

Экспедиции, полевые семинары, практики

КУРИЛЬСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ РНФ, ИЮЛЬ-АВГУСТ 2016 г.: ВПЛАВЬ ЗА ЛЕТУЧИМИ

В этом сообщении мы расскажем о короткой экспедиции по центральным Курильским островам, проведенной в рамках проекта Российского Научного Фонда (РНФ) «Геохимия и баланс летучих в зонах субдукции на примере Курильских островов». Проект рассчитан на три года — 2015–2017 гг. В соответствии с программой проекта работы должны быть проведены на всех островах Большой Курильской гряды, где есть газо-гидротермальная деятельность. В 2015 г. наши отряды работали на о-вах Парамушир и Кунашир. В 2016 г. мы запланировали работы на центральных труднодоступных островах, куда можно добраться только на арендованном судне.

ПРОБЛЕМА

Многие научные коллективы в мире сейчас занимаются проблемами, связанными с субдукцией океанических плит. Этим проблем много, они разноплановые: от вопросов, связанных с механикой и физической динамикой субдукции до проблем поведения элементов и их судьбы до, во время и после погружения океанической плиты под континентальную или океаническую. Среди разноплановых задач, связанных с субдукцией, есть и задача оценить баланс так называемых летучих (соединений, которые в некотором интервале температур и давлений устойчивы в газовой фазе). Под балансом имеется в виду оценка количества потенциальных летучих, погружающихся вместе с плитой, количества летучих, возвращающихся на поверхность Земли или в земную кору в результате магматизма и вулканизма, и летучих, которые не возвращаются, а погружаются дальше в мантию или надолго «застревают» в мантийном клине между плитой и корой. Основными элементами, образующими устойчивые газообразные соединения (летучие) в магматических процессах, являются H, O, C, S, N, галогены и благородные газы, а также некоторые элементы, образующие подвижные соединения, такие как бор и мышьяк. Сколько этих и других элементов погружается с плитой, оценивают по

данным глубоководного бурения. Глубоководные осадки и измененные базальты составляют верхние примерно 2.5 км погружающейся океанической плиты. Они содержат основную часть летучих элементов. Зная скорость погружения и мощность этих слоев, можно оценить привнос летучих в зону субдукции. Задача о том, сколько этих летучих выносятся на поверхность, более сложная, поскольку имеется несколько путей выноса. Самый очевидный — вулканические газы. Расход газов выше всего во время извержений. Между извержениями многие вулканы проявляют фумарольную активность, то есть дегазация магмы на глубине продолжается, и летучие выносятся через вулканические постройки в виде фумарольных газов. Основные компоненты вулканических газов это H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , HCl , HF , H_2 , N_2 и благородные газы. Какая-то часть летучих остается в не до конца дегазированных твердых продуктах извержений — в пеплах, в пирокластическом материале, в лавах. Не все магмы выходят на поверхность Земли, образуя в коре интрузивные тела, в которых задерживается значительная часть летучих. Сколько летучих выносятся на каждом пути — предмет изучения для исследователей самых разных специальностей, — от метеорологов до физиков.

ЗАДАЧИ И НЕМНОГО ИСТОРИИ

В Курильской островной дуге не менее 50 действующих вулканов, многие из которых имеют фумарольные поля и активные вулканогидротермальные системы. Почти каждый год один или несколько вулканов Курил находятся в стадии извержения. В 2016 г. извергаются или извергались Алайд, Чикурачки, Чиринкотан и Чирпой. Основной задачей экспедиции было посетить труднодоступные Центральные Курилы, найти и отобрать вулканические газы и измерить их расходы, а также расходы термальных вод. Основной тип гидротермальных проявлений на островах — это кислые воды, которые выносят в океан растворенные в них

магматические летучие, в основном, H_2O , хлор и серу.

Много известно о вулканических газах и термальных водах крупных Курильских островов на севере и на юге Большой Курильской гряды: Парамушир, Итуруп и Кунашир. Эти острова доступны, между ними и материком существует регулярное сообщение. Первое детальное геологическое описание островов можно найти в известной монографии Г.С. Горшкова (Горшков, 1967). Статьи о газах и гидротермальных системах вулканов Эбеко, Менделеева, Головнина стали появляться в 60-е годы прошлого столетия. В 1960-е и в 1970-е гг. на труднодоступных центральных Курильских островах побывали вулканологи на шхуне «Геолог» и на сейнере «Амбон», наспех переделанном для целей научной экспедиции. Эти экспедиции работали на центральных Курилах, и по их материалам были написаны первые работы о гидротермальной деятельности центральных Курил. Книга Е.К. Мархинина и Д.С. Стратулы «Гидротермы Курильских островов», изданная в 1977 г. до сих пор служит главным пособием по гидротермальным системам Курил. Неопубликованный отчет Л.Н. Барабанова (1976) содержит беспрецедентное число химических анализов термальных вод Курил и подробные описания термопроявлений, включая фумарольные поля. Из этих работ стало известно о мощных фумаролах вулканов островов Шиашкотан, Кетой, Чирпой и Уруп, но это были чисто описательные сведения; газы не были отобраны, температуры выходов не были измерены. В 1980-е годы с появлением в Институте вулканологии ДВНЦ АН СССР НИС «Вулканолог» Центральные Курилы стали доступными для вулканологов (Подводный ..., 1992), но работы по летучим не ставились. Тем не менее, в эти годы было организовано несколько экспедиций, в которых изучались вулканические газы: на о-ва Шиашкотан и Ушишир в 1986 г., на о. Расшуа в 1987 г. Добраться до островов вулканологам безвозмездно помогали морские пограничники Камчатки. Позднее, в 2011 г., на о. Шиашкотан были проведены детальные исследования термальных вод (Калачева и др. 2014; Kalacheva et al., 2015). В 2015 г. Институтом морской геофизики ДВО РАН была организована Курильская экспедиция вдоль всей Большой Курильской гряды, в которой участнику нашего проекта И.В. Чаплыгину удалось отобрать пробы воды и газа на некоторых труднодоступных островах (Рыбин и др., 2015). Следует также упомянуть работы И.А. Меняйлова по газам вулкана Алайд,

отобранном сразу после извержений 1972 и 1981 гг. и отбор А.В. Кораблевым газов из кратера вулкана Чирпой в 1992 г. (Таган, 2009).

Итак, важнейшей задачей нашей экспедиции, в отличие от всех других Курильских экспедиций, было опробование фумарол и измерение их расходов на островах труднодоступных Центральных Курил (рис. 1). Это самая трудоемкая часть работы. К настоящему времени полевые методики работы с вулканическими газами (так называемый, «прямой» отбор) стандартизованы, и они одинаковы для специалистов в любой стране мира. Появились методы спектроскопического дистанционного измерения расходов вулканических газов, а также метод непосредственного анализа газов в месте их выхода набором специфических сенсоров — техника «МультиГаз». Не меньшей по важности задачей было опробование термальных вод и измерение их расходов. Термальные воды и сопутствующие газы отбирались на термальных площадках, а расходы измерялись в водотоках, дренирующих эти площадки. Таким образом, для каждого острова мы оценивали общий — фумарольный +

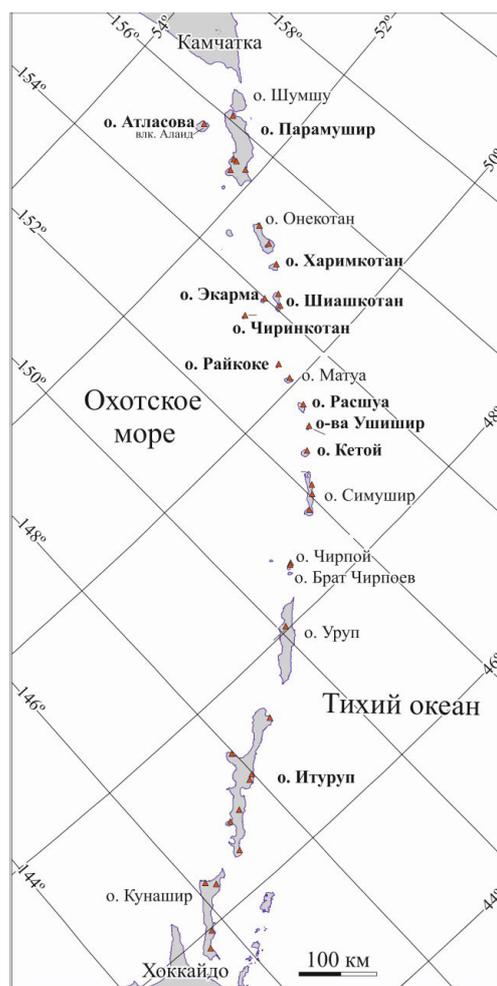


Рис. 1. Карта Курильских островов. Жирным шрифтом выделены названия островов, где работала экспедиция. Треугольниками — активные вулканы.

гидротермальный — расход магматических летучих компонентов. Две экспедиционные группы — «газовая» и «водяная» — дополнялись петрологической группой, в задачу которой входил отбор каменного материала для изучения возрастов и петрологических исследований. Для петрологов основной задачей в нашем проекте будет анализ летучих в расплавных включениях породообразующих минералов, что даст дополнительные сведения о составе и количестве летучих (H_2O , S , Cl , He) для данного вулкана и позволит оценить вынос летучих в результате извержений за определенный период.

ЭКСПЕДИЦИОННОЕ СУДНО, МАРШРУТ И ПОЛЕВОЙ ОТРЯД

Аренднованное нами экспедиционное судно «Афина» приписано к Владивостоку и принадлежит туристической компании «Восток-тур» (рис. 2). Команда судна имеет хороший опыт в проведении научных экспедиций, в основном, с биологами. Судно вмещает до 20 пассажиров, оборудовано современной системой навигации, на борту есть спутниковый интернет. Высадку на острова обеспечивала команда опытных моряков.

Мы начали работы с острова Кетой и двинулись на север, закончив основную запланированную часть экспедиции на острове Экарма. Были также высадки для сбора каменного материала на островах Райкоке, Чиринкотан, Харимкотан, Атласова. Закончили экспедицию на о-ве Парамушир (рис. 1).

В состав Курильского отряда вошли семь сотрудников Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и трое участников из Москвы (МГУ, Институт геологии рудных месторождений РАН, Институт экспериментальной минералогии РАН). «Газовая» группа была представлена специалистами самого высокого уровня, с огромным опытом работы в кратерах действующих вулканов мира. В «водяной» — гидрохимической группе, — были как опытные, так и молодые участники. В группу геологов входили опытные вулканологи и молодой, но многообещающий петролог из МГУ (рис. 3).

ОСТРОВ ЗА ОСТРОВОМ

Кетой. Об острове Кетой было известно, что там есть предвершинное фумарольное поле, кратерное озеро и несколько термальных площадок с выходами термальных вод. На этом острове мы работали с двумя ночевками на суше. Самая сложная и ответственная работа была на фумарольном поле вулкана Палласа на высоте около 800 м над уровнем моря, где были обнаружены выходы с температурой выше $700^{\circ}C$ и опробовано около десятка фумарол с температурами от 100 до $720^{\circ}C$ (рис. 4–6). Таким образом, это второй вулкан Курильских островов после вулкана Кудрявый на о. Итуруп, где обнаружены долгоживущие фумаролы с температурой выше $600^{\circ}C$. Надо отметить, что в мире известно меньше десятка вулканов с такими горячими фумаролами на неизвергающихся вулканах. УВ-спектрометром ДООС



Рис. 2. Судно «Афина» у берега о. Янкича. Фото Ю.А. Тарана.

КУРИЛЬСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ РНФ

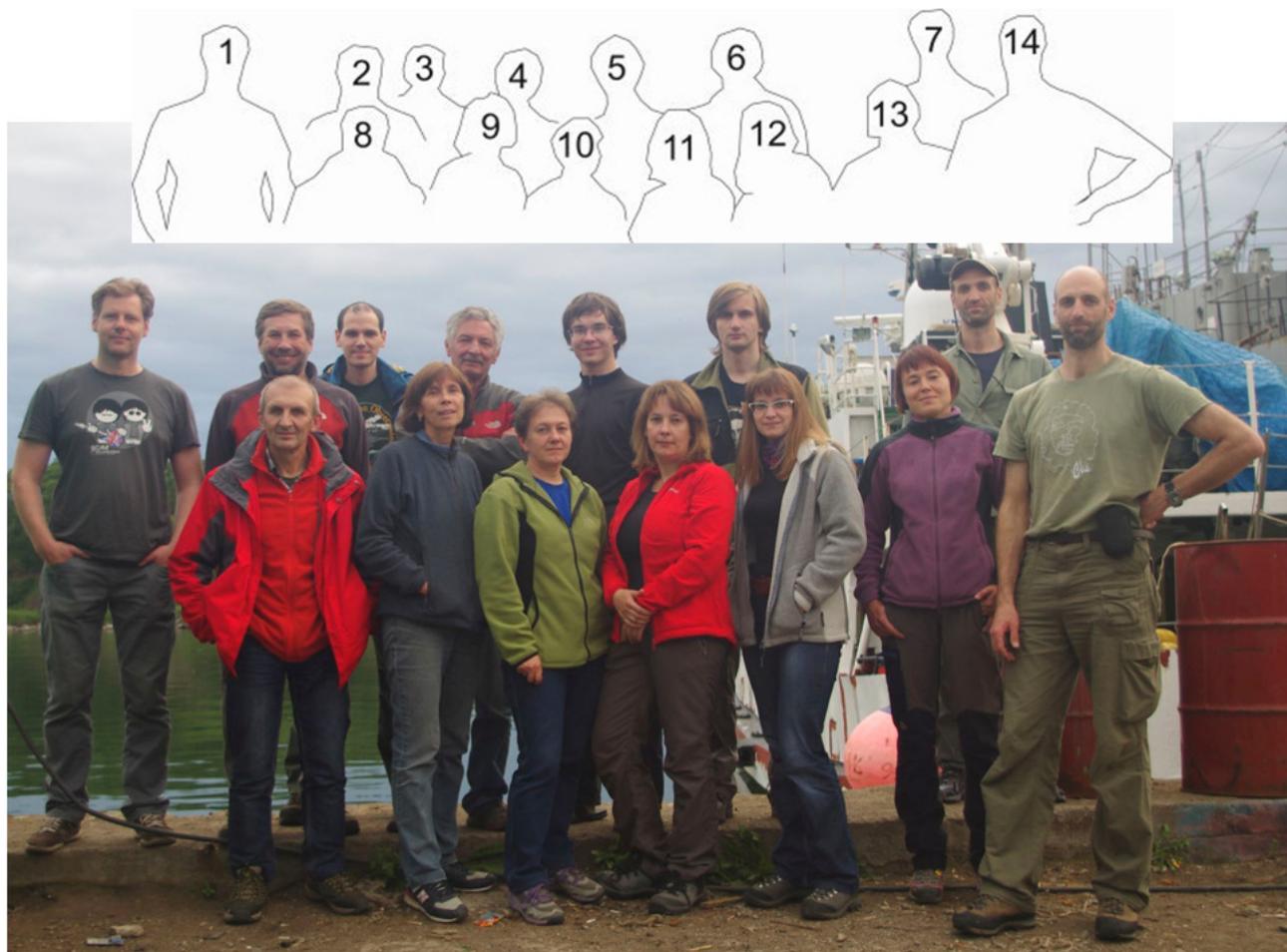


Рис. 3. Участники экспедиции. 1 — Д. В. Мельников, 2 — А.Б. Белоусов, 3 — В.Д. Щербаков, 4 — Ю.А. Таран, 5 — И.Ф. Фарберов, 6 — К.А. Тарасов, 7 — О.В. Чаплыгин, 8 — М.Е. Зеленский, 9 — М.Г. Белоусова, 10 — Т.А. Котенко, 11 — Е.Г. Калачева, 12 — Е.В. Волошина, 13 — Н.А. Малик, 14 — И.В. Чаплыгин. Фото Т.А. Котенко.



Рис. 4. Кратерное озеро Глазок на о. Кетой. Видны также фумаролы на С-В борту конуса. Фото О.В. Чаплыгина.



Рис. 5. Фумарольное поле на в. Палласа, о. Кетой. Фото И.В. Чаплыгина.



Рис. 6. Отбор газа из фумаролы на о. Кетой. Фото О.В. Чаплыгина.

с расстояния около 1 км был измерен общий расход SO_2 , который оказался весьма высоким, почти как из Активной Воронки Мутновского вулкана на Камчатке. Такие измерения проводились на Курилах нечасто. В 1995 г. был измерен расход SO_2 из вулкана Кудрявый на о. Итуруп, а в 2015 г. подобные измерения в рамках нашего проекта проводились на вулкане Эбеко (о. Парамушир). Впервые для Курильских вулканов были проведены измерения концентраций и отношений главных компонентов вулканических газов прибором «МультиГаз». Поэтому, зная расход SO_2 , можно вычислить расходы других главных компонентов — H_2O , CO_2 и H_2S . Были также взяты пробы воды из кислых источников под конусом Палласа и из кислого кратерного озера. Гидрохимическая группа совершила продолжительный маршрут к термопроявлениям верховьев ручья Горчичного в эрозионном кратере вулкана Кетой, где впервые были закартированы и опробованы многочисленные выходы кипящих вод, паровые струи и выходы спонтанного газа. Был измерен расход в устье Горчичного ручья. Верхнее гидротермальное поле о. Кетой дренируется ручьем Водопадным, впадающем в море на севере острова. Шлейф от ручья тянется в море от устья почти на километр и виден на спутниковых снимках. Был измерен



Рис. 7. Измерение расхода в устье ручья Водопадного, о. Кетой. Фото Т.А. Котенко.

расход ручья, чтобы рассчитать вынос магматических хлора и серы, растворенных в воде поверхностной гидротермальной системы (рис. 7). Следует заметить, что предыдущие измерения расходов Курильских водотоков, найденные нами в литературе, почти все сильно завышены. Мы впервые измеряли расходы инструментально, используя цифровой измеритель скорости течения, с детальным промером глубины створа. Была также отобрана большая коллекция пород вулкана Палласа и более древней постройки вулкана Кетой.

Ушишир. Остров Янкича на островах Ушишир теперь ежегодно посещается туристами, но вулканологические работы там почти не проводились с середины 1980-х годов. Гидротермальная деятельность острова за много лет почти не изменилась (Таран и др., 1993). Все те же кипящие малодобитные котлы и низкотемпературные паровые струи. На спутниковых снимках на внешнем склоне кальдеры в океане виден мощный шлейф, характерный для выходов кислых термальных вод. Он же хорошо прослеживается с борта кальдеры. Мы опробовали несколько источников, сольфатары и спонтанный газ со дна бухты Кратерной (рис. 8, 9).

Источник шлейфа на внешнем склоне мы не нашли. Видимо разгрузка кислых термальных вод осуществляется здесь со дна, близко от берега. С какой-то точностью, видимо, можно оценить гидротермальный вынос из кальдеры о. Янкича по размеру шлейфа, если использовать метод сравнения с другими шлейфами, образованными водотоками с известным расходом и составом воды.

Расшуа. Остров Расшуа известен своими «ваннами Сноу» — теплыми источниками, разгружающимися на охотоморском берегу примерно в середине острова, в литоральной зоне. После недолгих поисков мы высадились в нужном месте и отобрали пробы воды. К сожалению, в это время был прилив, и основные выходы оказались недоступными для опробования.

Шиашкотан. Гидротермальная деятельность о. Шиашкотан была изучена достаточно подробно (Мархинин и Стратула, 1977; Калачева и др., 2014; Kalacheva et al., 2015). Интересной особенностью гидрогеологии острова является система береговых нейтральных горячих источников (до 80°C). Четыре группы этих источников разгружаются на охотоморском берегу острова в литоральной зоне, окружая вулкан Синарка, — северного из двух действующих вулканов острова (рис. 2). Оба вулкана — Синарка и Кунтоминтар, — имеют мощные фумарольные поля (рис. 10, 11). На высотах 300–400 м над океаном, под вершинами обоих вулканов разгружаются



Рис. 8. Бухта Кратерная острова Янкича, о-ва Ушишир. Фото А.Б. Белоусова.



Рис. 9. Шлейф в океане показывает подводную разгрузку кислых вод на о. Янкича. Фото А.Б. Белоусова.



Рис. 10. Купол в. Синарка и кольцо фумарол верхней сомы. Фото И.В. Чаплыгина.



Рис. 11. Фумарольное поле в. Синарка. Фото О.В. Чаплыгина.

горячие кислые воды, которые дренируются ручьями, впадающими в Охотское море (вулкан Кунтоминтар) и в пролив Севергина (вулкан Синарка).

И кислые воды вулканических построек, и нейтральные воды береговых источников были достаточно подробно исследованы. Имеются сведения и о фумарольных выходах вулкана Кунтоминтар: опубликованы данные по составам двух низко-температурных фумарол, опробован-

ных в 1987 г. и одной фумаролы с температурой 480°C, опробованной в 2011 г. (Kalacheva et al., 2015). Однако остались не исследованными Северо-Восточное термальное поле вулкана Синарка с выходами кипящих нейтральных и кислых вод, фумаролы экструзивного купола вулкана Синарка и фумаролы верхней части активного кратера вулкана Кунтоминтар. За двое суток нам удалось успешно отработать оба фумарольных поля.

На вулкане Кунтоминтар было опробовано 5 фумарол с температурами до 280°C и измерен общий расход SO_2 дистанционным методом. На крутом куполе вулкана Синарка, на высоте около 800 м, несмотря на плохую погоду, были взяты пробы из четырех фумарол с температурами до 450°C. Облачность и туман не позволили провести измерения расхода SO_2 дистанционным методом, однако в разных участках купола были проведены измерения «МультиГазом» и получен хороший набор данных. Гидрохимическая группа провела детальное опробование термальных вод и паровых выходов Северо-Восточного поля, а также посетила все четыре группы береговых источников с отбором проб воды и спонтанных газов. Были измерены расходы в устьях всех водотоков, дренирующих термальные поля вулканических построек, и отобрана представительная коллекция пород.

Экарма. Вулкан Экарма после фреатического извержения 2010 г посещался вулканологами (Рыбин и др., 2012). Имеются сведения о береговых термальных источниках острова. На спутниковых снимках в прибрежной части южной стороны острова виден небольшой шлейф, указывающий на разгрузку кислых вод. Мы высадились на северной стороне острова, где имеется живописная группа теплых источников, разгружающихся из берегового обрыва (рис. 12). Здесь взяты пробы воды и пород. Следуя

опубликованным описаниям другой группы источников, мы прошли дальше к западу вдоль северной стороны острова, прошли вдоль всего южного берега, несколько раз высаживались на берег, но ничего не нашли.

Чиринкотан. Остров-вулкан Чиринкотан, расположенный в тыловой зоне Курильской дуги, в последние несколько лет эпизодически проявляет эруптивную активность. Мы подошли к острову в тумане и при сплошной облачности. Высадка на северном берегу острова позволила собрать уникальную коллекцию пород с мантийными ксенолитами, изучение которых, несомненно, даст интересные и новые результаты. Газо-гидротермальная деятельность на острове локализована только в труднодоступном кратере вулкана.

Парамушир. На Парамушире мы высадились на его северном охотоморском берегу, в устье реки Юрьева, известной тем, что выносит рекордное количество металлов в море из-под вулкана Эбеко.

Гидрохимическая группа совершила маршрут в верховья реки для очередного отбора проб из горячих ультракислых источников и измерила расход реки в устье.

Последний раз полевые работы проводились здесь той же группой в августе 2014 г (Kalacheva et al., 2016). Впервые был измерен расход и взята пробы воды в устье речки

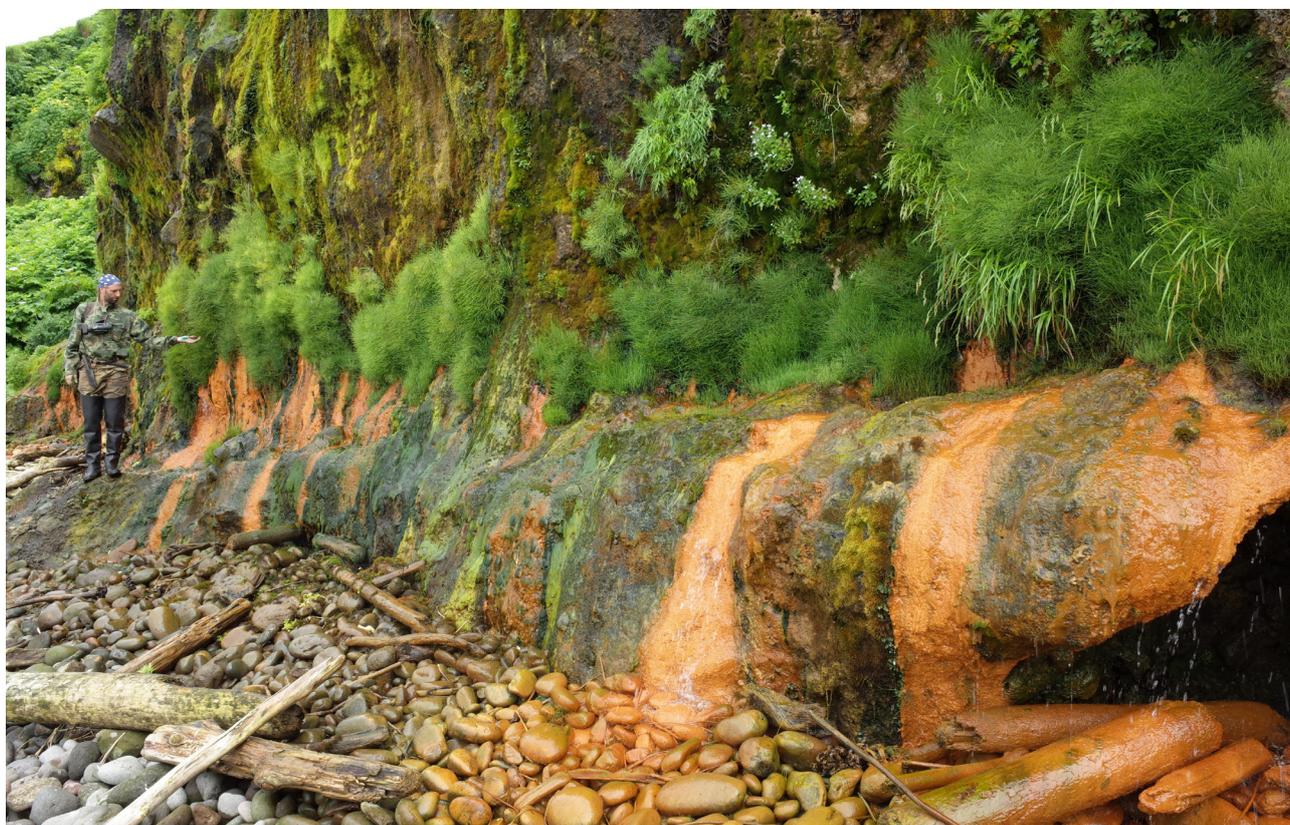


Рис. 12. Береговые термальные источники о. Экарма. Фото Ю.А. Тарана.

Горшкова, в нескольких километрах к югу от р. Юрьева. Вулканы Фусса и Чикурачки в этот раз были закрыты сплошной облачностью. Протяженный шлейф, распространяющийся в восточном направлении от кратера Чикурачки, по-видимому, нагруженный пеплом, и периодические выбросы материала на высоту примерно до 200 м над кратером были отчетливо видны вечером 21-го августа, когда судно шло на юг вдоль тихоокеанской стороны острова в начале рейса.

Атласова. Высадка на о. Атласова, на вулкан Алаид, проводилась в двух местах: на востоке возле конуса Такетоми и на севере в районе прорыва Олимпийский.

В обоих случаях были собраны образцы пород. В районе Олимпийского прорыва мы безуспешно искали выходы термальных вод к западу от лавового потока 1972 г., обнаруженные в 1973 г. Увидеть вершину вулкана, где в кратере уже некоторое время отмечается эруптивная активность, нам не удалось из-за сплошной облачности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспедиция по центральным Курильским островам, поддержанная проектом РФ 15-17-20011, закончилась успешно и позволила получить много новых важных результатов о фумарольной и гидротермальной активности вулканов о-вов Кетой и Шиашкотан. В частности, на вулкане Палласа о. Кетой обнаружены стационарные газовые выходы с температурой выше 700°C. На вулканах о-ва Шиашкотан проведено массовое опробование фумарол с температурами от 100 до 450°C. Фумаролы вулкана Синарка были опробованы впервые. Также впервые дистанционными методами измерены расходы SO₂ из вулканов Палласа и Кунтоминтар.

Впервые проведены измерения составов вулканических газов непосредственно на фумарольных полях техникой «МультиГаз». Впервые проведено детальное исследование термальных выходов на о. Кетой в бассейне р. Горчицкого, а также на Северо-Восточном термальном поле вулкана Синарка (о. Шиашкотан).

Отобрано большое число водных и газовых проб из термальных источников на островах Кетой, Ушишир, Расшуа, Шиашкотан, Экарма и Парамушир. Собрана большая коллекция пород, в том числе мантийных ксенолитов с о. Чиринкотан. Последующая аналитическая работа с образцами с использованием современных методов химического и изотопного анализа, безусловно, даст важные и новые результаты.

В 2017 г. мы планируем работы на о-вах Черные Братья (вулкан Чирпой) и Уруп (вулканы Берга и Ивао). Для работы на этих островах нам также придется арендовать судно.

Список литературы

- Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
- Калачева Е.Г., Котенко Т.А.* Гидрогеохимия западного склона вулкана кунтоминтар (о. Шиашкотан, Курилы) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 12–26.
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Ответственный редактор академик Ю.М. Пушаровский. М.: Наука, 1992. 528 с.
- Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Кравчуновская Е.А. и др.* Слабое фреатическое извержение вулкана Экарма (Курильские о-ва) в июне 2010 г. как возможный предвестник его будущего сильного магматического извержения // Вулканология и сейсмология. 2012. № 5. С. 13–24.
- Таран Ю.А., Гавриленко Г.М., Гричук Д.В., Чертова Л.В.* Геохимическая модель гидротермальной системы вулкана Ушишир, Курильские острова // Вулканология и сейсмология. 1993. С. 55–68.
- Мархинин Е.К., Стратула Д.С.* Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.
- Рыбин А.В., Богомолов Л.М., Дегтерев А.В. и др.* Полевые вулканологические и экологические исследования на Курильских островах в 2015 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 4. Вып. 28. С. 94–99.
- Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T.* Geochemistry and solute fluxes of volcano-hydrothermal systems of Shiashkotan, Kuril Islands // J. Volcanology and Geothermal Researches. 2015. V. 296. P. 40–54.
- Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T., et al.* Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur // J. Volcanology and Geothermal Researches. 2016. V. 310. P. 118–131.
- Taran Y.* Geochemistry of volcanic and hydrothermal fluids and volatile budget of the Kamchatka-Kuril subduction zone // Geochimica et Cosmochimica acta. 2009. V. 73. № 4. P. 1067–1094.

Ю.А. Таран, д.г.-м.н.,
руководитель проекта,
г.н.с. ИВиС ДВО РАН
Е.Г. Калачева, к.г.-м.н.,
координатор проекта,
зав. лабораторией ИВиС ДВО РАН