

О НАПРАВЛЕНИЯХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ВУЛКАНАМИ СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ

А.И. Малышев¹, Н.А. Жаринов², Ю.В. Демянчук²

¹Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, malyshev@igg.uran.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатская вулканологическая станция, Ключи

Прошлое. Начало систематических вулканологических исследований на Камчатке было заложено выдающимися учеными – академиками Ф.Ю. Левинсон-Лессингом и А.Н. Заварицким [Влодавец, 1974; Влодавец и др., 1985]. А.Н. Заварицкий писал, что изучение вулканизма, в особенности активных вулканов, имеет исключительное значение для понимания явлений, происходящих в различных частях земного шара. В вулканизме непосредственно проявляется энергия, связанная с глубинными областями нашей планеты, здесь ближе всего можно подойти к пониманию природы магмы. И в 1929 г. Ф.Ю. Левинсон-Лессинг вносит в Тихоокеанский комитет при АН СССР на обсуждение план вулканологических исследований на Камчатке, которые предполагалось проводить не только экспедиционным путем, но и стационарно с организацией специального учреждения вблизи действующих вулканов, а конкретно – вблизи Ключевской группы вулканов. После ряда экспедиций, проведенных в 1931–1935 гг., в августе 1935 г. в пос. Ключи прибыл вулканологический отряд во главе с В.И. Влодавцем, и с сентября 1935 г. Камчатская вулканологическая станция АН СССР начала наблюдения за камчатскими вулканами.

В соответствии с программой работ, составленной академиком Ф.Ю. Левинсон-Лессингом, «перед Вулканологической станцией были поставлены широкие научные задачи: накопление данных о морфологии и строении вулканов, о характере вулканической деятельности и типах извержений; изучение вещественного состава вулканических продуктов – газов, возгонов, бомб и других пирокластических выбросов; выявление химического состава лав и закономерностей его изменения; оценка возможностей использования вулканических продуктов в народном хозяйстве; систематические наблюдения и исследование характера вулканической деятельности (каждого активного вулкана в отдельности) в целях накопления признаков по предвидению извержений» [Влодавец, 1974, с. 4]. Как можно видеть, в основу программы работ Вулканологической станции была положена наблюдательная вулканология, и именно поэтому станция была открыта в пос. Ключи, вблизи наиболее активных вулканов Камчатки – Ключевского, Шивелуча и Толбачика. В 1955 г. к числу этих вулканов добавился проснувшийся после длительного периода покоя Безымянный.

Концентрация сил и средств зарождающейся советской вулканологии на изучении действующих вулканов не замедлила принести свои плоды – классикой мировой вулканологии стали работы А.А. Меняйлова [1955], Б.И. Пийпа [1956], Г.С. Горшкова и Г.Е. Богоявленской [1965], в которых подробные описания геологии действующих вулканов сочетаются с еще более подробными наблюдениями за процессом их извержений.

В 1943 г. постановлением Президиума АН СССР Камчатская вулканологическая станция была преобразована в Лабораторию вулканологии с Вулканологической станцией на Камчатке. Основными задачами Лаборатории вулканологии стали «разработка теоретических вопросов вулканизма и изучение продуктов вулканической деятельности на примере действующих и потухших вулканов» [Влодавец и др., 1985, с. 7]. Уже в этой формулировке задач Лаборатории вулканологии заметен некоторый отход от наблюдательной вулканологии и смещение акцентов в направлении теоретических построений на основе вулканической геологии. В принципе это смещение акцентов в сторону геологического изучения вулканических объектов для своего времени было вполне оправданным, так как с организацией Лаборатории вулканологические исследования расширились и включили территорию Камчатки, Курильских островов, Сахалина, Приморья, Закарпатья, Кавказа, Монголии. Среди огромнейшего числа вулканических структур, ставших объектами исследований, 52 активных вулкана Камчатки и Курильских островов составляли незначительную часть. А поскольку большинство из числа активных вулканов

извергаются крайне редко (из 52 вулканов хотя бы раз находились в состоянии извержения за последние 100 лет лишь 17, за последние 10 лет – лишь 7 вулканов), то вполне естественно, что на общем фоне массового развития вулканической геологии наблюдательная вулканология (документирование и изучение процесса вулканических извержений) становилась все более экзотическим направлением исследований.

В 1962 г. на базе Лаборатории вулканологии, Камчатской геолого-геофизической экспедиции, Камчатской комплексной экспедиции и Петропавловской геофизической станции постановлением Президиума АН СССР в г. Петропавловск-Камчатский был образован Институт вулканологии СО АН СССР [Федотов, 1983]. Одновременно с образованием Института вулканологии в его составе была создана лаборатория, ориентированная на изучение активных эруптивных процессов на вулканах Камчатки. Первоначально она получила название Лаборатория наземного вулканизма, в последующем лаборатория была разделена на две: часть сотрудников осталась работать в лаборатории с прежним названием, а другая, исследующая динамические процессы на вулканах, объединилась в Лабораторию активного вулканизма. В 2004 г. это подразделение получило свое современное название – Лаборатория активного вулканизма и динамики извержений.

Предполагалось, что изучение эруптивного процесса Лаборатория будет осуществлять в ходе экспедиционных работ, оперативно выезжая на извергающиеся вулканы. На практике этот расчет оправдался применительно к таким длительным извержениям, как побочные прорывы вулкана Ключевского и Большое трещинное Толбачинское извержение 1975–1976 гг. В частности, выполненные в ходе экспедиционных работ детальные наблюдения за развитием БТТИ [Большое..., 1984] заняли достойное место среди работ по наблюдательной вулканологии. В то же время, практика показала, что прямое изучение эруптивного процесса кратковременных и быстро протекающих процессов (например, на вулкане Безымянном) при помощи экспедиций невозможно. Исследователи оказывались на вулкане уже после завершения извержения, и поэтому изучение эруптивного процесса в таких обстоятельствах в лучшем случае сводилось к попыткам реконструкции процесса извержения на основании изучения его последствий.

Для Камчатской вулканостанции создание Института вулканологии обернулось сокращением ресурсной базы, оттоком исследовательских кадров и, в том числе, выводом из ее состава наиболее квалифицированных специалистов в области наблюдательной вулканологии. К началу 80-х годов прошлого века вулканологические исследования, выполнявшиеся самой Вулканостанцией, приобрели четко выраженный геодезический профиль и были ориентированы на исследование деформаций земной поверхности геодезическими методами на Ключевском и Усть-Камчатском геодинамических полигонах для оценки состояния вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуч и оценки сейсмической опасности района пос. Усть-Камчатск.

«Присматривать за вулканами» и передавать оперативные данные визуальных наблюдений вменялось в обязанность дежурным операторам сейсмических станций, стационарных (Ключи, Козыревск) и полевых (Подкова, Апахончич, Водопадный). К концу 80-х годов прошлого века в связи с развитием сети радиотелеметрических сейсмических станций полевые сейсмические станции были законсервированы, и единственным скудным источником информации о закономерностях эруптивного процесса активно извергающихся вулканов Северной группы стали визуальные наблюдения из поселков Ключи и Козыревск.

Настоящее. В конце 80-х годов произошло резкое сокращение потока информации о состоянии и извержениях вулкана. В связи с переводом сети сейсмических станций на телеметрическую передачу данных в 1989 г. была законсервирована с/ст Апахончич, т.е. прекратил свое существование единственный в юго-восточном секторе вулкана наблюдательный пункт, из которого десятилетиями круглогодично поступала первичная информация о состоянии вулкана Безымянный. Ухудшение в 90-е годы прошлого века общего экономического положения в стране также не способствовало проведению в районе вулкана экспедиционных работ и таких дорогостоящих видов наблюдений, как аэрофотосъемка и аэровизуальные осмотры состояния и изменений в постройке вулкана. В связи с этим информация о динамике извержений вулкана в последние 20 лет практически отсутствует.

В 1993 г. начала работу Камчатская группа реагирования на вулканические извержения KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) [Кириянов и др., 2003; Гирина и др., 2004, Гирина, 2008], созданная как совместный проект ученых Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатской опытно-методической сейсмической партии (КОМСП) Геофизической службы РАН и Аляскинской вулканологической обсерватории (АВО), США. Первоначально группу KVERT со стороны российских исследователей представляли О.А. Чубарова и В.Ю. Кириянов, со стороны службы дистанционного наблюдения за вулканами АВО – Т. Миллер. С 2002 г. руководителем российской части проекта является О.А. Гирина.

Цель проекта KVERT – уменьшение риска от возможного разрушительного воздействия вулканического пепла на самолеты при извержениях вулканов, то есть для предотвращения возможных материальных потерь и гибели людей. Степень опасности вулканов для авиации определяется на основе мониторинга сейсмических, спутниковых, визуальных и видео данных.

Сейсмический мониторинг группой KVERT осуществляется на базе данных, поступающих с сети радиотелеметрических сейсмических станций. Из 36 станций этой сети (по состоянию на октябрь 2009 г.) в непосредственной близости от Безымянного расположено 6 станций: Зеленая (08.1988), Копыто (10.1997), Киришева (08.2006), Безымянный (09.2006), Безымянный Грива (09.2007), Безымянный Запад (09.2007). Как можно видеть, плотность сети в районе вулкана за последние годы утроилась. Обслуживание станций осуществляет КОМСП (зав. отделом радиотелеметрических сейсмических станций В.В. Яцук), обработку и интерпретацию поступающих сейсмических данных выполняет лаборатория исследований сейсмической и вулканической активности (зав. лабораторией С.Л. Сеньюков).

Данные спутниковых наблюдений KVERT получает из АВО и, начиная с 2002 г., из Дальинформгеоцентра (Сахалин) МПР России. Из последнего источника ИВиС получает и интерпретирует снимки TERRA MODIS. Помимо этого с сентября 2002 г. лаборатория исследований сейсмической и вулканической активности КОМСП ведет обработку и интерпретацию данных датчика AVHRR (спутника серии NOAA).

Визуальные наблюдения за вулканом на постоянной основе осуществляются со стационарной сейсмической станции, расположенной в пос. Козыревск. Здесь же 20 августа 2003 г. установлена постоянно действующая и направленная на вулкан видеокамера, данные которой в режиме реального времени доступны всем пользователям Интернета (<http://data.emsd.iks.ru/videosv1/videokzy.htm>).

Как можно видеть, в последнее десятилетие произошло существенное развитие дистанционных методов наблюдения за вулканом, что позволяет группе KVERT не только успешно решать применительно к Безымянному поставленную задачу – уменьшение риска от возможного разрушительного воздействия вулканического пепла на самолеты при извержениях вулканов, но и предсказывать его отдельные эксплозивные извержения.

К сожалению, все эти достижения несколько омрачает по-прежнему низкая, после закрытия с/ст Апахончич как постоянного пункта наблюдений – практически нулевая, информативность дистанционных методов наблюдений в отношении динамики развития рядовых извержений вулкана. Визуальные и видеонаблюдения за вулканом со стороны Козыревска позволяют регистрировать лишь процесс образования пепловых туч над вулканом, а в ночное время (в лучшем случае) – свечение в районе вершинной части купола и/или подсветку основания фумарольного столба. При этом основная часть процессов, протекающих на вулкане, остается недоступной для наблюдений.

Прогноз образования облаков вулканического пепла и отслеживание путей их перемещения – задача, безусловно, важная, имеющая большое прикладное значение. И, тем не менее, эта задача к изучению процесса вулканических извержений и, на основе этого изучения, к выявлению наиболее общих закономерностей развития реальных магматических систем в приповерхностных условиях имеет весьма отдаленное отношение. В то же время, если исключить из рассмотрения задачу прогноза и отслеживания перемещения пепловых облаков, то неизбежен вывод об отсутствии систематического изучения процесса извержений Северной группы вулканов. Даже

действующие в настоящее время видеокамеры по захвату изображения и его разрешению ориентированы в основном на регистрацию подъема пепловых столбов над вулканом.

Что касается практически непрерывно извергающихся вулканов Ключевского и Шивелуча, то процесс их извержений хотя бы документируется фоторегистратией из пос. Ключи (по мере сил, возможностей и во многом благодаря энтузиазму сотрудников Вулканостанции). Однако и с документированием извержений Ключевского вулкана имеются проблемы – его юго-восточный сектор, на котором расположена крупная привершинная эрозионная структура (шарра) после закрытия с/ст Апахончич стал недоступен для систематических наблюдений. Еще хуже обстоят дела с вулканом Безымянным – его извержения из-за отсутствия возможности для наблюдений не только не изучаются, но и не документируются. Описания извержений этого вулкана, как правило, воссоздаются при помощи реконструкций, основывающихся на вариациях его сейсмичности, спутниковых снимках последствий извержений и осмотрах этих последствий с вертолета. В свою очередь интерпретация сейсмических данных, без ее верификации прямыми наблюдениями за процессом извержений, на быстро эволюционирующем вулкане с течением времени становится все более неоднозначной.

Таким образом, в настоящее время процесс извержений наиболее активных вулканов России, входящих в состав Северной группы и практически непрерывно извергающихся в последние десятилетия, – Ключевского, Шивелуча и Безымянного, практически не изучается, а иногда даже и не документируется.

Перспективы на будущее. Подобную ситуацию трудно признать допустимой. Значение первичных вулканологических наблюдений огромно (см., например, [Малышев, 2010]), а пропуски в ряду наблюдательных данных, к величайшему сожалению, невозможны. В связи с этим представляется необходимым восстановить полноценное функционирование Камчатской вулканологической станции как центра наблюдений и сбора информации о процессах, протекающих на действующих вулканах Северной группы, т.е. восстановить первоначальное значение, которое придавалось Камчатской вулканологической станции в планах Ф.Ю. Левинсон-Лессинга. И в соответствии с этими планами создать центры сбора и систематизации информации по каждому из активно действующих вулканов Северной группы, включающие, кроме режимных наблюдений, результаты тематических и специализированных исследований по процессам извержений.

Наиболее тяжелая ситуация сложилась с наблюдениями за извержениями вулканов Ключевского и Безымянного с восток-юго-восточного направления в связи с закрытием в конце 80-х годов постоянно действовавшего пункта стационарных наблюдений Апахончич. Создавать (восстанавливать) в восточном секторе Северной группы вулканов постоянно действующий наблюдательный стационар экономически невыгодно и нецелесообразно из-за отсутствия задач, которые могли бы решать наблюдатели в иногда довольно длительные периоды покоя вулканов. Представляется, что на первоначальном этапе оптимальным выходом была бы ориентировка на разворачивание в дополнение к сети действующих в этом секторе телеметрических сейсмических станций сети видеокамер, данные которых можно было бы использовать для фотограмметрической обработки. Это позволило бы оперативно и непрерывно получать информацию для количественных оценок процесса извержения (в том числе – по объемам продуктов).

Следует отметить, что нередко как крупные, так и рядовые извержения предваряются деформациями постройки вулканов (из крупных, например, Безымянный 1956 г., Сент-Хеленс 1980 г.). Эти деформации являются характерной чертой рядовых извержений Безымянного, нередко за 1.5–2 месяца предвеляя эксплозивную кульминацию извержения [Малышев, 1995; Двигало, 2000]. Собственно из наличия деформаций сам факт последующего эксплозивного извержения не следует. Все определяют количественные характеристики развития деформационно→экструзивного процесса, а именно – наличие или отсутствие «лавинообразных» характеристик в активизации вулкана. Лавинообразность активизации приводит к эксплозивно-эффузивному извержению на пике активности, а ее отсутствие – к стационарному развитию затяжного экструзивно-эффузивного извержения (август–декабрь 1981 г., июль–ноябрь 1985 г.,

первая половина 1987 г. и т.п.). В связи с этим сам факт появления в вершинной части Безымянного деформаций и экстрезивных блоков не может однозначно считаться, как это предлагается в [Двигало, 2000], предвестником извержений. Фотограмметрическая обработка видеонаблюдений и оценка количественных характеристик деформационно→экстрезивного процесса могла бы устранить эту неоднозначность и обеспечить количественный (объемы) и качественный (формы извержения) прогноз дальнейшего развития извержения.

В свою очередь, прогноз развития извержения позволил бы при необходимости разворачивать экспедиционные работы еще на предкульминационной стадии извержения и проводить более детальные и технически оснащенные исследования процессов кульминационной стадии извержения. Собственно говоря, именно такой подход позволил одному из авторов этого доклада получить в 1980–1987 гг. достаточно представительный ряд наблюдений за извержениями вулкана [Малышев, 2000]. В настоящее время зона начальных деформаций в вершинной части Безымянного лучше всего просматривается из южного сектора – с северных отрогов Зиминых Сопок. Поэтому первые видеокамеры было бы логично разместить именно здесь. Кроме того известно [Свирид и др., 2007], что активное жерло каждого извержения вулкана имеет свои координаты, не всегда совпадающие с центрами активности предыдущих и последующих извержений. Миграция жерл происходит в зоне на вершине купола, ограниченной радиусом около 150 м. Отслеживание этой миграции в совокупности с контролем структурной устойчивости вулкана позволили бы контролировать вероятность пароксизмальных разрушений постройки Безымянного, подобных извержению летом 1985 г. [Малышев и др., 2009; Malyshev, Demjanichuk, 2010].

Следует отметить и определенную новизну метода. Чем ближе к центру активности, тем более выраженным там должен быть деформационный процесс на начальных стадиях активности вулкана. Несмотря на всю очевидность этого положения, в настоящее время практикуется, как правило, мониторинг деформаций на склонах вулканов, достаточно удаленных от центров активности (см., например, [Бахтияров, 2008; Ramirez-Ruis et al., 2010]). С помощью стереовидеонаблюдений возможно прямое и непрерывное отслеживание деформаций в самих центрах активности.

В развитие первоначального этапа наземных дистанционных методов наблюдения за вулканами Северной группы аналогичные системы стереовидеонаблюдений можно было бы установить для контроля деформационного и эруптивного процессов на вулканах Ключевской и Шивелуч. Для Ключевского, как уже отмечалось, эти наблюдения особенно актуальны с юго-восточного сектора. Для этого часто и активно извергающегося вулкана из-за отсутствия наблюдений можно, в частности, пропустить частичное разрушение (оползание) прикратерной части постройки в недоступном для наблюдений из Ключей южном и юго-восточном секторе. Что касается Шивелуча, то многое из сказанного о вулкане Безымянном, правомерно применительно и к наблюдениям за извержениями Шивелуча. Многие эпизоды эксплозивной активности, как показывают наблюдения из пос. Ключи, предваряются нарастанием активности экстрезивного процесса. Стереовидеоконтроль деформационно-экстрезивных процессов с полевых видеокамер позволил бы оперативно отслеживать количественные характеристики этого процесса и прогнозировать его развитие. Поскольку Шивелуч находится в состоянии практически непрерывного извержения уже три десятилетия, то в отличие от эпизодически извергающегося Безымянного, на нем при помощи видеонаблюдений можно было бы решать ряд дополнительных задач, непосредственно связанных с изучением процесса извержения. В частности, активность Шивелуча позволяет набрать представительную статистику по кинематике развития процессов от обычных обвальных каменных лавин до мощных пирокластических потоков со всеми промежуточными разностями и, тем самым, дать количественную оценку проявления эффекта автоэксплозивности в этих процессах.

На последующих этапах развития дистанционных наземных методов слежения возможна доукомплектация полевых автоматических станций приборами дистанционного мониторинга газовой активности вулканов. Дистанционный мониторинг газовой активности вулканов в настоящее время активно и успешно развивается во всем мире (см., например, [Martin et al., 2010; Padryn et al., 2010; Pйrez et al., 2010]). Однако далеко не везде встречаются столь часто и активно

извергающиеся вулканы, позволяющие отследить изменения газового состава непосредственно в ходе извержений, и выявить закономерности этого процесса.

В целом все вышеперечисленное позволило бы существенно повысить информативность наблюдений за вулканами Северной группы и восстановить роль Камчатской вулканологической станции как передового опорного пункта для изучения процессов вулканических извержений.

Список литературы

- Бахтиаров В.Ф.** Результаты обработки постоянных GPS пунктов на вулкане Безымянный в 2006–2007 гг. // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Т.1. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 42–49.
- Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975–1976 гг. М.: Наука, 1984. 638 с.
- Влодавец В.И.** Начало // Бюлл. вулканологических станции. 1974. № 50. С. 3–5.
- Влодавец В.И., Набоко С.И., Федотов С.А.** К 50-летию советской вулканологии // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 3–15.
- Гирина О.А.** 15 лет деятельности Камчатской группы реагирования на вулканические извержения // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 27–29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 52–59.
- Гирина О.А., Сениюков С.Л., Нил К.А.** Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (проект KVERT) в 2002–2004 гг. // Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями вулканов в вулканических дугах: Мат-лы IV междунар. совещ. по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 31–32.
- Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е.** Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения (1955–1963 гг.). М.: Наука, 1965. 170 с.
- Двигало В.Н.** Морфологические предвестники (первые признаки) активизации некоторых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 3–20.
- Кирьянов В.Ю., Нил К.Э., Гордеев Е.И., Гирина О.А., Миллер Т.П.** Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT) // USGS Fact Sheet 064-02, 2003.
- Малышев А.И.** Динамика эруптивной активности вулкана Безымянный в 1986–1987 гг. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 3. С. 16–27.
- Малышев А.И.** Жизнь вулкана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 260 с.
- Малышев А.И.** Значение первичных вулканологических наблюдений для развития современной науки // Мат-лы Всероссийской конференции посвященной 75-летию Камчатской вулканологической станции. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010.
- Малышев А.И., Демянчук Ю.В., Малышева Л.К.** Возможность деформационного прогноза пароксизмальных направленных извержений вулканов с переходной экструзивно-стратовулканической структурой постройки // Вулканизм и геодинамика: мат-лы IV Всеросс. симп. по вулканологии и палеовулканологии. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 633–636.
- Меняйлов А.А.** Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. лаб. вулканологии АН СССР. М., 1955. 264 с.
- Пийп Б.И.** Ключевская сопка и ее извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. Вып. 11. М., 1956. 311 с.
- Свирид И.Ю., Шевченко А.В., Двигало В.Н.** Морфология кратера вулкана Безымянный по данным аэрофотограмметрических наблюдений 2006 г. // Мат-лы ежегодной конф., посвященной дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 95–100.
- Федотов С.А.** 20 лет Института вулканологии (краткий очерк возникновения и развития, достижения, перспективы) // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 98–105.
- Ramirez-Ruiz Ju.J., Santiago-Jimenez H., Alatorre-Chavez E., Breton-Gonzalez M.** Deformation Monitoring at Volcan de Colima, Mexico and Its Implications to the Risk of Communities Around the

Volcanic Edifice During the Recent Activity Phase (1998–2010) // Cities on Volcanoes 6th, Tenerife 2010. CoV6/1.3/P/10. Puerto de la Cruz: ITER, 2010. P. 81.

Malyshev A.I., Demyanchuk Ju.V. The Deformation Prediction Possibility for Paroxysmal Directed Eruptions (on the Example of Bezymianny Volcano Eruptions) // Cities on Volcanoes 6th, Tenerife 2010. Puerto de la Cruz: ITER, 2010. P. 33–34.

Martin R.S., Sawyer G.M., Spampinato L. et al. A total volatile inventory for Masaya volcano, Nicaragua // Cities on Volcanoes 6th, Tenerife 2010. Puerto de la Cruz: ITER, 2010. P. 6.

Padryn E., Melian G., Barrancos J. et al. Fumarole and Plume H₂S Emission from Active Volcanoes // Cities on Volcanoes 6th, Tenerife 2010. Puerto de la Cruz: ITER, 2010. P. 13.

Pérez N.M., Hernández P.A., Padilla G. et al. Global CO₂ Emission From Volcanic Lakes // Cities on Volcanoes 6th, Tenerife 2010. Puerto de la Cruz: ITER, 2010. P. 11.