

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ МУТНОВСКОГО ВУЛКАНА

Ю.А. Кугаенко, И.Н. Нуждина

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
Петропаловск-Камчатский, 683006; e-mail: ku@emsd.ru

В 2008 г. в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов установлены две радиотелеметрические сейсмические станции: «Мутновка» (MTV) и «Асача» (ASA) (рис.1). Совместно со станциями «Горелый» (GRL) и «Русская» (RUS) они образовали локальную сеть для детального сейсмического мониторинга этого района. С ноября 2008 г. станции MTV и ASA находились в опытной эксплуатации, а в конце декабря 2008 г. их потоки данных введены в оперативную обработку.

Станция MTV расположена на северо-восточном гребне Мутновского вулкана на высоте 1394 м в пределах разломной структуры ССВ простирания, рассматривающейся в настоящее время как глубинная зона совместного теплового питания Мутновского вулкана и Мутновской гидротермальной системы. Расстояние до активного кратера около 3 км. Станция оборудована трехкомпонентным комплектом короткопериодных сейсмометров СМ-3 и имеет характеристики, стандартные для Камчатской радиотелеметрической сети: аналоговая запись по скорости, рабочий частотный диапазон 0.7-20 Гц, динамический диапазон 54 дБ. Передача данных ведется в режиме реального времени по радиоканалу на приемный центр КФ ГС РАН, где осуществляется цифровая запись сейсмического сигнала и оперативная обработка землетрясений. По уровню фонового сейсмического сигнала станция соответствует мировым требованиям.

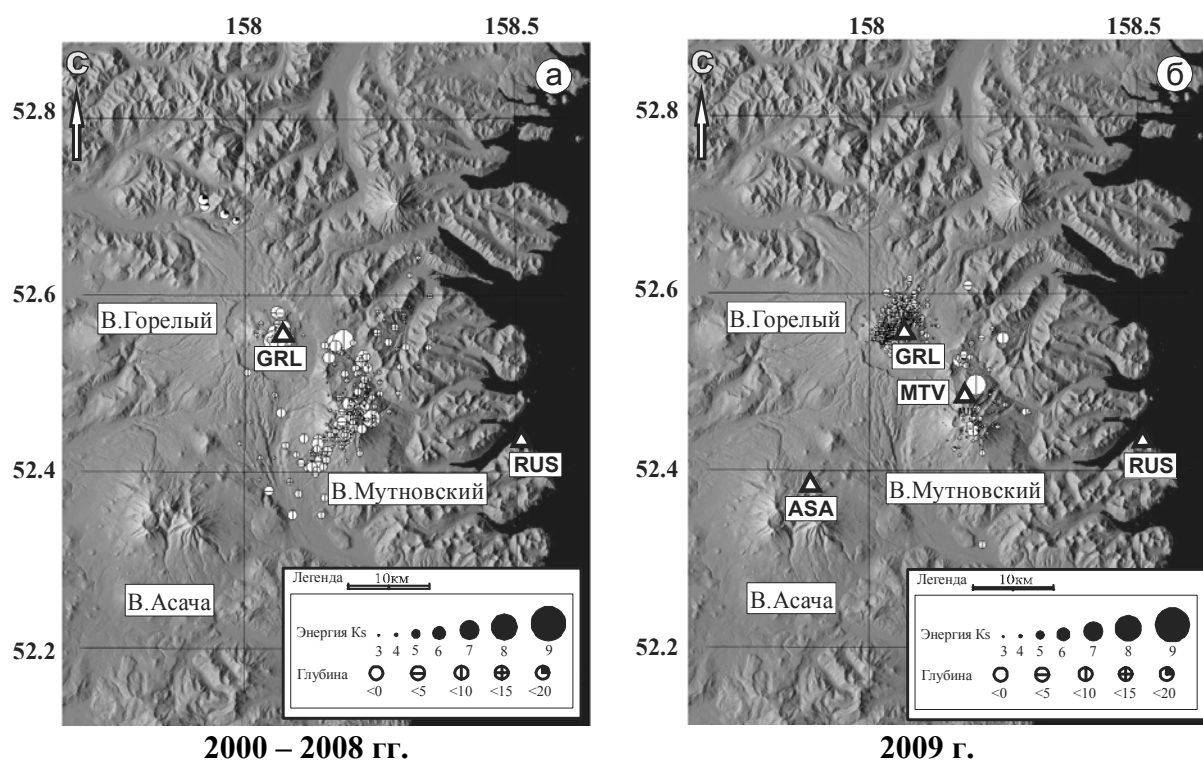


Рис.1. Карта эпицентров поверхностных землетрясений Мутновско-Гореловского района, глубина гипоцентров до 25 км. (По базе данных вулканических землетрясений Мутновско-Гореловского района). а– 2000-2008 гг.; б– 2009 г. Треугольниками отмечены сейсмические станции Камчатской региональной сети.

С 2000 г. для Мутновско-Гореловского района в КФ ГС РАН составляется отдельный каталог вулканических землетрясений, включающий на 01.01.2010 более 3000 событий. Их основная часть имеет энергетический класс ниже уровня надежной регистрации для камчатской региональной сети по Южной Камчатке. Эпицентры землетрясений этого каталога приведены на рис.1. С введением в

оперативную обработку данных новых станций MTV и ASA для Мутновско-Гореловского района понизился уровень надежной регистрации до $K=4.5$, улучшилась детальность определения координат сейсмических событий роя 2008-2009 гг. на вулкане Горелом, начато исследование землетрясений из постройки Мутновского вулкана.

Детальный анализ сейсмических записей станции MTV выполнен нами для периода с ноября 2008 г. по август 2009 г.

Наряду со слабыми тектоническими землетрясениями в западной части постройки Мутновского вулкана зафиксированы рои низкочастотных сейсмических сигналов (рис. 2, 3). Основная часть сейсмической энергии приходится на частотный диапазон 1-3 Гц. Характерные вступления волн отсутствуют. Важной особенностью рассматриваемых землетрясений является их схожесть по форме записи. Корреляция волновых форм в отдельных случаях превышает 0.9 (рис.4). Азимут от станции MTV на эпицентр составляет $206-231^\circ$, что соответствует направлению на Активный кратер Мутновского вулкана (рис.5).

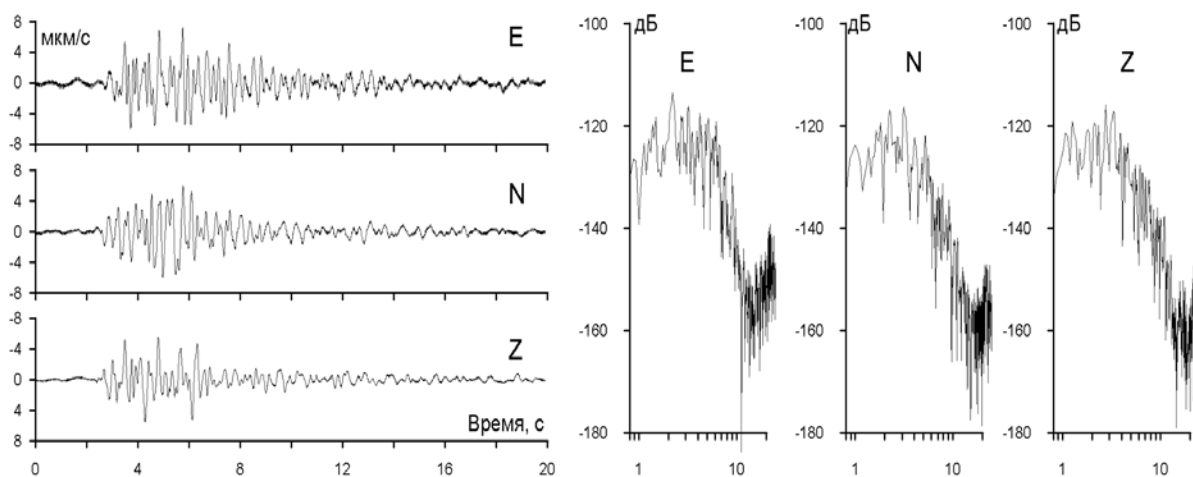


Рис.2. Пример записи низкочастотного землетрясения, зарегистрированного станцией MTV 9 декабря 2008 г. в 20 час. 12 мин. Азимут на источник сейсмического излучения соответствует направлению на Активный кратер Мутновского вулкана.

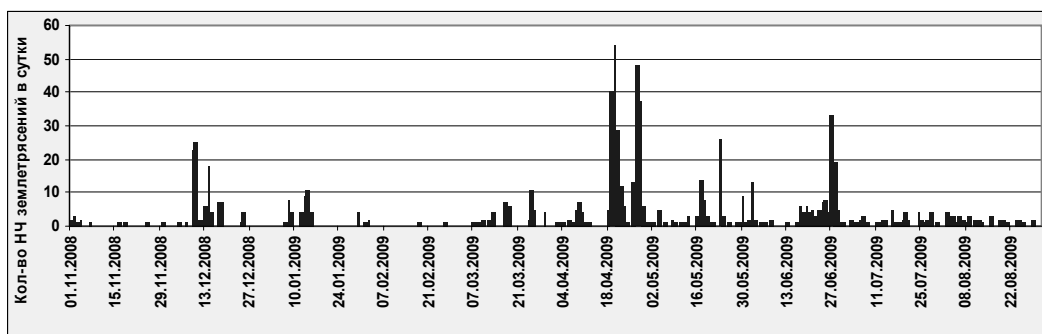


Рис.3. Распределение низкочастотных землетрясений, зарегистрированных станцией MTV, во времени. Наблюдается рывочный характер активности.

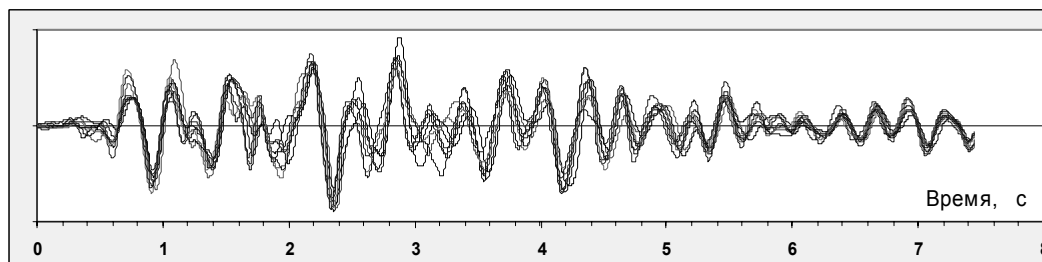


Рис. 4. Волновые формы низкочастотных землетрясений роя, который произошел на Мутновском вулкане в декабре 2008 г. Амплитуды нормированы на дисперсию сигнала. Корреляция волновых форм $k = 0.85 \div 0.90$. Проиллюстрирована высокая идентичность записей.

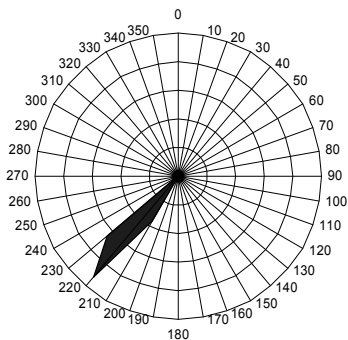


Рис.5. Круговые диаграмма для станции MTV, иллюстрирующая направление на источник для первых вступлений сейсмических волн от низкочастотных землетрясений.

Всего с ноября 2008 г. по август 2009 г. зафиксировано около 800 низкочастотных сейсмических событий. Их распределение во времени неравномерно. Наиболее существенные рои были отмечены в середине декабря 2008 г., в апреле и июне 2009 г. (рис.3)

Низкочастотные (длиннопериодные) землетрясения зафиксированы и изучались на многих вулканах мира, например [2, 5, 8-10, 14, 15]. В вулканологической практике такие события рассматриваются как проявление неструктивной вулканической активности, связанной с процессами дегазации и спонтанного вскипания флюида в недрах вулкана. Для Мутновского вулкана источником таких сигналов может выступать зона ретроградного кипения малоглубинного магматического очага [6] или близповерхностная область вторичного кипения в гидротермальном резервуаре рассолов и смешанных растворов (глубина – первые сотни метров от дна Активного кратера [1]).

Для определения глубины генерации роев низкочастотных событий необходимо привлечение дополнительных временных сейсмических станций.

В связи с тем, что визуальные наблюдения за активностью вулкана ведутся с расстояния почти 70 км из здания приемного центра «Петропавловск», пока не удалось установить связь между появлением низкочастотных роев и паро-газовой деятельностью.

Сейсмические сигналы «chugging». «Chugging» – интересное, не до конца исследованное явление, наблюдаемое на активных вулканах и соответствующее истечению из кратера газо-пепловой смеси через перекрытый отложениями (засыпанный) канал [11-13]. В сейсмических записях оно представляет собой цуги квазипериодического дрожания. Их можно рассматривать как последовательность изолированных повторяющихся импульсов. После 30-40 импульсов «chugging» обычно затухает. Характерной особенностью сигналов «chugging» является периодичность в нескольких частотных диапазонах. Преобладают низкочастотные сигналы - 1-2 Гц. На Камчатке это явление наблюдалось при извержении Карымского вулкана [7, 11-13] и регистрировалось одновременно как сейсмической аппаратурой, так и акустическими датчиками в атмосфере в инфразвуковом диапазоне частот. «Chugging» всегда предваряется иницирующим воздействием. На Карымском вулкане это были взрывы.

На Мутновском вулкане нами зафиксированы случаи событий «chugging» длительностью 30-120 с, триггером выступает низкочастотное землетрясение. Пример записи приведен на рис.6. Участки дрожания II и III характеризуются заметной несимметрией относительно нулевой линии, что может быть объяснено влиянием свободной поверхности. Интересно, что «chugging» зафиксирован не в ходе извержения вулкана, а в фазе покоя, на фоне фумарольной деятельности. Вместо дегазирующейся магматической колонны на Мутновском вулкане под Активным кратером расположен высокотемпературный гидротермальный резервуар. Как и низкочастотные землетрясения, «chugging» на этом вулкане обусловлен взаимодействием магматической и гидротермальной систем.

В связи с тем, что большинство сейсмических событий Мутновского вулкана регистрируется только станцией MTV, возрастает значение анализа цифровых записей для повышения эффективности использования имеющейся сейсмологической информации. Рассмотрена возможность дифференциации локальных сейсмических событий по соотношению спектральных компонент. Для примера рассмотрим группу тектонических землетрясений и некоторые события роев низкочастотных сейсмических событий. Записи были подвергнуты фильтрации, использовались октавные фильтры : 1.5-3 Гц, 3-6 Гц, 6-12 Гц.

Для относительной оценки энергии применялась дисперсия сигнала в соответствующем диапазоне частот. Распределение энергии для этих групп событий имеет устойчивый характер, однако между собой группа высокочастотных тектонических землетрясений и группа низкочастотных неструктивных событий различаются. Поэтому целесообразно представить распределения на треугольной диаграмме (рис.7), что является простым приемом визуализации

скрытой корреляции параметров последовательности событий. Такой подход может использоваться для разделения потока сейсмических событий по типам в автоматическом режиме.

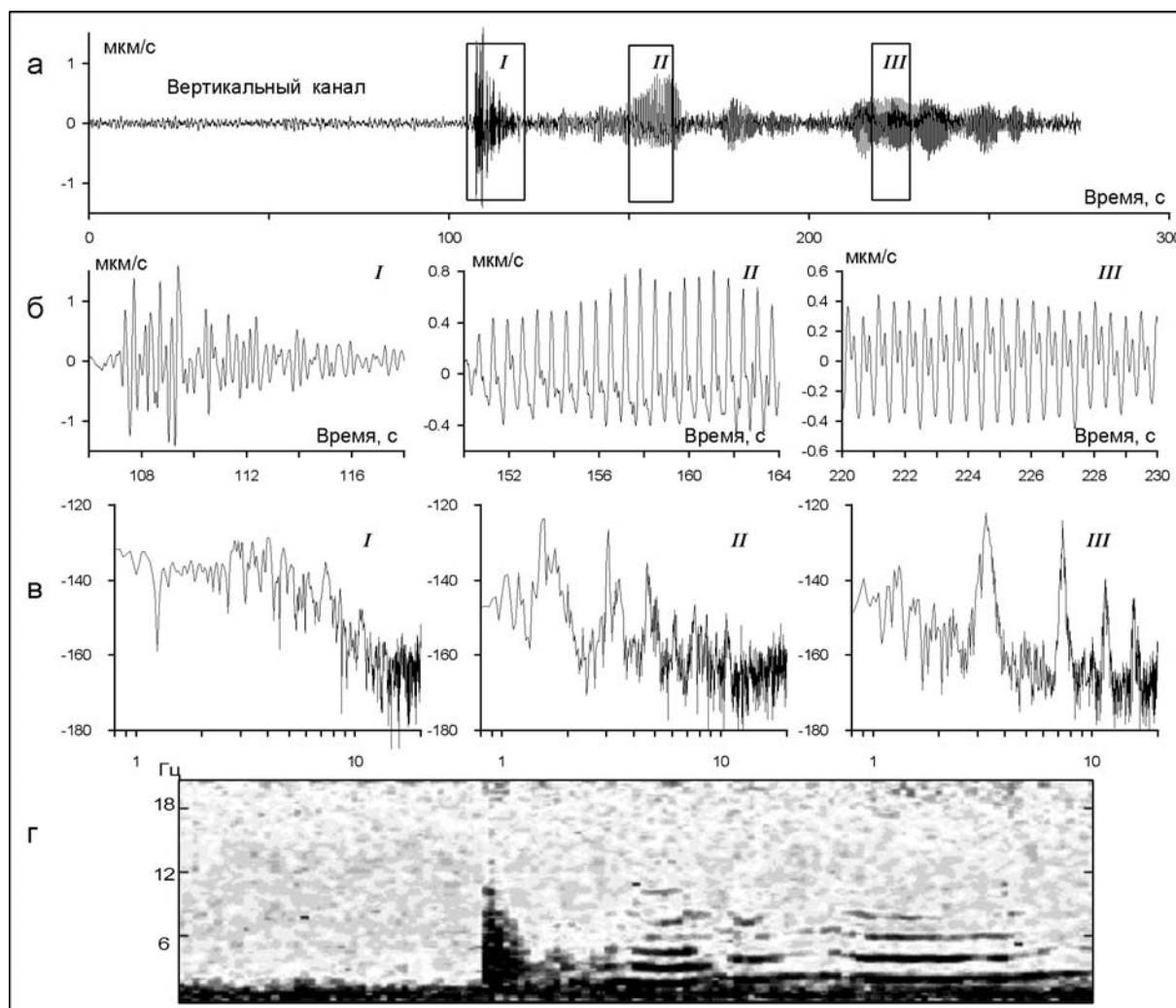


Рис.6. Событие типа «chugging», инициированное низкочастотным землетрясением 15 января 2009 г., 3 час. 13 мин. а – пример записи, применен полосовой фильтр 1-6 Гц; б – более детальное представление инициирующего события (I) и участков «chugging» (II, III); в – спектры мощности выделенных фрагментов записи; г – спектрограмма записи.

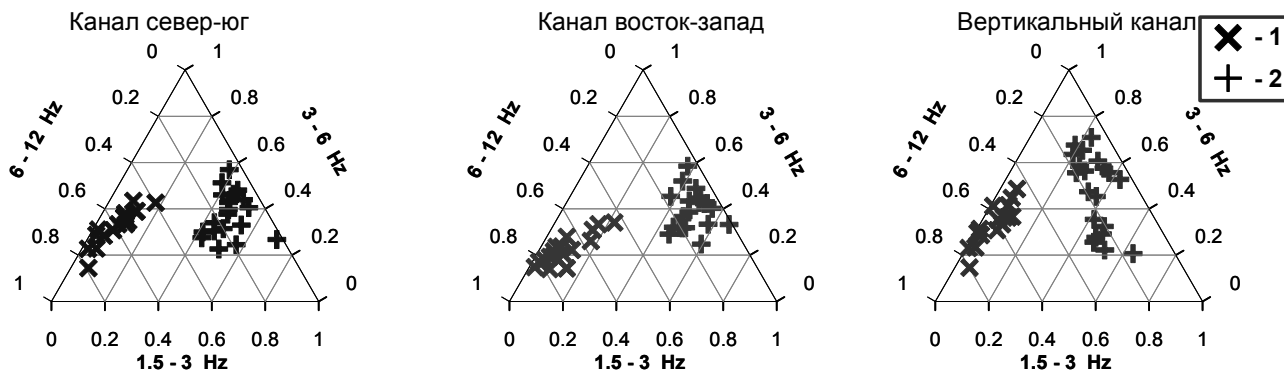


Рис.7. Распределение энергии по частотным диапазонам для высокочастотных тектонических землетрясений с $T_s \sim 1$ с (1) и низкочастотных сейсмических событий (2), представленное на треугольной диаграмме. Выявлена группировка событий по типам.

Заключение. Наиболее интересным результатом анализа сейсмических записей из района Мутновского вулкана является выделение низкочастотных сейсмических землетрясений, объединяющихся в рои, неравномерно распределенные во времени, и сейсмических событий типа Chugging.

По существующим представлениям увеличение числа низкочастотных землетрясений может рассматриваться как предвестник вулканической активизации [5, 8]. Мониторинг этих событий является важной задачей для оценки вулканической опасности. Станция MTV позволяет регистрировать как локальные тектонические землетрясения, так и недеструктивные вулканические явления, связанные с геометрией каналов и фазовым состоянием и движением флюида в недрах вулкана. Ее записи являются надежной основой для организации автоматизированной обработки цифровых записей для выделения сейсмических событий, относящихся к вулкану Мутновский, и их динамикой. Актуальность этой задачи определяется тем, что вулкан долгое время пребывает в стадии покоя, а его извержение представляет опасность для социально значимого района Мутновского геотермического комплекса.

Список литературы

1. Бортникова С.Б., Шарапов В.Н., Бессонова Е.П. Гидрогеохимический состав источников fumarольного поля Донного Мутновского вулкана (Южная Камчатка) и проблемы их связи с надкритическими магматическими флюидами // ДАН. 2007. Т. 413. № 4. С. 530–534.
2. Горельчик В.И., Сторчеус А.В. Глубокие длиннопериодные землетрясения под Ключевским вулканом // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск- Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 373-379.
3. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 105 с.
4. Пак Г., Пономарев П.М. Рои вулканических землетрясений на Юго-Восточной Камчатке в 1981-1984 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Выпуск 1. Петропавловск-Камчатский, 1985. с.226-227.
5. Сторчеус А.В. Рой длиннопериодных вулканических землетрясений, предварявших извержение Карымского вулкана в 1996 г. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 75-82.
6. Уткин И.С., Федотов С.А., Делемень И.Ф., Уткина Л.И. Динамика роста и развития проточных магматических очагов Мутновско-Гореловской группы вулканов, их тепловое питание и накопленное ими подземное тепло // Вулканология и сейсмология. 2005. №6. С.11-29.
7. Фирстов П.П., Маневич А.Г., Озеров А.Ю. Волновые возмущения в атмосфере от эксплозий вулкана Карымский (1997-1999 гг.). // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2004, С. 17-24.
8. Chouet B.A. Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption forecasting // Nature.1996. V. 380. P. 309-316.
9. Green D.N., Neuberg J. Waveform classification of volcanic low-frequency earthquake swarms and its implication at Soufrière Hills Volcano, Montserrat // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2006. V. 153. Is. 1-2. P. 51-63.
10. Gilbert J.S., Lane S.J. The consequences of fluid motion in volcanic conduits // Journal of the Geological Society, London. Special Publications. 2008. V. 307. p. 1-10.
11. Johnson J. B., Lees J. M. Plugs and chugs—seismic and acoustic observations of degassing explosions at Karymsky, Russia and Sangay, Ecuador // Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 101, Issues 1-2, August 2000, Pages 67-82.
12. Jonson J.B., Lees J.M., Gordeev E.I. Degassing Explosions at Karymsky Volcano, Kamchatka // Geophysical Research Letters. 1998. Vol. 25. N. 21. P. 3999-4002.
13. Lees J.M. , Gordeev E.I., Ripepe M. Explosions and periodic tremor at Karymsky volcano, Kamchatka, Russia // Geophysical Journal International. 2004 Volume 158 Issue 3, Pages 1151 – 1167.
14. Petersen T. Swarms of repeating long-period earthquakes at Shishaldin Volcano, Alaska, 2001–2004 // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2007. V. 166. Is. 3-4. P. 177-192.
15. Waite G. P., Chouet B., Dawson P. B. Eruption dynamics at Mount St. Helens imaged from broadband seismic waveforms: Interaction of the shallow magmatic and hydrothermal systems. Journal of Geophysical Research. 2008. V.113. B02305, doi:10.1029/2007JB005259.