

УДК 550.34.06+550.8.05

ПЕРИОДЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА «DRUMBEATS» ВО ВРЕМЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА КИЗИМЕН В 2011 г., ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ДВИЖЕНИЕМ ЛАВОВОГО ПОТОКА ПО СКЛОНУ

Шакирова А.А., Фирстов П.П.

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский, shaki@emsd.ru, firstov@emsd.ru

Введение

В редких случаях экструзивные извержения андезитовых и дацитовых вулканов сопровождаются слабыми вулканическими землетрясениями (магнитуда < 3), возникающими с квазипериодичностью в несколько секунд. Такой режим сейсмичности впервые был назван «drumbeats» (барабанный бой) во время извержения в. Сент-Хеленс в 2004 г. (Каскадные горы, Северная Америка) [8] и наблюдался ранее, при извержениях таких вулканов как: Редаут (Алеутские острова), 1989 г. и 2009 г.; Суфриере Хиллс (остров Монтсеррат, Малые Антильские острова), 1995-1997 гг.; Пичинча (Анды, Южная Америка), 1999 г. Режим «drumbeats» регистрировался при извержении в. Кизимен (п-ов Камчатка) во время выжимания вершинной экструзии и формировании вязкого лавового потока в 2010-2013 гг.

Вулканические землетрясения (ВЗ) режима «drumbeats», зарегистрированные на в. Кизимен характеризовались периодичностью и однообразными волновыми формами с энергетическими классами $K < 6$ (магнитудами < 2.5), которые могли регистрироваться от десятков минут до месяцев (мультиплеты). Первые землетрясения режима «drumbeats» на в. Кизимен начали регистрироваться 9 декабря 2010 г. за несколько часов до сильных эксплозий, свидетельствующих о начале извержения. Они были связаны с выжиманием первой порции вязкой лавы с формированием экструзии в кратере вулкана.

В январе-феврале 2011 г. после сравнительно коротких мультиплетов землетрясений, следовали мощные эксплозии, и наблюдалось схождение пирокластических потоков. Интенсивный мультиплет был зарегистрирован с 8 по 12 марта, когда количество событий стало быстро нарастать, 12 марта их было зарегистрировано ~ 7000 с частотой $f = 1-7 \text{ мин}^{-1}$. По-видимому, этот мультиплет предшествовал началу формирования фронта мощного вязкого лавового потока на северо-восточном склоне конуса вулкана [4].

В конце июля «язык» вязкой лавы достиг подножия конуса вулкана [2]. К декабрю 2011 г. в северо-восточном направлении сформировался второй «язык» лавового потока. Выжимание экструзии и лавового потока сопровождалось большим количеством ВЗ, которые отнесены к гибридным или длиннопериодным на основании волновых форм (рис. 1).

Особенности микроземлетрясений режима «drumbeats»

Микроземлетрясения режима «drumbeats», зарегистрированные во время извержения в. Кизимен, относятся к гибридным и длиннопериодным.

Гибридные землетрясения (ГЗ) характеризуются тем, что после четких вступлений с $f \approx 3-10 \text{ Гц}$ в начальной части записи наблюдается запись явно выраженных кода волн (рис. 1б). Такая форма записи, по мнению ряда авторов [1, 7, 10], обусловлена разрушением геосреды под воздействием давления магмы или флюида с образованием трещины и дальнейшего ее заполнения, выделяющейся из магмы газовой составляющей или флюидом.

Для длиннопериодных землетрясений (ДЗ) с очагами в непосредственной близости от дневной поверхности характерна более низкая частота $f \approx 1-5 \text{ Гц}$ (рис. 1а). Они, как и гибридные, образуют роевые последовательности или мультиплеты длительностью от нескольких часов до месяцев. Землетрясения в роях имеют близкие волновые формы. В некоторых работах этот тип землетрясений именуется «низкочастотными» (low frequency LF) [9].

В районе в. Кизимен утановлены три сейсмических станции (с/с) Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Ближайшая с/ст «Кизимен» (KZV) на расстоянии 2.6 км от кратера работает с 2009 г. С/ст TUMD была установлена в 2011 г. на расстоянии 6 км от вулкана. С/ст TUM установлена в 2003 г. в 20 км от вулкана. Микроземлетрясения с $K < 3.5$ регистрировались только с/ст KZV и TUM. Более сильные микроземлетрясения с $3.5 < K < 6$ регистрировались тремя станциями.

С 11 мая по 12 июня 2011 г. с/с KZV был зарегистрирован мультиплет ВЗ с $K = 2-6$, который завершился мощной эксплозией. По волновым формам микроземлетрясения относятся к ДЗ (рис. 2а, б). Их квазипериодичность варьировала от 8 до 50 с ($f = 1-8 \text{ мин}^{-1}$). Второй мультиплет ГЗ, с $K = 4-5.5$, и средней частотой квазипериодичности $f \leq 2 \text{ мин}^{-1}$ был зарегистрирован с конца июля по октябрь (рис. 3в, г).

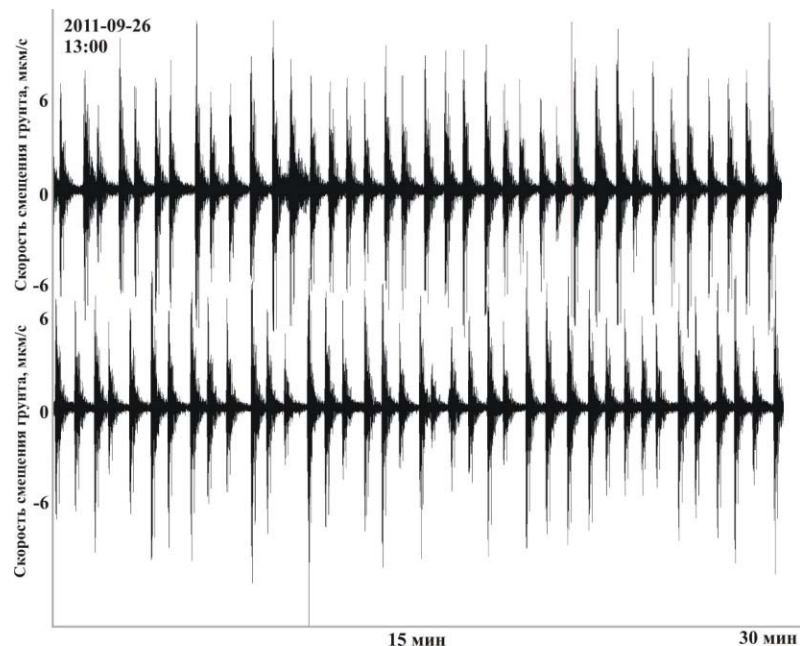


Рис.1. Часовой фрагмент записи мультиплета гибридных микроземлетрясений режима «drumbeats», зарегистрированных сейсмостанцией КФ ФИЦ ЕГС РАН «KZV» 26 сентября 2011 г.

Для двух дат первого периода вычислялась спектральная плотность мощности (СПМ) для семи ДЗ и затем СПМ усреднялась скользящим средним по четырем точкам [11]. Для микроземлетрясений 11 мая с $K \sim 3$ СПМ заключена в пределах 1-8 Гц со спектральными максимумами на частотах 2, 4, 6 и $\sim 7.5 \text{ Гц}$ (рис. 3а). Кратные гармоники в СПМ свидетельствуют о наличии резонансных процессов при генерации этих событий. СПМ для более сильных землетрясений 25 мая с $K \sim 6$ (рис. 2б) заключена в пределах 1-5 Гц со спектральными максимумами на частотах ~ 2 и $\sim 4 \text{ Гц}$ (рис. 3б).

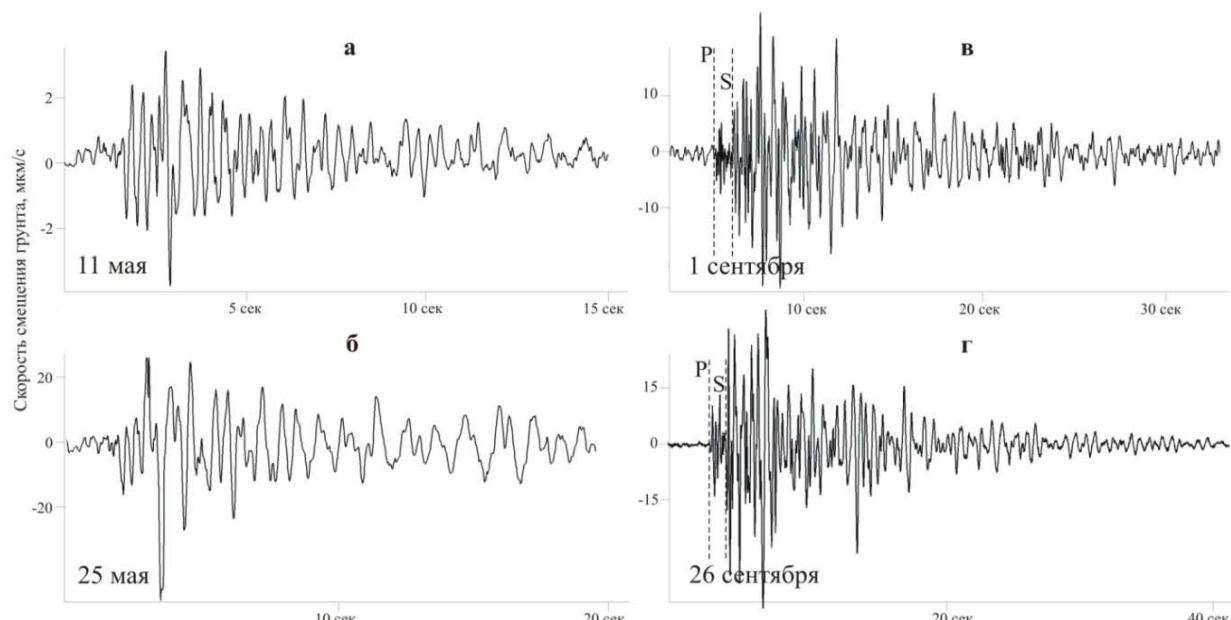


Рис. 2. Волновые формы микроземлетрясений двух мультиплетов в мае (а, б) и сентябре 2011 г. (в, г).

Для ГЗ второго периода СПМ, вычисленная как и в предыдущем случае, имела другой характер. Так, для 8 ВЗ с $K \sim 5$ (рис. 2в) 1 сентября СПМ была заключена в пределах 1-6 Гц со спектральными максимумами на частотах ~ 1.8 и $\sim 4 \text{ Гц}$ (рис. 4а). Кривые СПМ для землетрясений 26 сентября с $K \sim 4.5$ (рис. 2г) почти не отличаются от рассмотренных выше, выделяются спектральные максимумы на частотах ~ 2 и $\sim 5 \text{ Гц}$ (рис. 4б).

Гипоцентры для 35 наиболее сильных ГЗ $3 < K < 6$ за период 29.07–1.10.2011 г. были определены с помощью программы DIMAS [3]. На рис. 4а видно, что эпицентры ГЗ локализованы вблизи контура

лавого потока, с глубиной очага 1.4 ± 0.5 км н.у.м. Оценка среднеквадратичной ошибки определения координат эпицентров была осуществлена на основании сравнения определения эпицентров землетрясений с $6.5 < K < 9.9$ с района в. Кизимен тремя ближайшими станциями (KZV, TUMD, TUM) и сетью станций. Она составила по широте 0.7 км, а по долготе 2.9 км. На вертикальном разрезе показано, что очаги землетрясений группируются на дневной поверхности склона вулкана (рис. 5б).

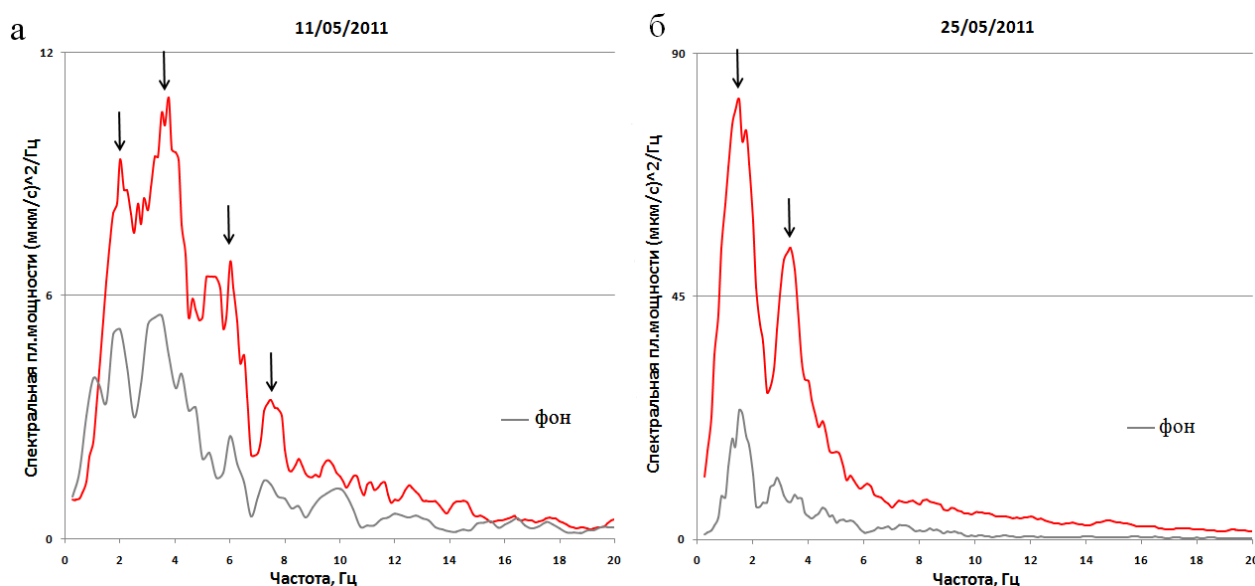


Рис. 3. Осредненные значения спектральной плотности мощности микроземлетрясений режима «drumbeats» и фона: а - 11 мая, б - 25 мая, 2011 г.

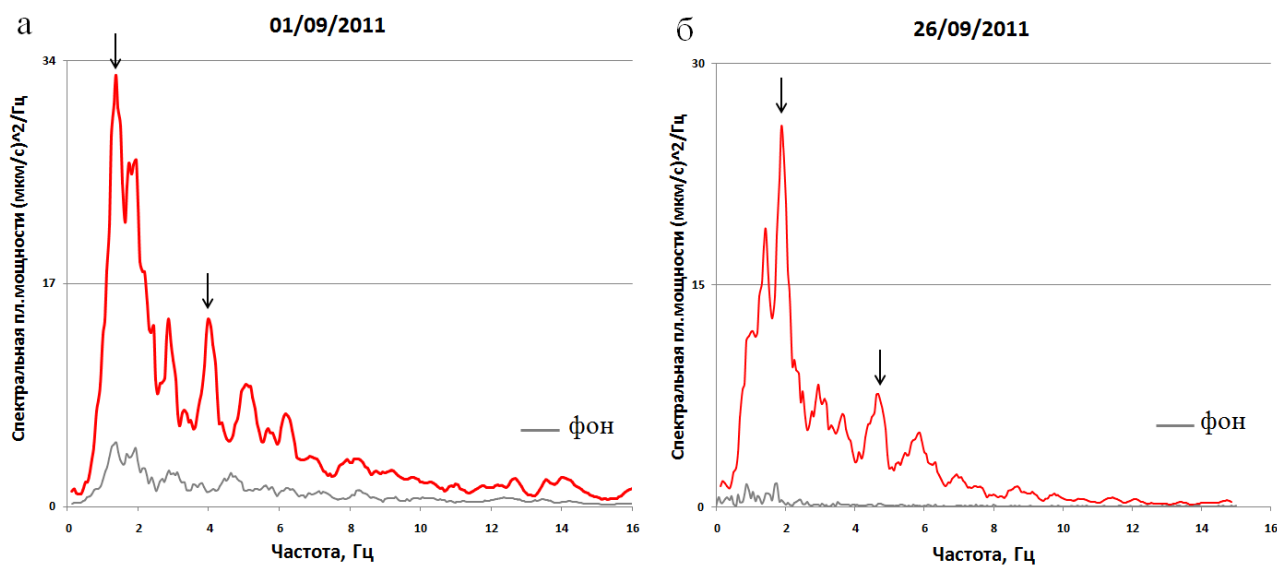


Рис. 4. Осредненные значения спектральной плотности мощности микроземлетрясений режима «drumbeats» и фона на следующие даты: а - 1 сентября, б - 26 сент, 2011 г.

Выводы

Расположение эпицентров ВЗ, сопровождавших формирование лавового потока во время извержения вулкана Кизимен, дает основание считать, что их генерация связана с движением по склону вулкана вязкого мощного потока. Причем если на первой стадии (май 2011 г.) генерировались ДЗ, то на второй (сентябрь 2011 г.) ГЗ.

На взгляд авторов, это связано с изменением реологических свойств лавы по мере ее удаления от кратера. Вблизи кратера лава достаточно вязкая и под действием гравитации и сжимающего напряжения массы лавы выше фронта происходит ее прерывистое скольжение с генерацией длиннопериодных землетрясений.

По мере удаления от кратера лава становится менее вязкой. В этом случае механизмом гибридных землетрясений может быть неустойчивая подвижка с трением (stick-slip). Неустойчивая подвижка возникает на контакте двух блоков, подверженных действию касательного напряжения, вызывающего «stick-slip» [5]. Под действием гравитации и сжимающего напряжения массы лавы выше фронта вначале происходит разрушение прочного барьера (зацепления), после чего начинается «скольжение» по склону вулкана.

Режим «drumbeats» является уникальным индикатором физических процессов, сопровождающих выжимание вязкой магмы и его параметры могут быть весьма полезны для изучения физики экструзивных извержений и предсказания развития вулканической активности.

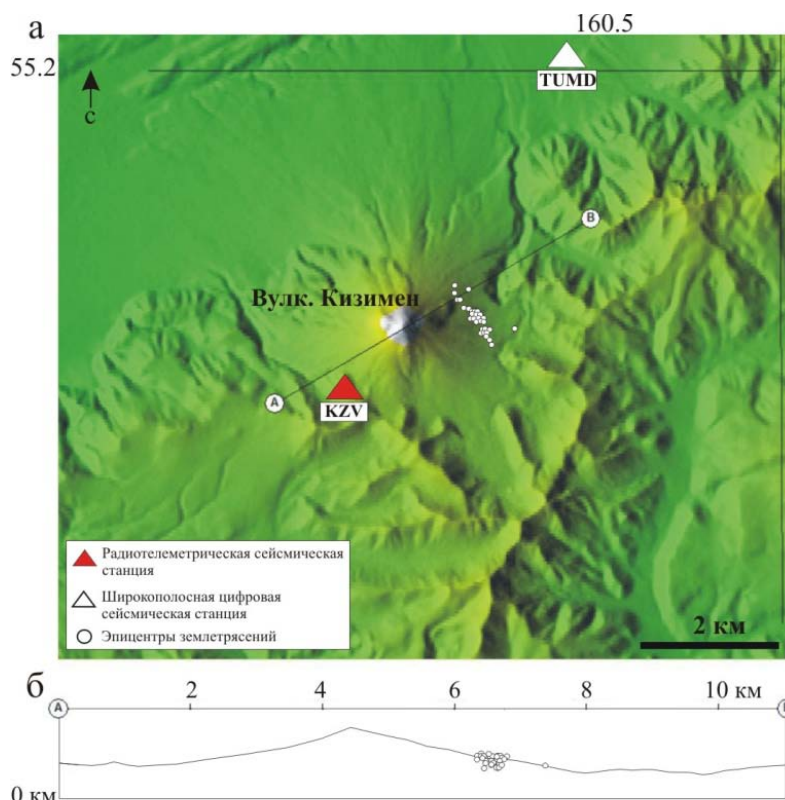


Рис. 5. Карта расположения эпицентров ГЗ режима «drumbeats» (а) и гипоцентров (б) за период 29.07 – 1.10.2011 г.

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Сеников С.Л. Сейсмическая активизация вулкана Корякский в 1994 г.: гибридные сейсмические события и их применение для оценки вулканической опасности // Вулканология и сейсмология. 1998. № 4-5. С. 112–126.
2. Двигало В.Н., Мелекесцев И.В., Шевченко А.В., Свирид И.Ю. Извержение 2010–2012 гг. вулкана Кизимен – самое продуктивное (по данным дистанционных наблюдений) на Камчатке в начале XXI века. Часть I. Этап 11.11.2010–11.12.2011 гг. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 6. С. 3–21.
3. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. №3. С.22–34.
4. Овсянников А.А., Малик Н.А. Тефра извержения вулкана Кизимен в декабре 2010 г. – феврале 2011 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Матер. региональной конференции 30 марта - 1 апреля. 2011. Петропавловск-Камчатский, 2011. С. 57–61.
5. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
6. Фирстов П.П., Шакирова А.А. Особенности сейсмичности в период подготовки и в процессе извержения вулкана Кизимен (Камчатка) в 2009–2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2014. № 4. С. 3–20.
7. Carlisle C.J. Pattern recognition in earthquake swarms from the 2009 eruption of Redoubt volcano, Alaska // A thesis submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Science in Geophysics Boise State University. 2013. 82 p.
8. Iverson M.R., Dzurisin D., Gardner C.A. et al. Dynamics of seismogenic volcanic extrusion at Mount St Helens in 2004–2005 // Nature. 2006. V. 444. P. 439–443.
9. 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. U.S. Geological Survey Professional Paper. 2008. Ch. 2. P. 27–60.
10. Power J.A., Lahr J.C., Page R.A., et al. Seismic evolution of the 1989–1990 eruption sequence of Redoubt Volcano, Alaska // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1994. V. 62. P. 69–94.
11. WinПОС пакет обработки сигналов. Руководство программиста. НПП «Мера». Мытищи, 2010. 80 с.