

УДК 551.21

Сейсмический режим «drumbeats», обусловленный движением вязкого лавового потока при извержении вулкана Кизимен в мае–октябре 2011 г.

© 2019 г. А.А. Шакирова, П.П. Фирстов

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. Режим «drumbeats» (барабанный бой) – это последовательности вулканических землетрясений (ВЗ) с однообразными волновыми формами (мультиплеты), которые регистрируются от десятков минут до месяцев. Как правило, режим «drumbeats» сопровождается выжиманием отдельных блоков на экструзивных куполах андезитовых и дацитовых вулканов. Выжимание и движение вязкого лавового потока во время извержения вулкана Кизимен в 2010–2013 гг. сопровождалось мультиплетами с энергетическими классами $K < 6$ (магнитудами < 2.5), которые регистрировались от десятков минут до месяцев. Две серии наиболее сильных мультиплетов были зарегистрированы в течение четырёх месяцев с мая до середины октября 2011 года. Землетрясения мультиплетов по волновым формам могут быть отнесены к гибридным и длиннопериодным ВЗ. Для наиболее сильных событий режима «drumbeats» были определены координаты очагов, которые локализовались во фронтальной части лавового потока. Расположение гипоцентров ВЗ даёт основание говорить, что они генерируются во время движения вязкого лавового потока по склону вулкана. Возникновение мультиплетов, по-видимому, можно рассматривать как процесс автоколебаний релаксационного типа.

Ключевые слова: Камчатка, сейсмичность, вулкан, землетрясение, мультиплет, drumbeats, гибридные, длиннопериодные, лавовый поток.

Для цитирования: Шакирова А.А., Фирстов П.П. Сейсмический режим «drumbeats», обусловленный движением вязкого лавового потока при извержении вулкана Кизимен в мае–октябре 2011 г. // Российский сейсмологический журнал. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 67–74. doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.06>

Введение

Вулкан Кизимен (2485 м) – действующий стратовулкан корово-мантийного питания, расположенный в восточной части Шапинского грабена Центральной Камчатской депрессии [Шанцер и др., 1991]. Состав продуктов извержений от дацитов до андезитобазальтов, возникающих в результате смешения дацитовой и базальтовой магмы [Иванов, 2008]. После 82 лет покоя извержение вулкана Кизимен в 2010–2013 гг. носило эксплозивно-экструзивно-эффузивный характер, и оно было самым продуктивным на Камчатке в начале XXI в. [Двигало и др., 2013]. На первом этапе для извержения была характерна экструзивно-эксплозивная активность с формированием пирокластических потоков и возникновением обломочных лавин. На следующем этапе произошло выжимание вязкого мощного лавового потока, который был замечен на восточном склоне вулкана в конце

февраля 2011 года. В конце июля «язык» потока достиг подножия конуса вулкана (рис. 1) [Овсянников, Малик, 2011]. К декабрю 2011 г. в северо-восточном направлении сформировался второй «язык» лавового потока. Общая площадь лавового покрова оценивается в 2.16 км^2 , а объем вместе с подстилающей грубообломочной пирокластикой в 0.195 км^3 . Доминирует ювенильный материал, отвечающий по составу андезитам ($> 90\%$) [Двигало и др., 2013].

Одновременно с выжиманием экструзии и лавового потока регистрировалось большое количество вулканических землетрясений (ВЗ), которые по волновым формам можно отнести к гибридным (ГЗ) и длиннопериодным (ДЗ). ГЗ характеризуются тем, что после чётких вступлений P - и S -волн с преобладающей частотой $f \approx 3–10 \text{ Гц}$ регистрируется чётко выраженная coda волн (рис. 2б). По мнению ряда авторов [Power et al., 1994; Гордеев, Сеньюков, 1998], ГЗ возникают при разрушении геосреды под воздействием

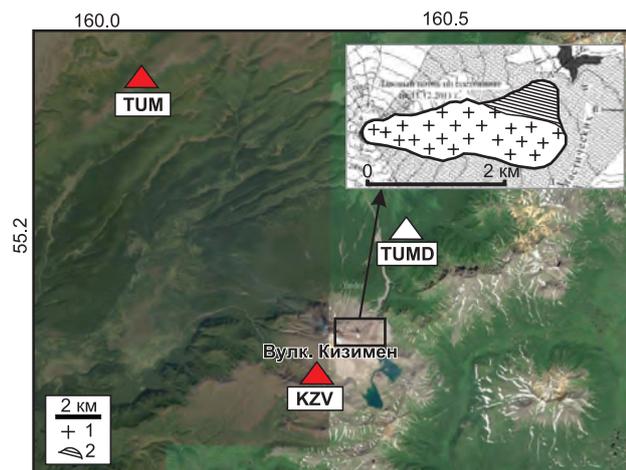


Рис. 1. Сеть сейсмических станции в районе вулкана Кизимен. На врезке изображён лавовый поток вулкана в 2011 г. [Двигалю и др., 2013]. 1 – лавовый поток 5 сентября 2011 г.; 2 – второй «язык» лавового потока по состоянию на 11 декабря 2011 г.

давления магмы или флюида, приводящего к образованию трещины и дальнейшего её заполнения, выделяющейся из магмы газовой составляющей или флюидом. Однако в работе [Harrington, Brodsky, 2007] на основе соотношения сейсмического момента и угловой частоты ГЗ, близких к значениям для тектонических землетрясений, особенности волновых форм ГЗ объясняются хрупким разрушением среды с низкой скоростью разрыва. ДЗ характеризуются нечёткими вступлениями *P*- и *S*-волн и более низкой частотой $f \approx 1-5$ Гц. Их очаги лежат в непосредственной близости от дневной поверхности.

Длиннопериодные и гибридные землетрясения образуют роевые последовательности (мультиплеты), когда землетрясения с близкой энергией в течение длительного времени происходят с квазипериодичностью от долей секунды до нескольких минут (рис. 2а). Подобное проявление сейсмичности отмечалось при извержениях андезитовых и дацитовых вулканов во время выжимания вязкой магмы с образованием экструзивных куполов [Matoza, Chouet, 2010; Carlisle, 2013; Rowe et al., 2004; Garcia et al., 2007]. В литературе такой режим получил название «drumbeats» (барабанный бой).

Краткие сведения об аппаратуре и методике наблюдений

С начала извержения (декабрь 2010 г.) сейсмичность района вулкана контролировалась радиотелеметрической сейсмической станцией

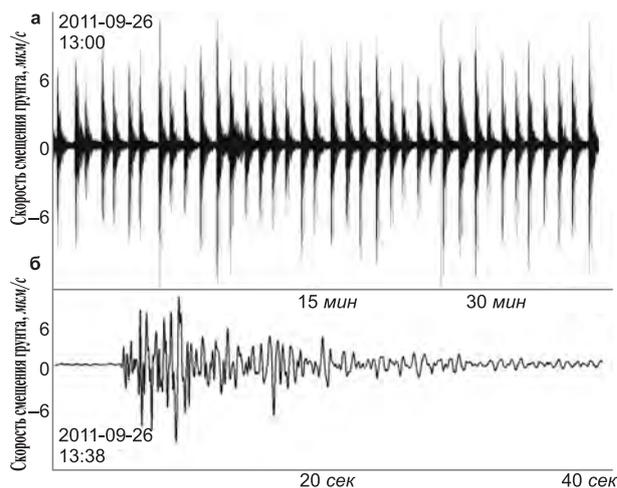


Рис. 2. Тридцатиминутный фрагмент записи мультиплета гибридных землетрясений режима «drumbeats», зарегистрированных РТСС KZV 26 сентября 2011 г. (а), и пример волновой формы гибридного землетрясения, записанной на вертикальной составляющей (б)

(РТСС) КФ ФИЦ ЕГС РАН «Кизимен» (KZV), установленной в 2.5 км от кратера в 2009 году. В 20 км от вулкана располагалась РТСС «Тумрок» (TUM). В июле 2011 г. в 6 км от кратера была установлена цифровая сейсмическая станция «Тумрокские источники» (TUMD) (рис. 1). Для сейсмичности этого района представительным энергетическим классом землетрясений, оцениваемым по поперечным волнам *S* ($K = \lg E$, E – энергия в очаге, Дж) является $KS = 5.8$ [Сенюков и др., 2011].

На РТСС KZV и TUM регистрация ведётся по трём составляющим скорости колебания грунта в диапазоне частот 0.8–20 Гц сейсмометрами CM-3 ($T_c = 1.2$ с). На станции TUMD установлен велосиметр Guralp CMG-6TD с частотным диапазоном регистрации 0.033–40 Гц [Сейсмологические ..., 2012]. Сбор данных осуществляется в приёмном центре «Козыревск». Обработка землетрясений осуществлялась интерактивной программой Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms – DIMAS [Дрознин, Дрознина, 2010]. С помощью программы WinПОС считалась спектральная плотность мощности (СПМ) землетрясений [WinПОС, 2010].

Спектральные особенности землетрясений режима «drumbeats»

В течение всего периода извержения вулкана (декабрь 2010 г. – февраль 2013 г.) проявление сейсмичности по частоте и энергии ВЗ было различным. Выделяются два наиболее

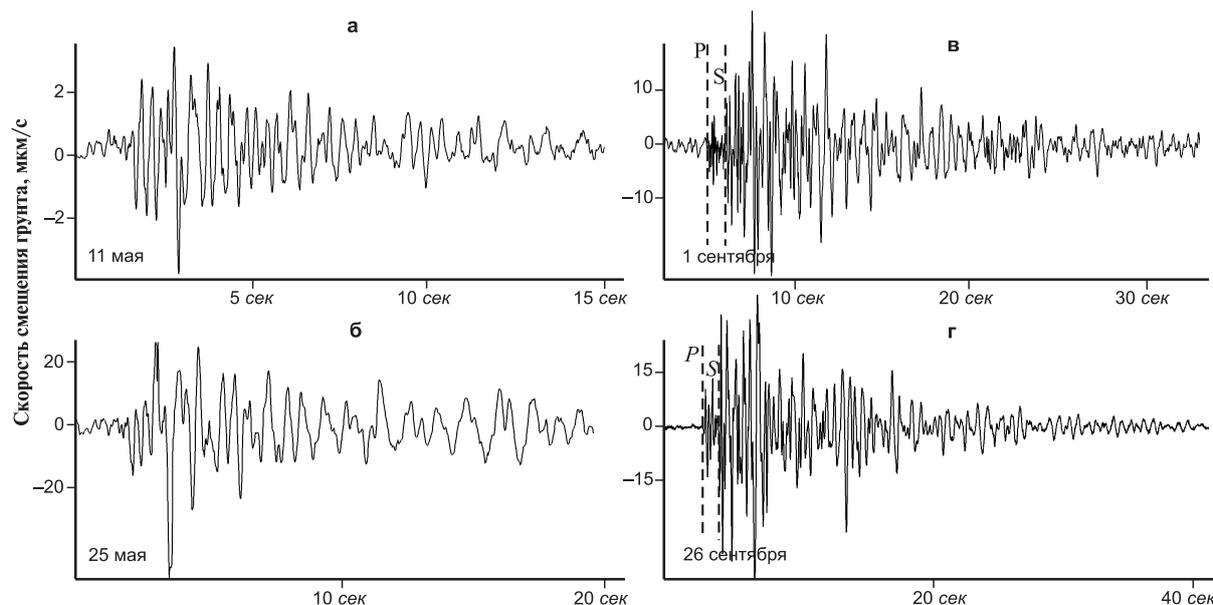


Рис. 3. Изменение волновых форм микроземлетрясений двух мультиплетов в мае (а, б) и сентябре 2011 г. (в, г)

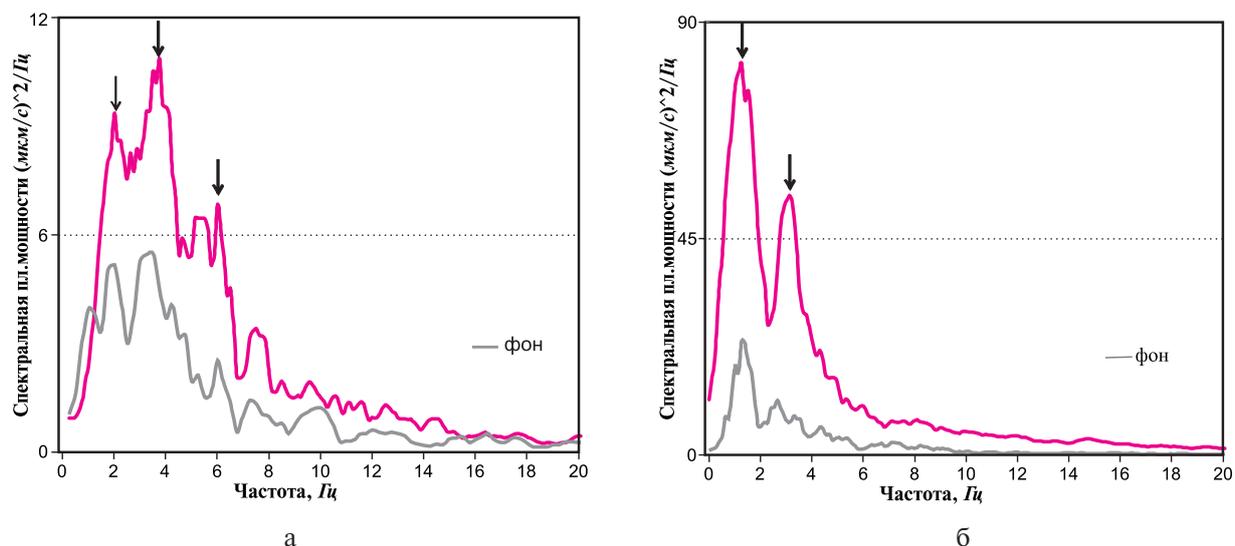


Рис. 4. Средние значения спектральной плотности мощности микроземлетрясений режима «drumbeats» и фона 11 мая (а) и 25 мая 2011 г. (б)

интенсивных периода – май-июнь и конец июля–октябрь 2011 г., сопровождавшие формирование мощного вязкого лавового потока длиной ~2 км [Фирстов, Шакирова, 2014].

С 11 мая по 12 июня 2011 г., непрерывно регистрировались мультиплеты ВЗ с $K=2-6$ различной длительности, которые по волновым формам следует отнести к ДЗ (рис. 3а, б). Их квазипериодичность варьировала от 8 до 50 с ($\bar{f}=1-8 \text{ мин}^{-1}$). Вторая серия мультиплетов ГЗ регистрировалась с конца июля по октябрь (рис. 3в, г). Энергетический класс ГЗ был заключён в диапазоне $K=4.0-5.5$, а частота квазипериодичности была $\bar{f} \leq 2 \text{ мин}^{-1}$.

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

Для ГЗ второго периода СПМ вычислялась, как и в предыдущем случае, и имеет другой

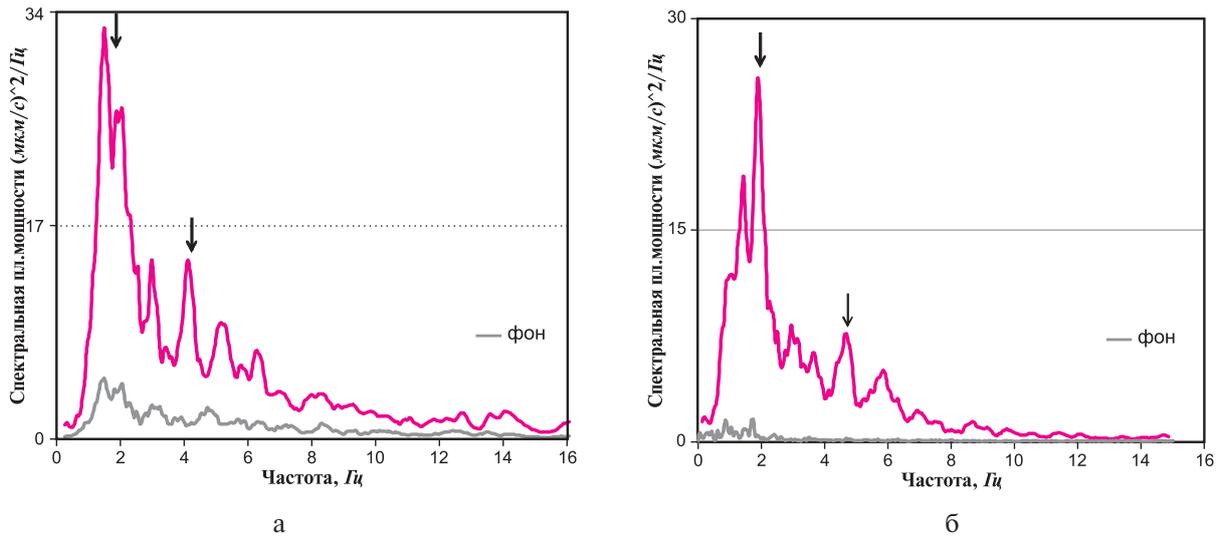


Рис. 5. Средние значения спектральной плотности мощности микроземлетрясений режима «drumbeats» и фона 1 сентября (а) и 26 сентября 2011 г. (б)

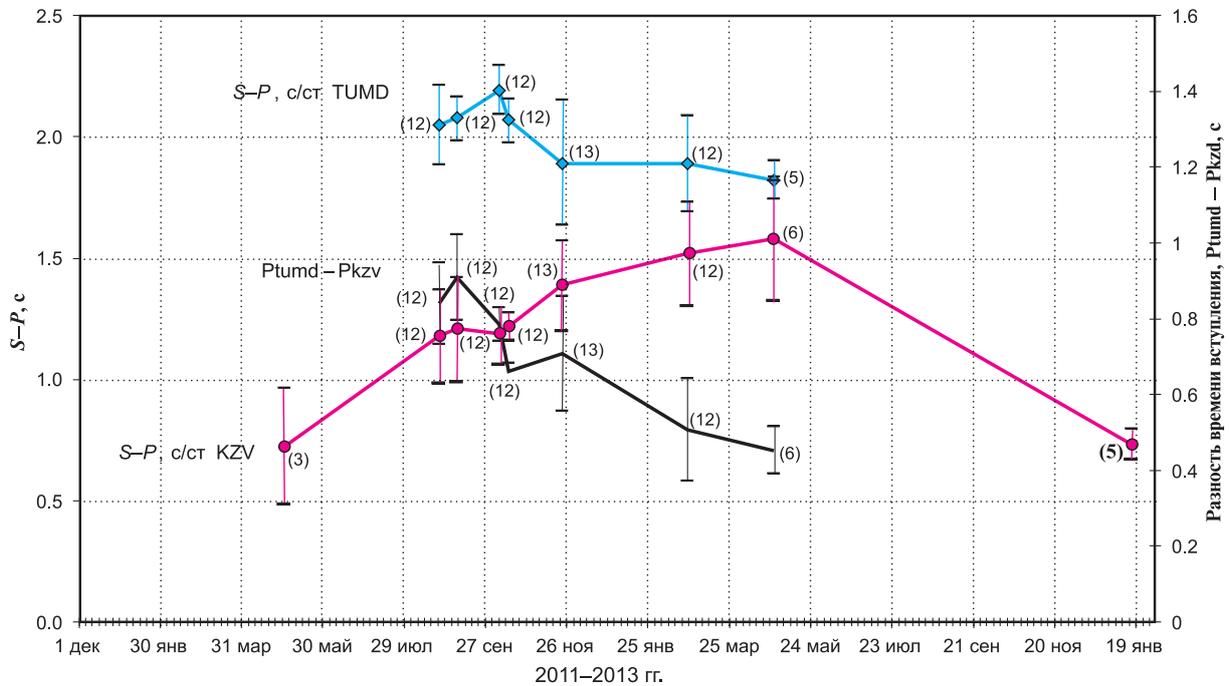


Рис. 6. Изменение разницы $S-P$ и разностей времён вступлений P -волн на станциях KZV и TUMD за период 30 мая 2011 г. – 19 января 2013 г.

характер. Так, для восьми ВЗ с $K \sim 5$ 1 сентября СПМ заключена в пределах 1–6 Гц со спектральными максимумами на частотах $\sim 1,8$ и ~ 4 Гц (рис. 5а). Кривые СПМ для землетрясений 26 сентября с $K \sim 4.5$ почти не отличаются от рассмотренных выше, выделяются спектральные максимумы на частотах ~ 2 и ~ 5 Гц (рис. 5 б).

Определение координат гипоцентров

Рассматривались разность вступлений P -волн на сейсмических станциях TUMD и KZV ($t_{TUMD} -$

t_{KZV}) и время t_{S-P} для обеих станций на шесть дат, во время которых уверенно выделялись микроземлетрясения режима «drumbeats» с чёткими вступлениями S - и P -волн. Как видно на рис. 6, наблюдаются закономерные статистически значимые изменения вступлений сейсмических волн на этих сейсмостанциях. Увеличение t_{S-P} на станции KZV с 0.7 до 1.5 с при среднеквадратичной ошибке $\sigma = 0.2$ с, и уменьшение $t_{TUMD} - t_{KZV}$ с 0.9 до 0.5 с при $\sigma = 0.1$ с свидетельствуют о том, что эпицентры землетрясений закономерно удаляются от станции KZV и приближаются

к станции TUMD. В таком случае пространственное расположение лавового потока и сейсмических станций (рис. 1) чётко указывают на то, что микроземлетрясения режима «drumbeats» генерировались в результате движения фронта вязкого лавового потока [Фирстов, Шакирова, 2014].

Локальные годографы вулканических районов Камчатки рассчитаны только для Ключевского и Авачинского вулканов. Для всех остальных вулканических комплексов обычно используется региональный годограф, но в нём заложены скоростные модели от нуля км и глубже [Кузин, 1974]. Для определения гипоцентров землетрясений мультиплета вулкана Кизимен был применён годограф Ключевского вулкана.

В программе DIMAS были определены гипоцентры для 35 наиболее сильных ГЗ за период 29.07.–01.10.2011 г. с энергетическим классом $3 < K < 6$. Как видно на рис. 7, эпицентры локализовались вблизи контура лавового 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 вулкана Кизимен тремя ближайшими станциями (KZV, TUMD, TUM) и сетью станций РТСС. Она составила по широте 0.7 км, а по долготе 2.9 км.

На вертикальном разрезе видно, что очаги землетрясений группируются на дневной поверхности склона вулкана (рис. 7б).

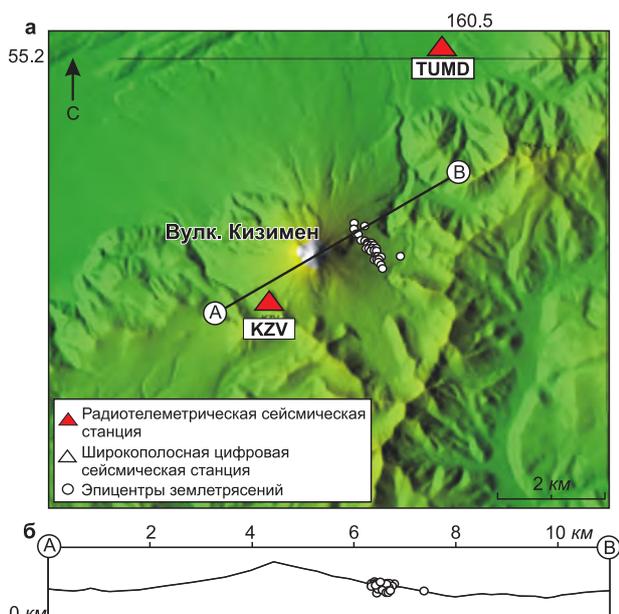


Рис. 7. Карта расположения эпицентров ГЗ режима «drumbeats» (а) и гипоцентров (б) за период 29.07. – 01.10.2011 г.

Выводы

Расположение эпицентров ВЗ, сопровождавших формирование лавового потока во время извержения вулкана Кизимен, даёт основание считать, что их генерация связана с движением по склону вулкана вязкого мощного потока. Причём, 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 её удаления от кратера.

Можно предположить, что вблизи кратера лава достаточно вязкая и под действием гравитации и сжимающего напряжения массы лавы выше фронта происходит её прерывистое скольжение с генерацией ДЗ.

По мере удаления от кратера лава становится менее вязкой. В этом случае механизмом ГЗ может быть неустойчивая подвижка с трением (stick-slip). Неустойчивая подвижка возникает на контакте двух блоков, подверженных действию касательного напряжения, вызывающего «stick-slip» [Соболев, 1993]. Под действием гравитации и сжимающего напряжения массы лавы выше фронта вначале происходит разрушения прочного барьера (зацепления), после чего начинается «скольжение» по склону вулкана.

Возникновение мультиплетов, по-видимому, можно рассматривать как процесс автоколебаний релаксационного типа.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00453-19-02.

Литература

- Гордеев Е.И., Сенюков 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.
- 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 г. – 11.12.2011 г. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 6. – С. 3–21.
- Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
- Иванов Б.В. Андезиты Камчатки. – М.: Наука, 2008. – 467 с.
- Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. – М.: Наука, 1974. – 145 с.

- Овсянников А.А., Малик Н.А.* Тейфра извержения вулкана Кизимен в декабре 2010 г. – феврале 2011 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. – С. 57–61.
- Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке.* К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений / Под ред. Е.И. Гордеева, В.Н. Чеброва. – Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2012. – С. 49–50.
- Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дроздина С.Я. и др.* Сейсмичность вулкана Кизимен // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды третьей научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 144–148.
- Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1993. – 313 с.
- 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.
- Шапцев А.Е., Кутыев Ф.Ш., Петров В.С. и др.* Вулкан Кизимен // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. – М.: Наука, 1991. – С. 18–23.
- 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.
- Garsia A.A., Kumagai H., Samaniego P., et al.* Seismic, petrologic, and geodetic analyses of the 1999 dome-forming eruption of Guagua Pichincha volcano, Ecuador // J. Volcanol. Geoth. Res. – 2007. – V. 161. – P. 333–351.
- Harrington R.M., Brodsky E.E.* Volcanic hybrid earthquakes that are brittle-failure events // Geophys. Res. Lett. – 2007. – V. 34, L06308. doi:10.1029/2006GL028714
- Matoza R.S., Chouet A.B.* Sub events of long-period seismicity: Implications for hydrothermal dynamics during the 2004 – 2008 eruption of Mount St. Helens // J. Geophys. Res. – 2010. – V. 115. – P. 1–26.
- Power J.A., Lahr J.C., Page R.A., et al.* Seismic evolution of the 1989–1990 eruption sequence of Redoubt Volcano, Alaska // J. Volcanol. Geoth. Res. – 1994. – V. 62. – P. 69–94.
- Rowe C.A., Thurber C.H., White R.A.* Dome growth behavior at Soufriere Hills Volcano, Montserrat, revealed by relocation of volcanic event swarms, 1995–1996 // J. Volcanol. Geoth. Res. – 2004. – V. 134. – P. 199–221.
- WinПОС пакет обработки сигналов.* Руководство программиста. – Мытищи: НПП «Мера», 2010. – 80 с.

Сведения об авторах

Шакирова Александра Альбертовна, мл. науч. сотр. Камчатского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: shaki@emsd.ru

Фирстов Павел Павлович, доктор физ.-мат. наук, зав. лаб. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: firstov@emsd.ru

Seismic mode “drumbeats”, caused by the movement of a viscous lava flow during the Kizimen volcano eruption in may–october 2011

© 2019 A.A. Shakirova, P.P. Firstov

KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract The “drumbeats” mode is a sequence of volcanic earthquakes with similar waveforms (multiplets) that are recorded from tens of minutes to months. As a rule, the “drumbeats” mode accompanies the squeezing of lava blocks on extrusive domes of andesite-dacite volcanoes. Squeezing and movement of a viscous lava flow during an eruption Kizimen volcano in 2010–2013 was accompanied by multiplets with energy classes $K < 6$ (magnitudes < 2.5), which were recorded from tens of minutes to months. Two series of the strongest multiplets were recorded during the four months from May to mid-October 2011. The volcanic earthquakes of multiplets can be attributed to hybrid and long-period. The coordinates of the foci were identified for the most powerful 35 events of two multiplets of “drumbeats” mode and were localized in the frontal part of the lava flow. The location of the volcanic earthquakes hypocenters suggests that they are generated during the motion of a viscous lava flow the volcano slope. The emergence of multiplets, apparently, can be considered as a process of self-oscillations of the relaxation type.

Keywords Kamchatka, seismicity, volcano, earthquake, multiplet, drumbeats, high frequency, long-period, lava flow.

For citation Shakirova, A.A., & Firstov, P.P. (2019). [Seismic mode “drumbeats”, caused by the movement of a viscous lava flow during the Kizimen volcano eruption in may–october 2011]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 1(1), 67–74. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.06>

References

- Carlisle, C.J. (2013). *Pattern recognition in earthquake from the 2009 volcanic eruption of the redoubt, Alaska*. A thesis submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Science in Geophysics Boise State University, 82 p.
- Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2010). [Interactive program for processing seismic signals DIMAS]. *Seismicheskie pribori* [Seismic devices], 46(3), 22–34. (In Russ.).
- Dvigalo, V.N., Melekestsev, I.V., Shevchenko, A.V., & Svirid, I.Yu. (2013). [The eruption of Kizimen Volcano 2010–2012 - the most productive (according to remote sensing data) on Kamchatka at the beginning of the XXI century. Part I]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 6, 3–21. (In Russ.).
- Firstov, P.P., & Shakirova, A.A. (2014). [Features of seismicity during the preparation and in the process of the eruption of the volcano Kizimen (Kamchatka) in 2009–2013]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 4, 3–20. (In Russ.).
- Garcia, A.A., Kumagai, H., Samaniego, P., Mothes, P., Yepes, H., & Monzier, M. (2007). Seismic, petrologic, and geodetic analyzes of the 1999 dome-forming eruption of the Guagua Pichincha volcano, Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 161, 333–351.
- Gordeev, E.I., & Senyukov, S.L. (1998). [Seismic activation of the Koryaksky volcano in 1994: hybrid seismic events and their use for the assessment of volcanic danger]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 4–5, 112–126. (In Russ.).
- Harrington, R.M., & Brodsky, E.E. (2007). Volcanic hybrid earthquakes that are brittle-failure events. *Geophysical Research Letters*, 34(L06308). doi: [10.1029/2006GL028714](https://doi.org/10.1029/2006GL028714)
- Ivanov, B.V. (2008). *Andezity Kamchatki* [Andesites of Kamchatka]. Moscow: Nauka Publ., 467 p. (In Russ.).
- Kuzin, I.P. (1974). *Fokal'naia zona i stroenie verkhnei mantii v raione Vostochnoi Kamchatki* [The focal zone and structure of the upper mantle in the region of Eastern Kamchatka]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 145 p. (In Russ.).
- Matoza, R.S., & Chouet, A.B. (2010). Implications for hydrothermal dynamics during the 2004–2008 eruption of Mount St. Helens. *Journal of Geophysical Research*, 115, 1–26.
- Ovsyannikov, A.A., & Malik, N.A. (2011). [Tephra of the Kizimen volcano eruption in December 2010 - February 2011]. In *Vulcanism i svyazannye s nim processy. Materialy regionalnoi konferencii 30 mart - 1 april, 2011*. [Volcanism and related processes. Mater Regional Conference March 30 - April 1, 2011] (pp. 57–61). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: IVIS FEB RAS Publ. (In Russ.).
- Power, J.A., Lahr, J.C., Page, R.A., Chouet, B.A., Stephens, C.D., Harlow, D.H., ... & Davies, J.N. (1994). Seismic evolution of the 1989–1990 eruption sequence of the Redoubt Volcano, Alaska. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 62, 69–94.

Rowe, C.A., Thurber, C.H., & White, R.A. (2004). Dome growth behavior at Soufriere Hills Volcano, Montserrat, revealed by relocation of volcanic event swarms, 1995-1996. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 134, 199-221.

Seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniia na Kamchatke. K 50-letiiu detal'nykh seismologicheskikh nabludenii (red. E.I. Gordeev, V.N. Chebrov) [Seismological and geophysical studies in Kamchatka. To the 50th anniversary of detailed seismological observations (Ed. E.I. Gordeev, V.N. Chebrov)] (2012). (pp. 49-50). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Hold. Comp. "New book" Publ. (In Russ.).

Senyukov, S.L., Nuzhdina, I.N., Droznina, S.Ya., et al. (2011). [Seismicity of Kizimen volcano]. In *Problemi kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dalnego*

Vostoka (Red. V.N. Chebrov) [Problems of complex geophysical monitoring of the Far East of Russia. Proceedings of the third scientific and technical conference (Ed. V.N. Chebrov)] (pp. 144-148). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).

Shantser, A.E., Kutuyev, F.Sh., Petrov, V.S., et al. (1991). [Kizimen volcano]. In *Aktivnye volcany Kamchatki* [Active volcanoes of Kamchatka] (pp. 18-23). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).

Sobolev, G.A. (1993). *Osnovy prognoza zemletriasenii* [Basics of earthquake prediction]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 313 p. (In Russ.).

WinPOS paket obrabotki signalov. Rukovodstvo programmista. (2010). [WinPOS signal processing package. Programmer's Guide]. Mytischki, Russia: NPP "Measure" Publ., 80 p. (In Russ.).

Information about authors

Shakirova Aleksandra Al'bertovna, Junior Researcher of the Kamchatka Branch of Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences (KB GS RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. E-mail: shaki@emsd.ru

Firstov Pavel Pavlovich, Dr., Head of Laboratory of the KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. E-mail: firstov@emsd.ru