ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ВУЛКАНЕ КАРЫМСКИЙ

В ФЕВРАЛЕ 2015 ГОДА

Арбугаева О.В., Фирстов П.П., Махмудов Е.Р.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, iova@emsd.ru

Введение

Расположенный в центральной части Восточной вулканической зоны Камчатки вулкан Карымский (54.043° с.ш., 159.437° в.д.) представляет собой правильный конус высотой около 1.5 км [1]. С января 1996 г. и по настоящее время вулкан находится в стадии активизации, когда эксплозивные извержения чередуются с периодами покоя. Отдельные эксплозии сопровождаются эруптивными облаками, подымающимися на 1-5 км над кратером, и эксплозивными землетрясениями. Последние регистрируются радиотелеметрической сейсмической станцией (РТСС) «Карымский» (КRY), которая располагается на юго-восточном склоне вулкана в 1.6 км от кратера [3], что позволяет контролировать сейсмичность вулкана и его эксплозивную активность. Акустические сигналы от сильных эксплозий вулкана Карымский фиксируются акустической станцией IS44, входящей в Международную систему мониторинга в рамках Договора о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний. Акустическая станция IS44 находится на удалении в 155 км от вулкана.

После непродолжительного затишья, когда отдельные эксплозии были редки, в феврале 2015 г. на цифровых сейсмограммах была отмечена нехарактерная для вулкана Карымский сейсмичность, которая отличается квазипериодичностью и подобием волновых форм микроземлетрясений (рис. 1). По наблюдениям двух циклов активности 1970-1978 гг. и с 1996 г. по настоящее время такой сейсмический режим наблюдался впервые [4]. Подобная активность регистрировалась в период извержения андезитового вулкана Кизимен в 2010-2013 гг. [3], так же как и на других вулканах мира с вязкой лавой. В иностранной литературе такой режим назван «drumbeats» (барабанный бой) [9]. Он возникает при выжимании отдельных блоков на экструзивном куполе, или при движении вязких лавовых потоков, что наблюдалось на вулкане Кизимен [6,7].

Особенности сейсмического режима микроземлетрясений на вулкане Карымский в феврале 2015 г.

Начало рассматриваемого режима микроземлетрясений «drumbeats» условно принято 18:01¹ 14.02.2015 г., что связано с уверенным выделением микроземлетрясений на уровне шума. Надо отметить, что РТСС КRY достаточно «шумная» станция, так как радиосвязь осуществляется через ретранслятор. Такой сейсмический режим прослеживается до 12:00 18.02.2015 г.

На рисунке 2 приведен пример волновой формы микроземлетрясения, а также спектральная плотность мощности (СПМ) сигнала и фонового шума. На рисунке 26 видно, что СПМ, по уровню - 10 Дб от максимума, для микроземлетрясения заключена в пределах 2-10.0 Гц с максимумом на 6 Гц. Во время извержения вулкана Кизимен микроземлетрясения режима «drumbeats», сопровождающие экструзивный процесс в кратере вулкана, имели подобный спектр, несколько сдвинутый в область низких частот (1.5-5 Гц) [6]. На протяжении всего исследуемого периода микроземлетрясения имели подобные волновые формы и спектральные характеристики, слабо изменяющиеся со временем.

¹ Здесь и далее время UTC



Рис.1. Фрагмент обзорной сейсмической записи вертикальной составляющей на РТСС КRY с 18:00 16.02.2015–10:00 17.02.2015 гг.

С целью исследования динамики режима «drumbeats» были обработаны 632 записи микроземлетрясений, на которых измерялись: время между событиями (ΔT , с), максимальная амплитуда смещения (A_{max} , мкм/с) и соответствующий период (T, с).



ис.2. a) Пример волновой формы микроземлетрясения; б) спектральная плотность мощности сигнала (1) и фонового шума (2).

Прежде всего, была рассмотрена зависимость интервала между событиями от текущего времени $\Delta T = f(t)$. С этой целью исходный ряд был скорректирован с учетом ошибочных значений, пробелов обусловленных такими причинами как высокий уровень фонового шума на регистрируемом канале, наложением других сейсмических событий на интервал времени соответствующий ожидаемому расположению сигнала.

Зависимость $\Delta T = f(t)$ имеет нарастающую кривую, на которой с определенной долей условности можно выделить три участка (рис. 3). Первый, наиболее длительный участок, охватывает период с 18:04 14.02.2015 по 03:22 17.02.2015 г., на него приходится 72% всех событий. На этом участке интервал между землетрясениями монотонно возрастает и функция $\Delta T = f(t)$ с достоверностью 0.99 описывается полиномом второй степени:

$$y(x) = -43.289x^2 + 4e^6x - 8e^{10} \tag{1}$$



Рис.3. Изменение интервала времени между микроземлетрясениями в период активизации вулкана Карымский. Выделены 3 участка, отличающиеся по форме нарастания ∆Т.

Для второго участка с 03:22 по 17:02 17.02.2015 г., который условно названным переходным, характерно более резкое увеличение ΔT по сравнению с первым. Он описывается уравнением (2), с коэффициентом достоверности 0.81.

$$y(x) = -86.671x^2 + 7e^6x - 2e^{11}$$
(2).

Третий участок с 21:12 17.02.2015 по 11:52 18.02.2015 г., отличается абсолютно другой конфигурацией кривой $\Delta T = f(t)$, описываемой законом (3), с коэффициентом достоверности 0.96, и обуславливающего увеличение скорости изменения периодичности.

$$y(x) = 298.72x^2 - 3e^7x + 5e^{11}$$
(3).



Рис.4. Графики изменения скорости смещения грунта микроземлетрясений (а) и изменения периода микроземлетрясений во времени (б) за период 14.02.2015-18.02.2015 гг.

В соответствии с выделенными участками был построен график изменения амплитуд микроземлетрясений на протяжении всего сейсмического процесса. На рисунке 4a видно, что участки по датам коррелируются с участками, выделенными на графике периодизации сейсмических событий. Начался сейсмический процесс 14.02.2015 г. с микроземлетрясений с минимальной амплитудой A~1.3 мкм/с. На графике видно, что с течением времени амплитуда постепенно возрастает (участок 1). Максимум пришелся на период с 12:00 16.02.2015 по 02:10 17.02.2015 гг., входящий в участок 1, он изменяется от 3 до 3.6 мкм/с. Микроземлетрясения, отнесенные к участку 2, отличаются уменьшением значений амплитуд в течение времени, максимальная амплитуда равна 3.2 мкм/с, минимальная 1.8 мкм/с. Из-за относительно короткого промежутка времени и большого разброса значений, входящих в участок 3, невозможно явно проследить тренд изменения значений амплитуд. Максимальное значение для этого участка равно 2.4 мкм/с, минимальное – 1.6 мкм/с.

На графике изменения значений периода микроземлетрясения (рис. 4б) можно выделить три участка. Первый участок с 18:00 14.02.2015 по 06:28 16.02.2015 гг. и третий участок с 20:07 18.02.2015 характеризуются большим разбросом значений периода. Ко второму участку относятся даты с 07:20 16.02.2015 по 19:56 17.02.2015 гг., для него характерна минимальная дисперсия значений периода.

Обсуждение результатов

В работе [8] на основании сопоставления сейсмического и акустического излучений, сопровождавших отдельные эксплозивные проявления вулкана Карымский в 2012 г. предложена феноменологическая модель активности вулкана. В этой модели предложено два источника генерации избыточного давления в верхней части магматического канала. На нижнем конце выводного канала поступление газа обеспечивается за счет выделения растворенного газа из магмы в результате декомпрессии. На верхнем конце газ может выделяться в результате ее кристаллизации. Линейные размеры этих зон зависят от многих параметров, но основным является скорость движения вязкой магмы по каналу. Медленная скорость приводит к формированию протяженной зоны кристаллизации. В этом случае фрагментация магмы происходит в виде эксплозий взрывного типа, сопровождающихся выбросами пепла и генерацией воздушных ударных волн.

После рассмотренного периода начали регистрироваться эксплозии взрывного типа. Так, во время извержения вулкана 23 февраля 2015 г. в 09:53 лабораторией исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА) КФ ГС РАН был отмечен выброс с высотой эруптивного облака на 4 км над уровнем моря [2]. На рис. 5 показана запись эксплозивного землетрясения на канале SLZ сейсмической станции KRY(а) и акустического сигнала на станции IS44 (б) этого события.



Рис.5. Запись землетрясения (станция KRY, канал SLZ) (а) и акустического сигнала на станции I44 (б), сопровождавших эксплозию на вулкане Карымский 23 февраля 2015 г.

Такая эксплозивная деятельность указывает на то, что в верхней части магматического канала образовалась «пробка», продвижение которой могло реализоваться под действием растущего давления газов при их выделении из магмы за счет декомпрессии. Что способствовало движению отдельных блоков «пробки», которое сопровождалось микроземлетрясениями режима «drumbeats».

Список литературы

1. Иванов Б.В., Брайцева О.А., Зубин М.И. Вулкан Карымский // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука; 1991. С. 183-188.

2. Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Гарбузова В.Т., Кожевникова Т.Ю. Зарегистрированный электронный банк данных «Активность вулканов Камчатки, АВК» №0220711891, регистрационное свидетельство №11003 от 21 июня 2007г.

3. Технический отчет о состоянии системы сейсмического мониторинга Камчатского края в 2011 г. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2012.

4. Шакирова А.А. Движение лавового потока вулкана Кизимен как генератор режима «drumbeats» // Исследования в области наук о Земле. Матер. Х региональной молодежной научной конференции 28-29 ноября. 2012. Петропавловск-Камчатский. С. 127–139.

5. Фирстов П.П., Фи Д., Махмудов Е.Р. Некоторые особенности эксплозивной активности Карымского вулкана (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2013. № 4. С. 13-26.

6. Фирстов П.П., Шакирова А.А., Арбугаева О.А. Активность вулкана Кизимен в период май 2012 г. – март 2013 г. по сейсмическим данным и видеонаблюдениям // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, 2013 г. С. 130-138

7. Фирстов П.П., Шакирова А.А. Динамика извержения вулкана Кизимен (Камчатка) в 2010-2013 гг. и её проявление в сейсмических эффектах // Вулканология и сейсмология. 2014. № 4. С.3

 Lopez T., Fee D., Prata F., Dehn J. Characterization and interpretation of volcanic activity at Karymsky Volcano, Kamchatka, Russia, using observations of infrasound, volcanic emissions, and thermal imagery // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. Volume 14. Issue 12. December 2013. P. 5106–5127
Moran S.C., Malone S.D., Qamar A.I., et al. Seismicity associated with renewed Dome-Building at Mount St. Helens, 2004-2005 // A volcano rekindled: The renewed eruption of Mount St. Helens, 2004-2006. Ch. 2. 2007. U.S.