны предположения о возрасте формирования ряда вулканических структур. Выполнены петромагнитные и петрографо-минералогические исследования драгированных пород, слагающих подводные вулканические постройки.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 15-05-02955 и № 15-05-01823.

### Список литературы

1. Аникин Л.П., Блох Ю.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Геомагнитные исследования побочных извержений острова-вулкана Алаид (о. Атласова, Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 43-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского (г. Воронеж, 26 января – 30 января 2016 г.). Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2016. С. 14-16.
2. Аникин Л.П., Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Долгая А.А., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусов А.А. Новые данные о строении подводных вулканов и островов Курильской островной дуги // Материалы XX региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 94-97.
3. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексные исследования подводных вулканических структур Курильской островной дуги // Геофизические методы при разведке недр: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию основания в Томском политехническом институте кафедры «Геофизические методы

поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Томский политехнический университет. Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2016. С. 7-10.

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.* Новые данные о строении подводных вулканических массивов Рикорда и Ратманова (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 23-27 января 2017 г. М: ИФЗ РАН, 2017. С. 60-65.

5. *Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Количественная интерпретация материалов комплексных геолого-геофизических исследований подводных вулканов Курильской островной дуги // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы. Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию Пермского ун-та, 85-летию геологического ф-та, 65-летию спец. «Геофизика», 90-летию со дня рождения проф. Б.К. Матвеева (г. Пермь, 24-25 ноября 2016 г.) / Гл. ред. В.И. Костицын; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. С. 58-62.

6. *Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов 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. *Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Изучение подводных вулканов Курильской островной дуги с помощью спутниковой радарной альтиметрии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 43-й сессии Международного научного семинара им. Д. Г. Успенского (г. Воронеж, 26 января – 30 января 2016 г.). Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2016. С. 34-35.

8. *Бондаренко В.И.* Строение и предполагаемая история развития вулканического массива Ушишир (Центральные Курилы) // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2015. Т. 5. С. 48-52.

9. *Бондаренко В.И., Петухин А.Г., Рашидов В.А.* Опасность цунами оползневоего происхождения в районе Курильской островной дуги // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК–2015»: в 2 т. / Отв. ред. В.И. Осипов. М.: РУДН, 2015. Т. 1. С. 132-136.

10. *Бондаренко В.И., Петухин А.Г., Рашидов В.А.* Потенциальные оползни Курильской островной дуги и опасность цунами // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. V научно-техническая конференция. 27 сентября – 3 октября 2015 г., г. Петропавловск-Камчатский. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2015. С. 54-55.

11. *Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Особенности геоморфологии и тектоники пролива Буссоль (Курильские острова) // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии. IX Косыгинские чтения. Материалы конференции 13-15 сентября 2016, г. Хабаровск. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 10-13.

12. *Жильцова А.А., Харчева А.В., Лунина О.Н., Аникин Л.П., Рашидов В.А., Пацаева С.В.* Спектральное изучение пурпурных бактерий в культурах клеток и в природной воде острова-вулкана Алаид // Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии. Материалы международного симпозиума. Москва, 25-28 октября 2016 г. М.: МГУ, 2016. С. 344-345.

13. *Рашидов В.А.* Геолого-геофизические исследования подводных вулканов Охотоморского склона Курильской островной дуги // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: VI Сахалин. молодеж. науч. школа, Южно-Сахалинск, 3-8 октября 2016 г.: сб. мат. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2016. С. 66-70.

14. *Рашидов В.А., Аникин Л.П.* Полевые работы на вулкане Алаид (о. Атласова, Курильские острова) в августе 2015 года // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. № 27. С. 102-107.

15. *Рашидов В.А., Аникин Л.П.* Полевые работы на вулкане Алаид (о. Атласова, Курильские острова) в 2016 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 3. Вып. № 31. С. 94-103.

16. *Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В.* Петромагнитные и петрографо-минералогические исследования горных пород, драгированных на подводных вулканах Охотоморского склона северной части Курильской островной дуги // Физика Земли. 2016. № 4. С. 84-106.