

Новые данные о строении подводных вулканов и островов Курильской островной дуги

Л.П. Аникин¹, Ю.И. Блох², В.И. Бондаренко³, А.С. Долгаль⁴, А.А. Долгая¹,
П.Н. Новикова⁴, В.В. Петрова⁵, О.В. Пилипенко⁶, В.А. Рашидов¹, А.А. Трусов⁷

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;

e-mail: rashidva@kscnet.ru;

²Москва;

³Костромской ГУ им. Н.А. Некрасова, Кострома;

⁴Горный институт УрО РАН, Пермь;

⁵Геологический институт РАН, Москва;

⁶Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва;

⁷АО «ГНПП Аэрогеофизика», Москва

В рамках интеграции академической, вузовской и отраслевой науки ученые различной специализации в области наук о Земле из четырех городов Российской Федерации в 2016-17 гг. успешно продолжили изучение подводных вулканов и островов Курильской островной дуги (КОД) [1–5].

В результате выполненных исследований установлено, что ведущим процессом во время неотектонического этапа развития КОД было периодическое опускание ее фундамента с последующим поднятием в ее осевой части и надстраиванием островов за счет вулканической деятельности. При этом происходило уменьшение площади островной дуги. Наблюдаемая картина, в целом, соответствует представлениям о происходящих в этом регионе процессах эскарпогенеза.

Изучены особенности геоморфологии и тектоники **пролива Буссоль** – самого глубокого пролива КОД, отделяющего Южные Курилы от Центральных Курил [3]. В районе пролива выделено значительное количество разломов, среди которых преобладают разломы субмеридионального простирания. Сбросы этого направления ограничивают глубоководные части пролива Буссоль, представляющие собою, по-видимому, субмеридиональные грабены.

В 2016–17 гг. был изучен **вулканический массив Ушишир**, включающий два небольших острова – Рыпонкича и Янкича и несколько мелких скал, имеющих общее название – о-ва Ушишир, и сделано предположение о наличии в пределах массива древней кальдеры с поперечными размерами до 5 км. Впервые составлена карта аномального магнитного поля ΔT_a вулканического массива Ушишир. Борты выделенной кальдеры трассируются в магнитном поле высокоградиентными зонами со значениями модуля горизонтального градиента ≥ 1000 –1200 нТл/км. Составлена гипотетическая схема эволюции вулканического массива Ушишир, которая позволяет говорить о том, что его эволюция происходила на протяжении шести этапов.

Получены новые данные о строении **подводного вулканического массива Рикорда**, названного в честь известного отечественного мореплавателя, исследователя Дальневосточных морей адмирала Петра Ивановича Рикорда [1]. Массив расположен в КОД в одноименном проливе между островами Кетой и Ушишир. Подножие массива располагается на глубинах 600–700 м, а плоская вершина массива, размером 2×9 км – на глубинах 130–150 м. Размер основания массива Рикорда 9×19 км, а объем – около 50 км³. В пределах массива выделены четыре сливающиеся по основанию вулканические постройки.

При драгировании привершинной части массива были подняты разнообразные породы, представленные, в основном, свежими угловатыми обломками, химический

состав которых варьирует по содержанию в них SiO_2 от 48,69 до 61,28 вес.%. Существование практически неразрывного ряда химического состава пород от андезибазальтов до дацитов, присутствие переходных разностей от андезина до битовнита и зональных кристаллов плагиоклаза, постепенная смена мафических минеральных ассоциаций на сиалические свидетельствует о генетическом родстве драгированных образцов и позволяет предположить, что на начальных этапах жизни вулканического массива Рикорда изливались базальтовые и андезибазальтовые лавы.

Петромагнитные исследования драгированных образцов показали, что образцы магнитоизотропны, а высокие значения $J_n=2-9$ А/м базальтов и андезибазальтов обусловлены большим содержанием ($\alpha=(9-23)\times 10^{-3}$ СИ) однодоменных и псевдооднодоменных зерен (SD-PSD) низкокоэрцитивных ферромагнитных минералов. Относительно низкие значения остаточной намагниченности $J_n=0,2-0,9$ А/м андезитов обусловлены большим содержанием ($\alpha=(15-33)\times 10^{-3}$ СИ) псевдооднодоменных и многодоменных зерен (PSD-MD) низкокоэрцитивных ферромагнитных минералов.

С помощью программы ИГЛА уточнено, что вектор эффективной намагниченности пород, слагающих массив Рикорда, отклонен от вектора нормального поля T_0 к юго-западу на угол около 80° . 3D-моделирование вулканической постройки с помощью программы REIST из пакета структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D показало, что максимальная эффективная намагниченность вулканического массива Рикорда достигает 0,7 А/м.

Результаты интерпретационной томографии и решение смешанной обратной задачи магнитометрии монтажным методом позволили построить объемную модель центральной части вулканического массива и выделить здесь 10 крупных магнитовозмущающих блоков с модулем эффективной намагниченности, не превышающей 2 А/м, которые мы связываем с застывшими подводными каналами. По направлению вектора эффективной намагниченности эти объекты можно условно разделить на два типа: с углами отклонения от вертикали на 80° и 70° , что может свидетельствовать о разном времени образования выделенных структур. Глубина залегания верхней кромки большинства выделенных объектов соответствует рельефу вулканического массива, сами объекты распространяются до глубины ~ 10 км ниже уровня поверхности моря. По морфологии можно выделить как субвертикальные каналы, сужающиеся с глубиной, так и каналы наклонного залегания.

Получены новые данные о строении **подводного вулканического массива Ратманова**, названного в честь известного отечественного океанографа-гидролога Георгия Ефимовича Ратманова и расположенного в северной части КОД [1]. Массив вытянут в северо-восточном направлении и поднимается с глубин 2200–1500 м. Его плоская вершина размером 10×16 км расположена на глубинах 1500–780 м, а объем достигает 180 км^3 . Подножие массива перекрыто вулканогенно-осадочной толщей мощностью 400–800 м. С учетом этих осадков относительная высота массива в северной части составляет 1300 м, в южной – 2300 м.

При драгировании массива подняты андезиты, химический состав которых варьирует по содержанию в них SiO_2 от 58,64 до 59,53 вес.%. Среди вкрапленников встречается плагиоклаз, роговая обманка, кварц и незначительное количество клинопироксена. Отмечены крупные выделения титаномагнетита. Породы принадлежат к К-На разностям нормального ряда.

Петромагнитные исследования драгированных образцов показали, что их J_n достаточно высокая и изменяется от 0,7 до 6,1 А/м, что обусловлено высоким содержанием ($\alpha=(30-108)\times 10^{-3}$ СИ) псевдооднодоменных и многодоменных зерен (PSD-MD) низкокоэрцитивных ферромагнитных минералов. Магнитная анизотропия в образцах достигает 9%.

Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР позволило установить, что основные особые точки функции, описывающей магнитные аномалии, приурочены к верхней кромке вулканических пород, тогда как подводные каналы являются субвертикальными. С помощью программы ИГЛА уточнено, что вектор эффективной намагниченности пород, слагающих массив Ратманова, отклонен от вектора нормального поля T_0 к юго-востоку на угол около 54° . 3D-моделирование вулканической постройки показало, что максимальная эффективная намагниченность вулканического массива Ратманова достигает 0,8 А/м.

Изучение химического состава позволило установить, что породы, драгированные с **11 подводных вулканов** Охотоморского склона северной части КОД, относятся к средним и умеренно щелочным.

Создана **реляционная база** данных, предназначенная для хранения данных об эхолотном промере и непрерывных геофизических исследованиях в ходе 11 рейсов НИС «Вулканолог» в пределах КОД. База содержит 6900 записей и позволяет реализовать возможность поиска галсов по широте и долготе в прямоугольной и многоугольной области.

Были продолжены комплексные геолого-геофизические исследования **острова-вулкана Алаид**, расположенного на о. Атласова в северной части КОД. Во всех изученных участках острова-вулкана Алаид обнаружены проявления меди. На побочном вулкане Такетоми, по сравнению с 2015 г., видимое количество проявлений меди существенно увеличилось, что, вероятно, связано с продолжающимся разрушением вулканической постройки. В медных проявлениях здесь выделен достаточно редкий минерал атакамит – гидроксилхлорид меди, имеющий химическую формулу $Cu_2Cl(OH)_3$, который встречается в виде зернистых, волокнистых и коллоидных агрегатов.

Режимные геоморфологические исследования показали, что постройка побочного вулкана Такетоми под действием денудационных процессов продолжает перманентно разрушаться, а в толще тефроидов постоянно происходит осыпание, и обнажаются отдельные каменные глыбы [5]. В настоящее время разрушенный участок гребня Такетоми достигает 70 м.

Во время проведения полевых работ в бухте Северной впервые было проведено измерение магнитной восприимчивости горных пород в естественном залегании, которая изменяется на этом участке острова-вулкана Алаид в диапазоне $(0.71-11.6) \times 10^{-3}$ СИ.

Установлено, что ручьи, показанные на различных топографических картах о. Атласова в районе бухты Северной, в настоящее время отсутствуют и от них остались только заросшие растительностью русла. Это указывает на то, что гидрогеологический режим на о. Атласова после извержений 1972 и 1981 гг. сильно изменился.

В заплесковых лужах на лавовых потоках в бухте Северной была обнаружена «цветная вода» различных оттенков красного и желтого цветов [3, 5]. По сравнению с «красной водой», обнаруженной в районе мыса Пологий в 2015 г. и обусловленной пурпурными бактериями рода *Thiocapsa*, опробованная в 2016 г. вода оказалась менее устойчивой и во взятых пробах в течение 10 дней полностью потеряла свою окраску. На основании анализа спектров образцов природной воды, а также их микроскопирования было установлено, что в пробах 2015 г. цвет воды был обусловлен массовым развитием пурпурных серных бактерий рода *Thiocapsa*, а в пробах 2016 г. – массовым развитием ПСБ рода *Thiorhodococcus* [3].

Выполненный в лабораторных условиях гидрохимический анализ пресной воды из ручья Запертого в районе бухты Алаидской и водопада в бухте Баклан на острове

вулкане Алаид [5], а также воды из старого водозабора на о. Парамушир показал, что эта вода вполне пригодна для приготовления пищи и питья.

При геологических исследованиях на о. Парамушир были опробованы базальты, имеющие экзотическую верхнюю корку со своеобразным рисунком, которые условно можно назвать «Парамуширские письма», и проведены визуальные наблюдения за состоянием вулкана Эбеко.

Благодаря применяемому интеграционному подходу изучение подводных вулканов и островов КОД в 2016-2017 гг. оказалось весьма эффективным.

Установлено, что ведущим процессом во время неотектонического этапа развития КОД было периодическое опускание фундамента дуги с последующим поднятием в ее осевой части и надстраиванием островов за счет вулканической деятельности. В проливе Буссоль выделено значительное количество ранее неизвестных разломов субмеридионального простирания.

Получены новые данные о строении подводных вулканических массивов Рикорда и Ратманова. Изучен химический состав пород, драгированных с 11 подводных вулканов Охотоморского склона северной части КОД.

На разных участках острова-вулкана Алаид в заплесковых лужах повторно обнаружена «цветная вода», обусловленная пурпурными серными бактериями, и это позволяет говорить о том, что это явление не является случайным. Установлено, что в районе бухты Северной в настоящее время ручьи отсутствуют, а побочный вулкан Такетоми продолжает быстро разрушаться.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 15-05-02955-а и 15-05-01823-а).

Список литературы

1. *Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* 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. 53–58.
2. *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, 2013. С. 10–13.
3. *Жильцова А.А., Харчева А.В., Лунина О.Н. и др.* 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.
4. *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.
5. *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.