

УДК 550.348.436+550.342

РЕЖИМ «DRUMBEATS» ВО ВРЕМЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА КИЗИМЕН В 2011 г.

Шакирова А.А.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН
г. Петропавловск-Камчатский*

Научный руководитель д.ф.-м.н. Фирстов П.П.

Рассмотрен сейсмический режим вулкана Кизимен во время его извержения в период с мая по ноябрь 2011 г. Исследована динамика возникновения квазипериодических микроземлетрясений (режим «drumbeats» - барабанный бой). Рассмотрены особенности волновых форм и спектральные характеристики микроземлетрясений отдельных этапов этого режима. Наибольшая интенсивность микроземлетрясений режима «drumbeats» наблюдалась в мае-июне 2011 г. По-видимому, этот режим сопровождается выдавливанием жестких блоков вязкой магмы первой порции извержения, что наблюдалось во время извержения вулкана Сент-Хеленс в 2004-2005 гг.

Ключевые слова: сейсмичность, микроземлетрясение, Кизимен, динамика, спектральные характеристики, «drumbeats».

ВВЕДЕНИЕ

Кизимен (2485 м н. у. м.) - действующий стратовулкан эксплозивно-эффузивно-экструзивного типа, корово-мантийного питания, расположенный в восточной части Щапинского грабена Центральной Камчатской депрессии (рис. 1). Вулкан приурочен к системе крупноамплитудных сбросов северо-восточного простирания зоны сочленения Щапинского грабена с горстом хр. Тумрок [5]. Состав продуктов извержений от плагиоклазовых базальтов до роговообманково-кварцесодержащих дацитов [2].

В активности вулкана выделяется IV цикла длительностью 2.5-3.0 тыс. лет, причем длительность IV цикла приблизилась к предель-



Рис. 1. Расположение вулкана Кизимен на Камчатке. На врезке показаны ближайшие к вулкану сейсмические станции.

ной. На основании этого в 1992 г. был высказан обоснованный прогноз о возможности начала нового цикла в результате инъекции очередной порции свежей магмы в область питания в. Кизимен [3].

Действительно, с конца апреля 2009 г. в районе вулкана начался рой вулcano-тектонических землетрясений, который предвещал извержение [1]. В настоящее время вулкан находится в активной стадии извержения с излиянием лавового потока.

В целом, активность вулкана проявляется согласно одного из вариантов прогноза извержения этого вулкана сделанного в работе [3].

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, СОПРОВОЖДАВШИЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА КИЗИМЕН В 2011 Г

23 января 2011 года на сейсмограммах РТСС КЗУ была отмечена необычная сейсмичность в виде квазипериодичных микроземлетрясений с амплитудой одного уровня и длительностью от десятков минут до нескольких часов. Подобные микроземлетрясения были зарегистрированы впервые за период извержения вулкана Кизимен [4]

С 13 мая микроземлетрясения начали регистрироваться непрерывно. Их энергетические классы составили $K_s = 2-5.5$, квазипериодичность от 8 до 50 с. Особенностью этих микроземлетрясений является квазипостоянство амплитуды на длительных временных участках. При малых интервалах времени между микроземлетрясениями запись становилась непрерывной и напоминала спазматическое вулканическое дрожание (ВД).

В период с сентября 2004 г до конца 2005 г на растущем андезитовом куполе вулкана Сент-Хеленс наблюдалась качественно похожая сейсмичность. Квазирегулярное появление микроземлетрясений в работах [6, 7] было названо «drumbeats» - барабанным боем. По мнению авторов работ, режим «drumbeats» был связан с выжиманием блоков вязкой магмы, что наглядно было продемонстрировано в видеонаблюдениях с камеры, установленной на северо-восточном крае кратера вулкана Сент-Хеленс.

На рис. 2а-5а показаны четырехчасовые фрагменты записей микроземлетрясений на РТСС KZV (расположенной в 2.5 км от вершины вулкана Кизимен) на четыре даты. Приведенные записи сейсмических сигналов на различные даты имеют различный коэффициент закругления K .

На рисунках продемонстрированы вариации в режиме «drumbeats», которые выражаются в изменениях амплитуд и частот микроземлетрясений, а также их волновых форм (рис. 2б-5б). Если на рис. 2а и 3а видны отдельные микроземлетрясения, то на рис. 4а микроземлетрясения происходят настолько часто, что запись сигналов сливается и наблюдается квазисинусоидальный сигнал, напоминающий спазматическое ВД.

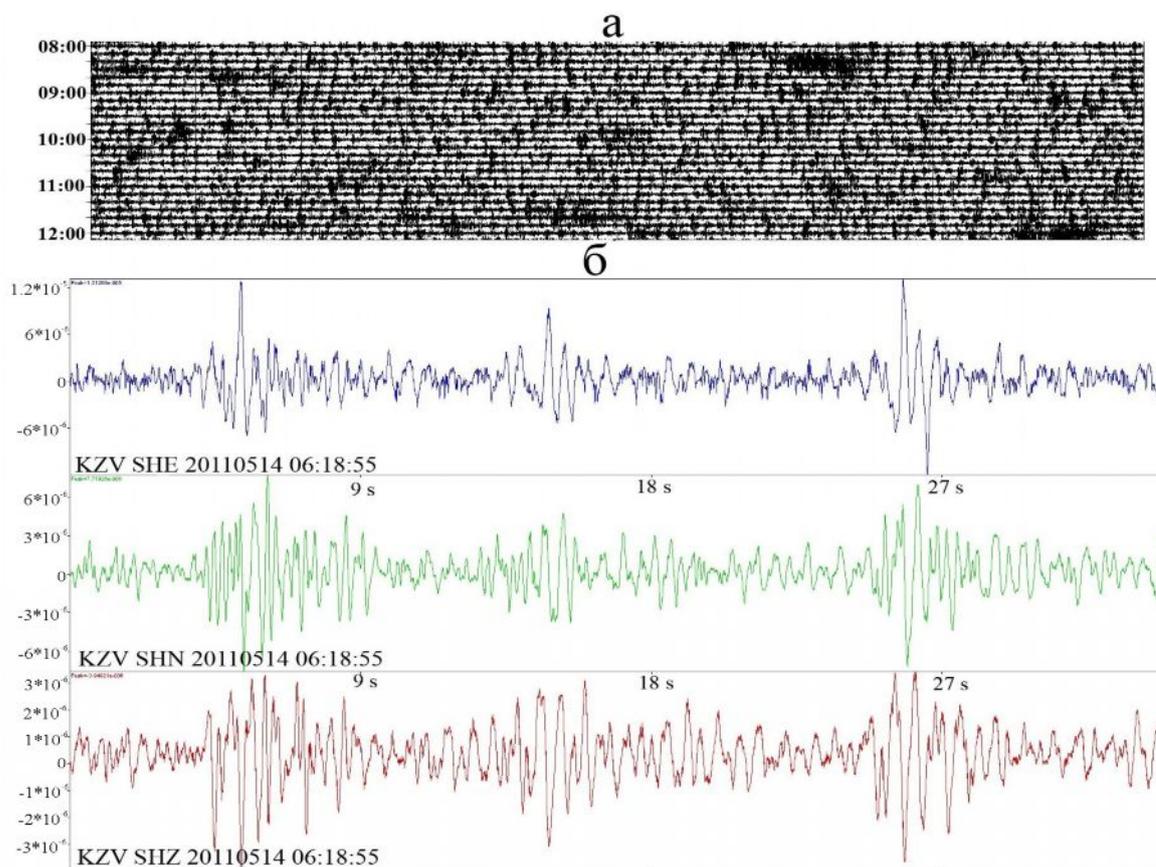


Рис. 2. а - четырехчасовые фрагменты записи сейсмических эффектов за 14 мая 2011г., сопровождающих извержение вулкана Кизимен, зарегистрированные на РТСС KZV на горизонтальной составляющей N-S, $K=13$; б – волновые формы землетрясений на трехканальной записи РТСС KZV за 14 мая.

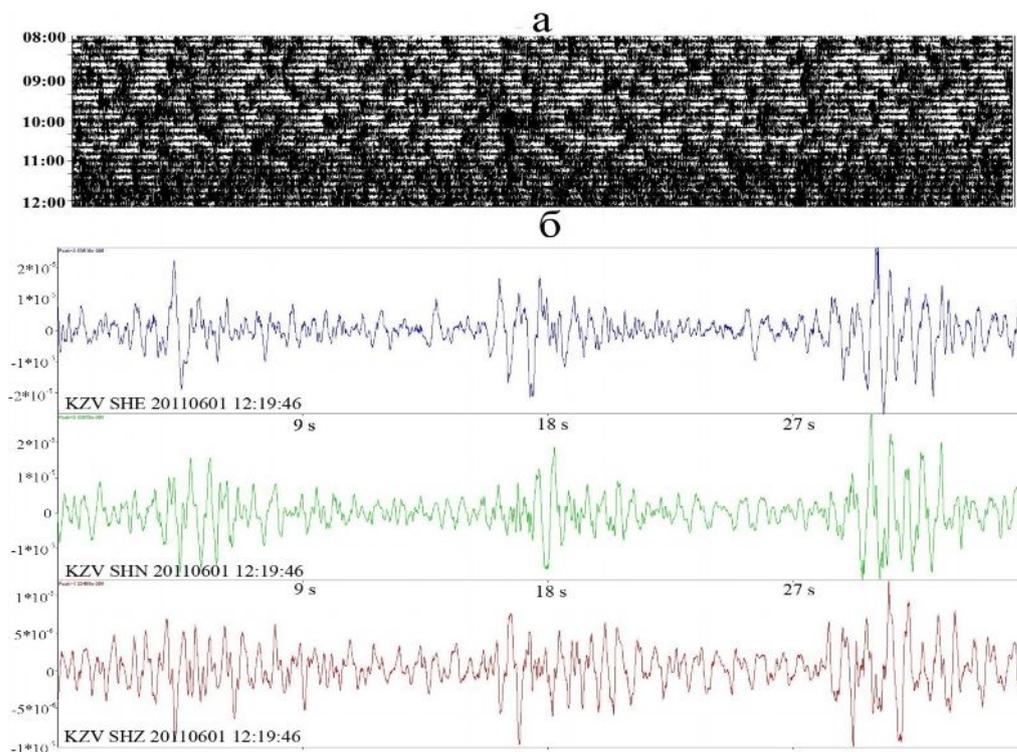


Рис. 3. Четырехчасовые фрагменты записи сейсмических эффектов за 1 июня 2011 г., $K=30$ (а); волновые формы землетрясений на трехканальной записи РТСС КЗВ за 1 июня (б).

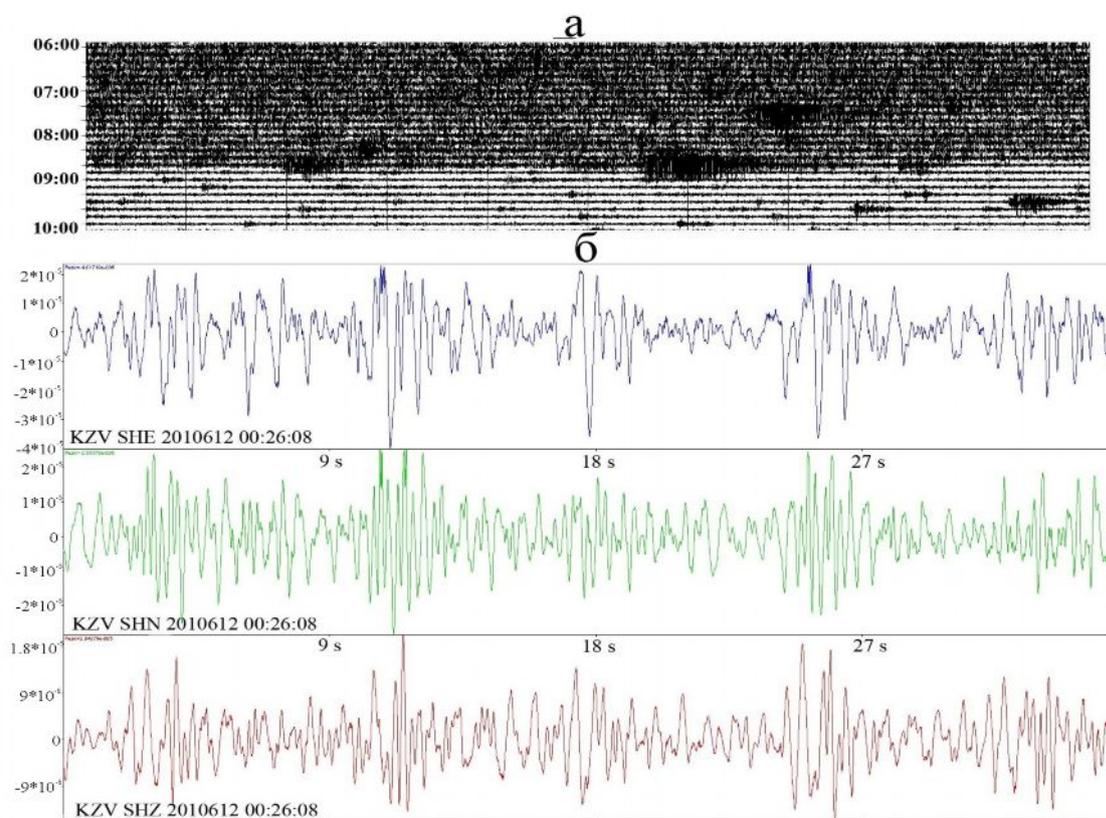


Рис. 4. Четырехчасовые фрагменты записи сейсмических эффектов за 12 июня, $K=40$ (а); волновые формы землетрясений на трехканальной записи РТСС КЗВ за 12 июня (б).

На рис.5а видны два типа микроземлетрясений, отличающихся амплитудными характеристиками.

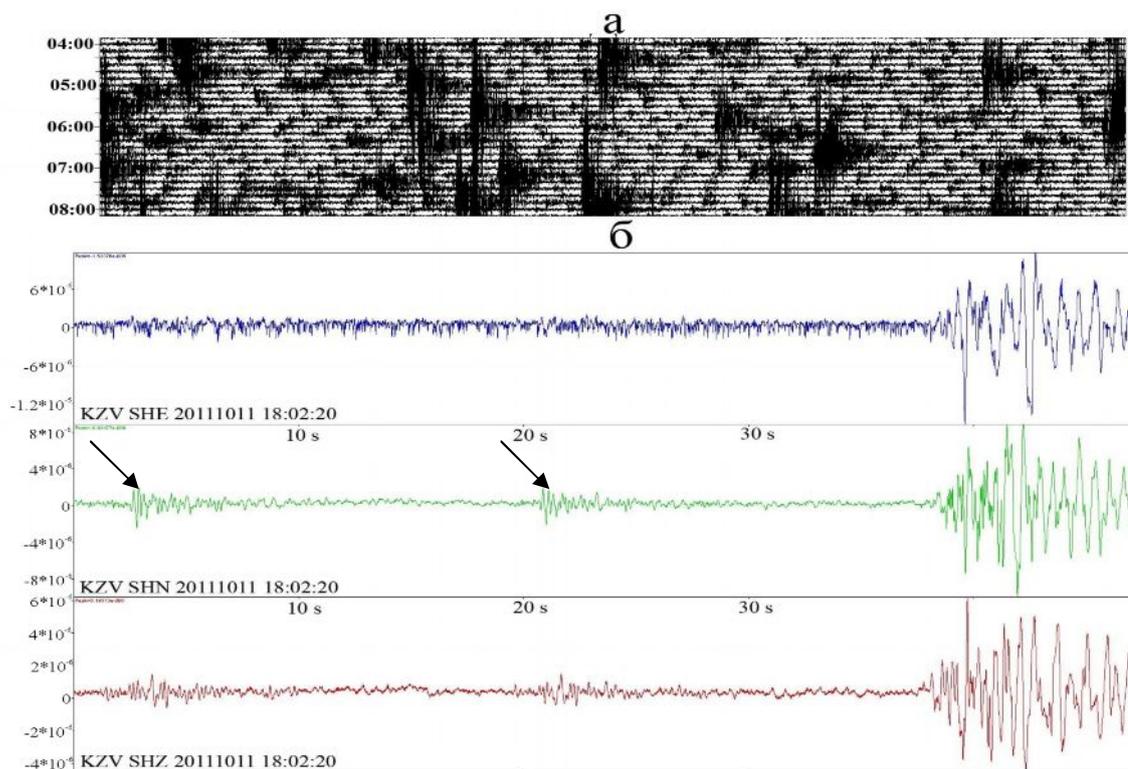


Рис. 5. Четырехчасовые фрагменты записи сейсмических эффектов за 11 октября 2011 г., $K=2$ (а); волновые формы землетрясений на трехканальной записи РТСС KZV за 11 октября (б). Стрелками оказаны микроземлетрясения режима «drum-beats» II типа.

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

С целью исследования изменений в динамике сейсмического процесса с 12 мая в каждые сутки в 4 интервалах УТ времени длительностью один час (0:00, 6:00, 12:00, 18:00 часов) считалось количество микроземлетрясений, и рассчитывалась их частота (N). Как видно на рис. 6, с 13 мая частота микроземлетрясений варьировала от 1.5 до 10 в мин^{-1} . При $N > 7$ происходило слияние отдельных микроземлетрясений, и запись начинала напоминать запись спазматического ВД. За период с 13 мая по 12 июня всплески частоты появления микроземлетрясений ($N > 5$) наблюдались 13, 20-22 мая и 12 июня в начале дня (Рис. 6). После достаточно сильного землетрясения, которое по волновой картине следует отнести к взрывным вулканическим, 12 июня в 4:52 УТ, произошло заметное изменение сейсмичности, когда частота микроземлетрясений резко уменьшилась. В 8:45

UT произошло следующее эксплозивное землетрясение, после которого режим «drumbeats» прекратился (Рис. 4а).

Вновь режим «drumbeats» появился 19 июня и продолжался до 26 июня. Частота микроземлетрясений варьировала от 2 до 6 в мин⁻¹.

25 июля начался очередной период режима «drumbeats», который продолжался до 12 октября (Рис. 7). С 7 по 12 октября количество микроземлетрясений уменьшилось с 21 до 2 в минуту. Землетрясения стали происходить хаотически. Энергетические классы составили $K_s=4-6$.

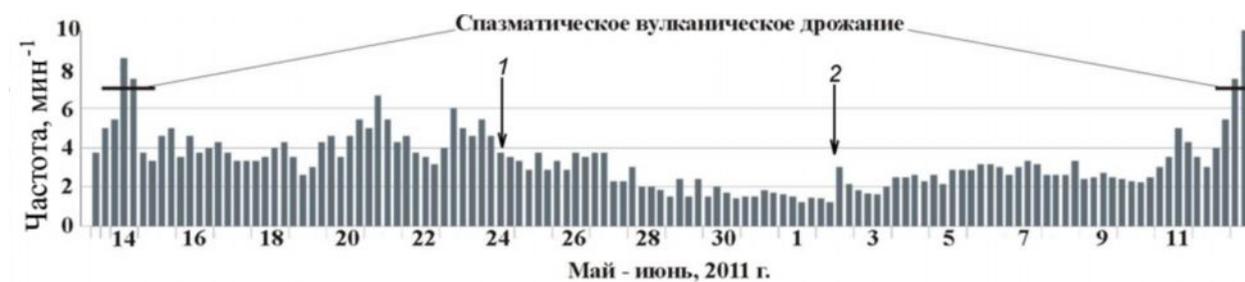


Рис. 6. Распределение средней частоты следования микроземлетрясений в 0:00, 6:00, 12:00, 18:00 часов UT каждые сутки за май-июнь 2011г. Стрелками показаны дни с характерными записями сейсмичности на данном этапе режима «drumbeats».

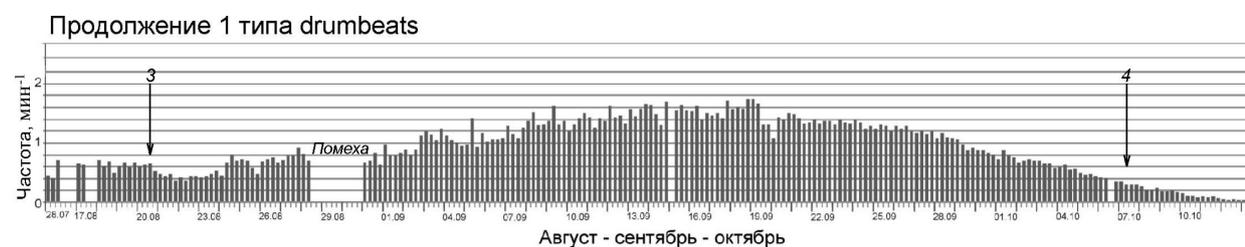


Рис. 7. Распределение средней частоты следования микроземлетрясений в 0:00, 6:00, 12:00, 18:00 часов UT каждые сутки за август-октябрь 2011г. Стрелками показаны дни с характерными записями сейсмичности на данном этапе режима «drumbeats».

В процессе извержения наблюдались существенные вариации амплитуды скорости смещения грунта ($2\dot{A}$). Так с 13 мая до начала июня максимальная двойная амплитуда увеличилась с 0.5 до 5 мкм/с, а к концу июня уменьшилась до 0.7 мкм/с.

С 17 августа максимальная двойная амплитуда микроземлетрясений стала возрастать и к 5 сентября достигла значения $2\dot{A}_{\max} = 4.8$ мкм/с. К

концу сентября $2\dot{A}_{\max}$ составила 2-3 мкм/с и в октябре уменьшилась до 1-2 мкм/с, на 12 октября $2\dot{A}_{\text{cp}} = 0.91$ мкм/с.

12 октября на фоне хаотически расположенных микроземлетрясений стали регистрироваться «drumbeats» второго типа (рис. 5). Особенностью этих микроземлетрясений также является квазипериодичность и квазипостоянство амплитуды на длительных временных участках, но двойная амплитуда $2\dot{A}_{\max}$ «drumbeats» II типа изменялась в пределах 0.05-0.55 мкм/с ($K_s=2-4$), что значительно меньше $2\dot{A}_{\max}$ для режима «drumbeats» I типа. Частота микроземлетрясений в среднем составила одно землетрясение в мин (Рис. 8).

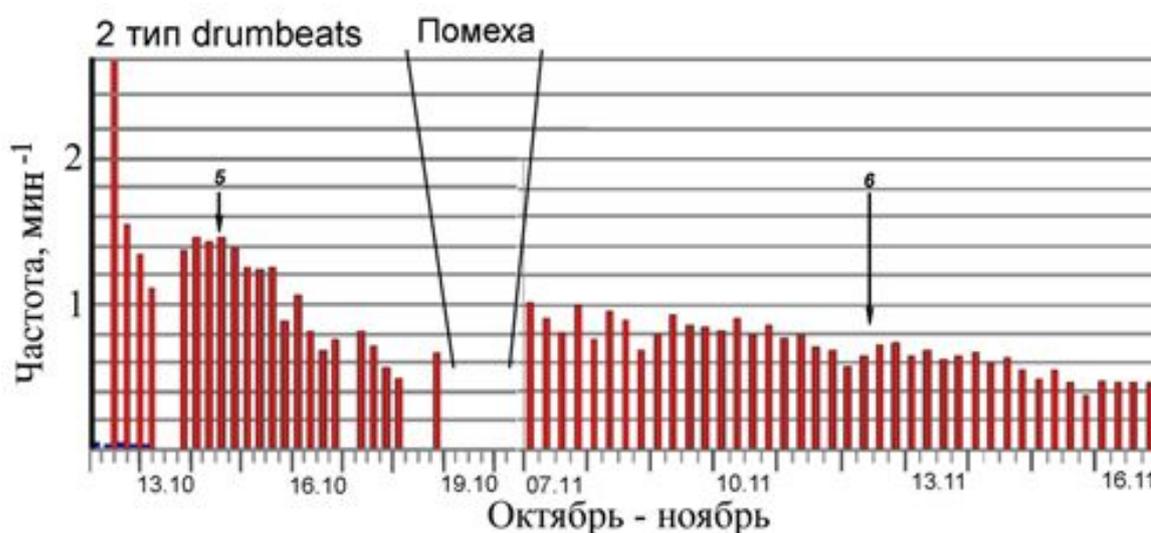


Рис. 8. Распределение средней частоты следования микроземлетрясений в 0:00, 6:00, 12:00, 18:00 часов UT каждые сутки за октябрь-ноябрь 2011г. Стрелками показаны дни с характерными записями сейсмичности на данном этапе режима «drumbeats».

В табл. 1 приведена общая характеристика динамики сейсмического процесса в Кизимен в период с 23 января по 16 октября 2011г.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ «DRUMBEATS» В ПРОЦЕССЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ

Среди тысячи микроземлетрясений было трудно выявить их трансформацию во времени. Одним из средств изучения изменений стал спектральный анализ микроземлетрясений.

Таблица 1. Характеристики динамики сейсмического процесса в период с 23 января по 16 октября 2011г.

Число/месяц 2011 г.	Характер сейсмичности	$N, (\text{мин}^{-1})$	$2\dot{A}, \text{ мкм/с}$
23/01 - 12/05	Кратковременное появление режима «drumbeats» в течение нескольких часов	-	-
12/05 - 26/06	Drumbeats, прерываемые дрожанием в период 12/06-14/06, 16/06-19/06, 22/06-24/06	8.5	5.03
26/06 - 25/07	Дрожание, drumbeats по высокочастотному каналу	-	1.74 (по данным ЛИСВА)
26/07 - 28/07	Drumbeats	0.7	0.57
29/07 - 17/08	Нет информации	-	-
17/08 - 12/11	Drumbeats	1.7	4.8
19/10 - 07/11	Нет информации	-	-
12/11 - 16/11	II тип drumbeats	1.5	0.55

Для каждого из этапов режима «drumbeats» было выбрано два дня с характерной записью (всего 6 дней), которые отмечены на рис 6-8 стрелками. Соответственно, в течение каждых суток выбиралось одно микроземлетрясение (участок длительностью 15 секунд) и рассчитывалась спектральная плотность мощности.

На рис. 9 приведены спектральные плотности мощности (СПМ) четырех микроземлетрясений I типа, а также СПМ фона. Видно, что максимум СПМ для первых двух дат приходится на частоту 1.2 Гц, а в августе и октябре максимальный спектральный пик смещается в сторону высоких частот $f = 1.8$ Гц. Это может указывать на то, что размеры источника микроземлетрясений в процессе извержения несколько уменьшились.

На СПМ фона наблюдается пик на этой же частоте. Совпадения частот спектральных пиков микроземлетрясений и фона, по-видимому, можно объяснить возникновением дополнительного источника микроколебаний (вулканического дрожания) в этот период извержения.

На рис. 10 приведены СПМ двух микроземлетрясений II типа и СПМ фона. Спектральный максимум для микроземлетрясений приходится на $f = 0.8$ Гц. Как на кривых СПМ микроземлетрясений, так и на кривых фона четко выделяется спектральный максимум на $f = 18$ Гц.

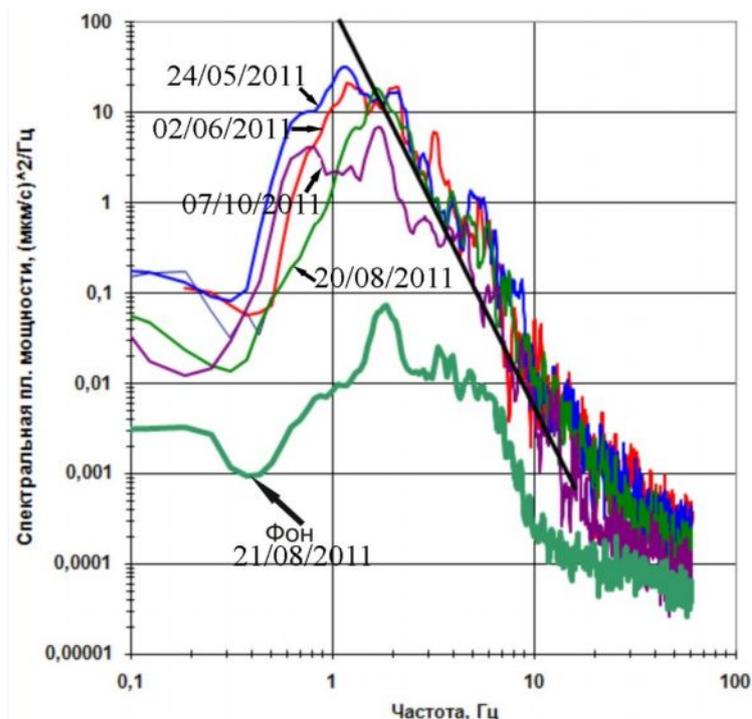


Рис. 9. Спектральные плотности мощности микроземлетрясений I типа на четыре даты и СПМ фона.

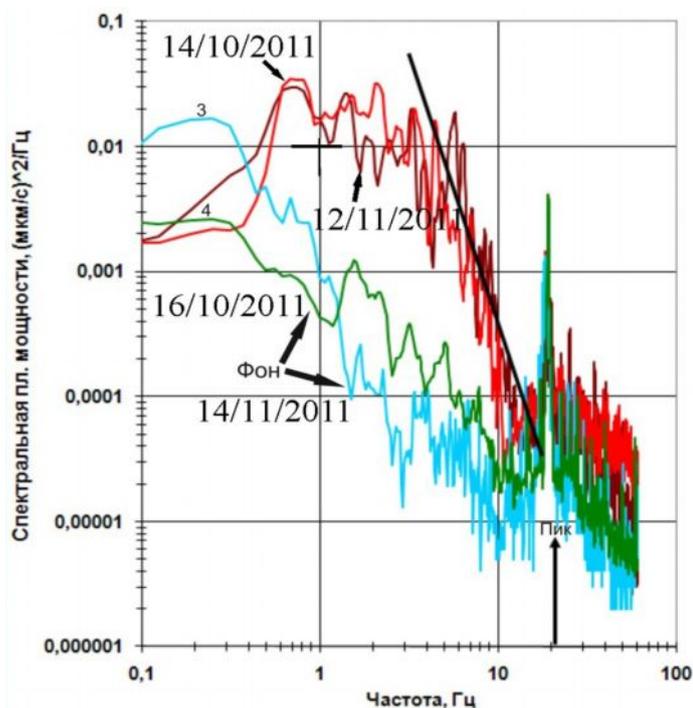


Рис. 10. Спектральные плотности мощности микроземлетрясений II типа и СПМ фона.

Следует отметить, что этот пик присутствует на всех составляющих записей микроземлетрясений и не может быть аппаратурной помехой. По-видимому, он связан с определенными процессами данного извержения, что требует дальнейшего исследования.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Если принять модель режима «drumbeats» как показано на рис. 11 [5], то режим «drumbeats» I типа мог возникать за счет выдавливания вязкой магмы из кратера вулкана. Не исключено, что режим «drumbeats» II типа генерируется движением лавового потока у подножия конуса.

К сожалению, детальных визуальных или видеонаблюдений процесса формирования лавового потока у автора нет, хотя их сопоставление с сейсмическими явлениями могли пролить свет на механизм истечения лавы для этого неординарного извержения.

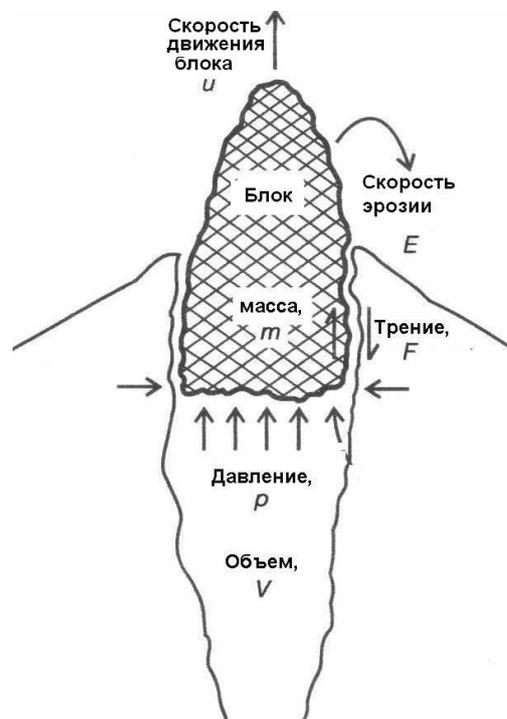


Рис. 11. Модель генерации режима «drumbeats» для извержения в. Сент-Хеленс [5].

ВЫВОДЫ

1. В первом приближении рассмотрена динамика режима «drumbeats» извержения вулкана Кизимен в 2011 г., которая, предположительно, связана с процессами выдавливания вязкой лавы из кратера вулкана и движением лавового потока у подножия конуса.

2. Обнаружены слабые квазигармонические колебания на частотах 1.8 и 18 Гц, которые, по-видимому, можно считать вулканическим дрожанием.

3. Планируется продолжение работы по детальному изучению сейсмических явлений, сопровождающих извержение в Кизимен с привлечением спектрального анализа и других современных методов обработки сейсмических сигналов.

Данную работу можно считать развернутым планом к дальнейшему детальному исследованию сейсмических явлений извержения вулкана Кизимен.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д. ф.-м.н. П.П. Фирстову, а также В.Т. Гарбузовой за то, что она обратила внимание на столь необычное проявление сейсмичности на вулкане Кизимен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарбузова В.Т., Соболевская О.В. Сейсмическая активизация в районе вулкана Кизимен в 2008–2010 гг. // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2011 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. – 176 с.
2. Иванов Б.В. Андезиты Камчатки. М.: Наука, 2008. 467 с.
3. Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волынец О.Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) – будущий Сент-Хеленс // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 3-32.
4. Шакирова А.А., Махмудов Е.Р., Фирстов П.П. Сейсмические явления на вулкане Кизимен в мае-июне 2011 г. // Материалы мол. науч. симпозиума «Современные научные исследования на Дальнем Востоке». 2011. Южно-Сахалинск. С. 18-22.
5. Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш., Петров В.С., Зубин М.И. Вулкан Кизимен // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука; 1991. С. 18-23.
6. Iverson R.M., Dzurisin D., Gardner C.A. et al. Dynamics of seismogenetic volcanic extrusion at Mount St Helens in 2004-2005 // Nature. 2006. V. 444. P. 439-443.

7. 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.

REGIME «DRUMBEATS» DURING THE ERUPTION
OF VOLCANO KIZIMEN IN 2011

Shakirova A.A.

*Kamchatka Branch of Geophysical Service of RAS,
Petropavlovsk-Kamchatsky*

The seismicity of the volcano Kizimen during the eruption of period May-November 2011 was considered. Dynamics of quasi-periodic occurrence of earthquakes (regime «drumbeats») and the features of earthquake's waveform and spectral characteristics of this regime were studied. The highest intensity of manifestation of the regime was observed in May-June 2011. Apparently, this regime is accompanied with extrusion of viscous magma rigid blocks the first portion of the eruption, as observed during the eruption of Mount St. Helens in 2004-2005.

Key words: seismicity, Kizimen, dynamics, spectral characteristics, «drumbeats».