

ИЕРАРХИЯ ВЗРЫВОВ ВО ВРЕМЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ АНДЕЗИТОВОГО ВУЛКАНА: ВУЛКАН ДЕ КОЛИМА, МЕКСИКА

В.М. Зобин¹, О.Э. Мельник², К. Наварро¹, Г.А. Рейес¹, М. Бретон¹

¹Вулканологическая Обсерватория, Колимский Университет, Колима, Мексика,
e-mail: vzobin@ucol.mx

²Институт механики, Московский Университет, Москва

Вулкан де Колима (Volcán de Colima) расположен в западной части Транс-Мексиканского вулканического пояса (рис. 1) и является самым активным вулканом Мексики. Для него характерен широкий спектр эруптивной активности, включающий рост экструзивных куполов и их разрушение последующими взрывами разной силы. Начиная ноября 1997 года, вулкан находится в состоянии постоянной активности. Три экструзивных купола, сформированные в 1998-1999, 2002-2003 и в 2004 годах, были разрушены сериями сильных взрывов Вулканианского типа [Zobin et al., 2008]. Наше исследование посвящено анализу закономерностей, отмеченных для вулканических взрывов разной мощности. Определение энергии взрывов проводится по данным сейсмических наблюдений на основе концептуальной модели, разработанной в [Zobin et al., 2006; 2009].

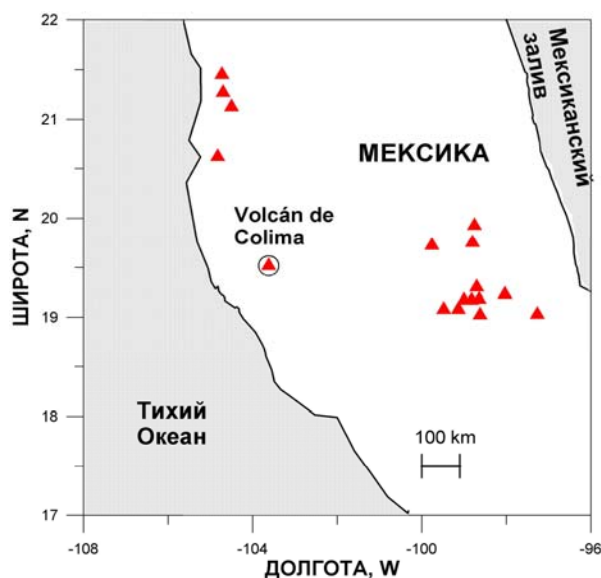
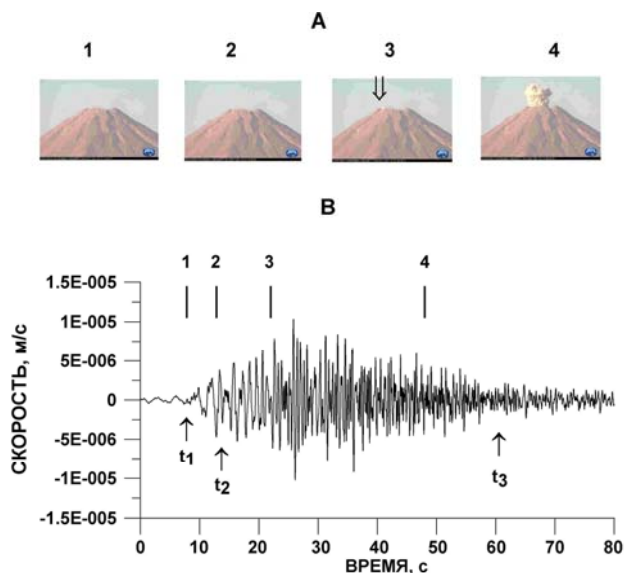


Рис. 1. Географическое положение Вулкана де Колима. Вулканы Транс-Мексиканского вулканического пояса показаны треугольниками.

Вулканический взрыв, как полагают [Cashman et al., 2000; Melnik and Sparks, 2002], является результатом процесса фрагментации, который трансформирует магму из жидкости, наполненной дисперсными пузырьками газа, в газ, наполненный дисперсными жидкими и твёрдыми частицами. Фрагментированная магма движется к поверхности выводного канала и производит выброс из кратера. Рис. 2 показывает соотношение между взрывным процессом и его сейсмической записью. Можно видеть, что вулканическая колонна начинает формироваться над кратером вулкана только через 15 с после начала сейсмического сигнала.



Это свидетельствует о том, что начальная часть сейсмической записи генерируется процессом, происходящим в выводном канале перед взрывом. Концептуальная модель предполагает

Рис. 2. Видео и сейсмо записи вулканического взрыва. Стрелка на видеоролике 3 и индекс 3 на сейсмограмме показывают начало выброса материала.

двухактный процесс, состоящий из движения фрагментированной магмы в выводном канале и собственно взрыва. Первому акту соответствует начальный импульс (между t_1 и t_2 , довзрывной импульс), продолжительность которого предполагается функцией глубины генерации взрыва. Последующая группа колебаний (между t_2 и t_3 , взрывной импульс) сопровождает выброс и её амплитуда пропорциональна энергии взрыва.



Рис. 3. Типичное соотношение между эффузивной и эксплозивной активностью на вулкане де Колима.

В ходе развития экструзивного процесса на Вулкане де Колима взрывные события были распределены следующим образом (Рис. 3): во время излияния андезитовой лавы взрывы были немногочисленны и слабы; по завершению эффузивной активности и постройки лавового купола, число слабых взрывов резко возрастает, а затем плавно уменьшается. На фоне немногочисленных слабых взрывов происходит серия сильных взрывов, которые разрушают лавовый купол. Серии микровзрывов возникают при завершении эффузивной активности, особенно в период сильных взрывов (Рис. 4).

Сейсмические записи сильных, слабых и микровзрывов подобны. Они состоят из двух групп колебаний, аналогичных тем, что показаны на рис. 2, и соответствуют процессу, описываемому двухактной моделью генерации сейсмического сигнала при вулканическом взрыве [Zobin et al., 2006; 2009]. Это позволяет провести оценку энергии E всех трёх категорий взрывов по единой формуле [Zobin et al., 2006]

$$E = E_{ст} / p \times k,$$

где p - коэффициент, учитывающий долю сейсмической энергии в полной энергии взрыва; k - коэффициент затухания энергии взрыва от очага до станции, и $E_{ст}$ - энергия взрывного импульса, записанного на данной сейсмической станции, оцененная из спектра Фурье этого сигнала. Оценки энергии варьировали от 10^5 до 10^{13} J. На рис. 5 показаны распределения энергии внутри трёх групп взрывов: сильных ($E \geq 10^{11}$ J), зарегистрированных в марте-сентябре 2005 года и разрушивших купол 2004 года; слабых ($10^7 < E \leq 10^{11}$ J), отмеченных сразу после завершения эффузивной активности 2004 года, и микровзрывов, отмеченных в период сильных взрывов в мае-июне 2005 года.

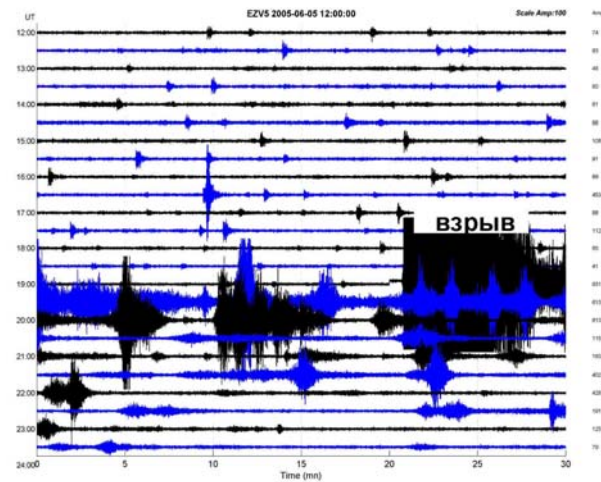


Рис. 4. Сейсмограмма, показывающая серию микровзрывов во время периода сильных взрывов.

Можно видеть, что эти три распределения подобны. Аналогичное распределение энергии взрывных землетрясений было отмечено для вулкана Карымский во время извержения 1965 года [Токарев и Фирстов, 1967]. Значимое различие величин пиков трёх распределений на рис. 5, проверенное с помощью критерия Стьюдента на 95% уровне значимости, указывает на независимый характер их происхождения и различие в процессе движения магматического материала перед взрывом разного типа.

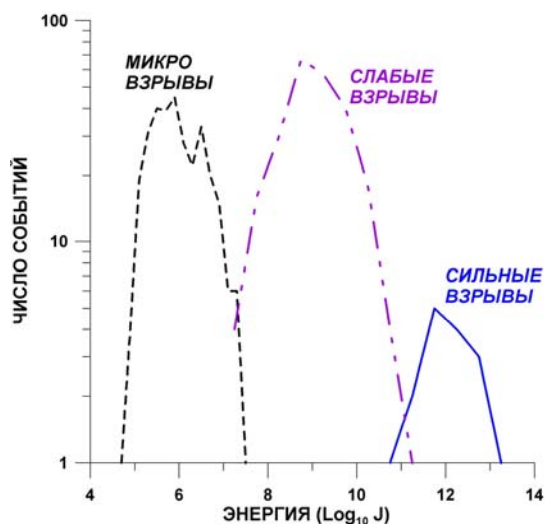


Рис. 5. Распределение энергии разного типа взрывов.

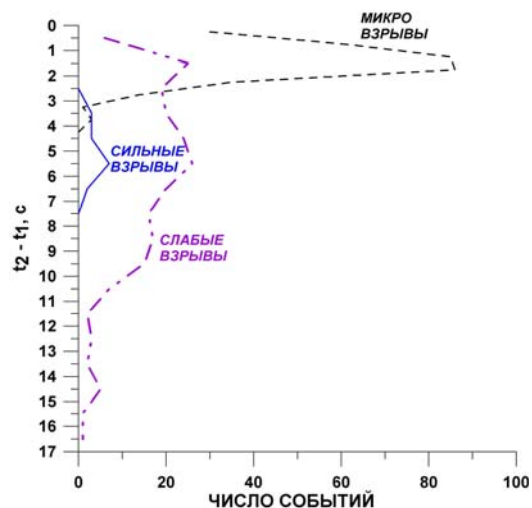


Рис. 6. Распределение длительности $t_1 - t_2$ дозрывного сигнала разного типа взрывов.

Рис. 6 показывает распределение величин $t_2 - t_1$, равных длительности дозрывного импульса и пропорциональных глубине генерации взрыва, в соответствии с концептуальной моделью [Zobin et al., 2006; 2009]. Мы не можем дать абсолютную оценку глубины зарождения взрывов, но можем оценить относительное положение глубин зарождения трёх групп взрывов. Как можно видеть, диапазоны глубин зарождения сильных и микровзрывов достаточно определены. Микровзрывы зарождаются в близповерхностной зоне выводного канала. Очаги генерации сильных взрывов располагаются несколько глубже. В то же время, слабые взрывы генерируются в широком диапазоне глубин внутри выводного канала: от приповерхностной зоны до глубин, существенно превышающих глубины зарождения сильных взрывов.

Эти результаты, а также полевые наблюдения [Zobin et al., 2006], позволяют сделать следующие выводы:

1. Существует определённая иерархия взрывов андезитового вулкана: выделяются сильные, слабые и микровзрывы, последовательности которых имеют различную природу, но находятся в определённой временной зависимости друг от друга.

2. Слабые взрывы возникают сразу по окончании эффузивной активности. Они характеризуются газовой-пепловыми выбросами, отражая, по-видимому, высвобождение газа из новой порции магмы, заполняющей освободившееся пространство в выводном канале. Фрагментационная волна, распространяющаяся вниз по каналу от уровня фрагментации [Melnik and Sparks, 2002], не распространяется глубоко внутрь свежеподнявшейся магмы, порождает очаги слабых взрывов вдоль выводного канала.

3. Газовые микровзрывы генерируются внутри и снаружи остывающей лавовой пробки сформировавшегося купола и разрабатывают зоны трещин в куполе.

4. Деятельность слабых и микро взрывов создаёт условия для возникновения сильных взрывов. Они генерируются сразу под зоной генерации микровзрывов, используя разработанные микровзрывами зоны трещин для быстрого выхода фрагментированного материала на поверхность. При этом происходит как существенное разрушение лавового купола, так и дробление магмы под ним. Сильные взрывы порождают высокие эруптивные колонны, падение пирокластического материала из которых, как правило, порождает пирокластические потоки.

Список литературы

Токарев П.И., Фирстов П.П. Сейсмологические исследования вулкана Карымского // Бюлл. вулканол. ст., 1967. 43. С. 9-22.

Cashman K.V., Sturtevant B., Papale P. et al. Magmatic fragmentation. In: H. Sigurdsson (ed) *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego, 2000. P. 421-430.

Melnik O., Sparks R.S.J. Modelling of conduit flow dynamics during explosive activity at Soufriere Hills volcano, Montserrat. In: *The eruption of Soufrière Hills volcano, Montserrat, from 1995 to 1999*, Eds. T.H. Druitt and B.P. Kokelaar, Geol. Soc. London, Memoirs 21, 2002. P. 307-318.

Zobin V.M., Navarro C., Reyes-Dávila G.A. et al. The methodology of quantification of volcanic explosions from broadband seismic signals and its application to the 2004-2005 explosions at Volcán de Colima, México // *Geophys. J. Int.*, 2006. 167. P. 467-478.

Zobin V.M., Varley N.R., González M., et al. Monitoring the 2004 andesitic block-lava extrusion at Volcán de Colima, México from seismic activity and SO₂ emission // *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 2008. 177. P. 367-377.

Zobin V.M., Reyes G. A. Guevara E. et al. Scaling relationship for Vulcanian explosions derived from broadband seismic signals // *J. Geophys. Res.*, 2009. 114. doi:10.1029/2008JB005983.