

Современные геологические процессы

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, СОПРОВОЖДАВШИЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА КИЗИМЕН В 2011 г.

Кизимен (2485 м н. у. м.) — действующий вулкан эксплозивно-эффузивно-экструзивного типа, корово-мантийного питания, расположенный в восточной части Шапинского грабена Центральной Камчатской депрессии (рис. 1). Вулкан приурочен к системе крупноамплитудных сбросов северо-восточного простирания зоны сочленения Шапинского грабена с горстом хребта Тумрок. Состав продуктов извержений от плагиоклазовых базальтов до роговообманково-кварцесодержащих дацитов (Шанцер и др., 1991).

По морфологии верхняя часть вулкана имеет сложное строение — комбинацию из нескольких разных по размеру, степени сохранности и возрасту сближенных экструзивных куполов с их мощными агломератовыми мантиями (Мелекесцев и др., 1992). В активности вулкана выделяется IV цикла, каждый длительностью 2.5-3.0 тыс. лет, причем длительность последнего IV цикла приблизилась к предельной. На основании этого в 1992 г. был дан обоснованный прогноз о возможности начала нового цикла в результате инъекции очередной порции

свежей магмы в область питания вулкана Кизимен (Мелекесцев и др., 1992).

В настоящее время вблизи вулкана Кизимен работают три радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС) Камчатского филиала ГС РАН (рис. 1). Координаты РТСС и расстояние от них до кратера вулкана приведены в таблице. На РТСС TUMD в июле 2011 г. была установлена фотокамера, которая производит съемку вулкана с частотой один кадр в минуту, что позволяет идентифицировать сейсмические сигналы с проявлениями вулканической активности определенного вида.

В конце апреля 2009 г. в районе вулкана сетью РТСС КФ ГС РАН был зарегистрирован вулcano-тектонических землетрясений из района вулкана Кизимен (Гарбузова, Соболевская, 2011), который предвещал извержение и был связан с внедрением свежей порции магмы. Новое извержение вулкана Кизимен началось в декабре 2010 г. серией эксплозий, причем почти каждая эксплозия сопровождалась схождением пирокластического потока (Малик, Овсянников, 2011). Одна из сильных эксплозий произошла 31 декабря 2010 г., когда выпадение пепла наблюдалось на расстоянии до 300 км, а объем выброшенного пепла, оцененного по волновым возмущениям в атмосфере, сопровождавшим эту эксплозию, составил $4 \cdot 10^6$ м³ (Фирстов и др., 2011).

Выжимание вязкого дацитового лавового потока и формирование внутрикратерной экструзии, естественно должно сопровождаться схождением обвальных и автоэксплозивных каменных лавин, как это наблюдалось на андезидацитовом вулкане Безымянный (Малышев, 2000). На рис. 2 приведены кадры фотосъемки, снятые с интервалом в две минуты, схождения автоэксплозивной каменной лавины 21 июля 2011 г. по абразивной впадине, образовавшейся в результате систематического схождения раскаленных обвальных и автоэксплозивных каменных лавин.

Резкое усиление эксплозивной активности вулкана наблюдалось около 8 часов 14 декабря (LT). В течение почти 8 часов по абразивной

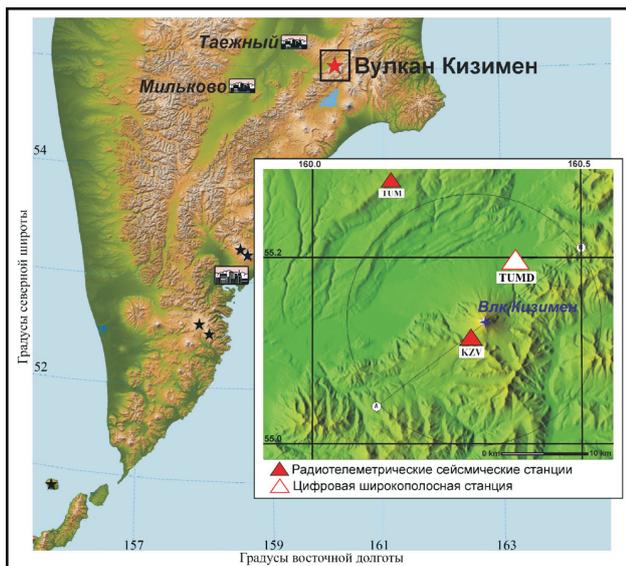


Рис. 1. Расположение вулкана Кизимен на Камчатке. На врезке показаны ближайшие к вулкану сейсмические станции КФ ГС РАН. KZV — Кизимен, TUMD — Тумрокские источники, TUM — Тумрок.

Координаты ближайших к вулкану Кизимен РТСС и их высоты н.у.м.

Станция	Код	Широта, гр. с.ш.	Долгота, гр. в.д.	Высота, м	Удаленность, км
Кизимен	KZV	55.113	160.294	1509	2.5
Тумрок	TUM	55.283	160.146	1213	20.0
Тумроцкие источники	TUMD	55.203	160.399	486	6.0

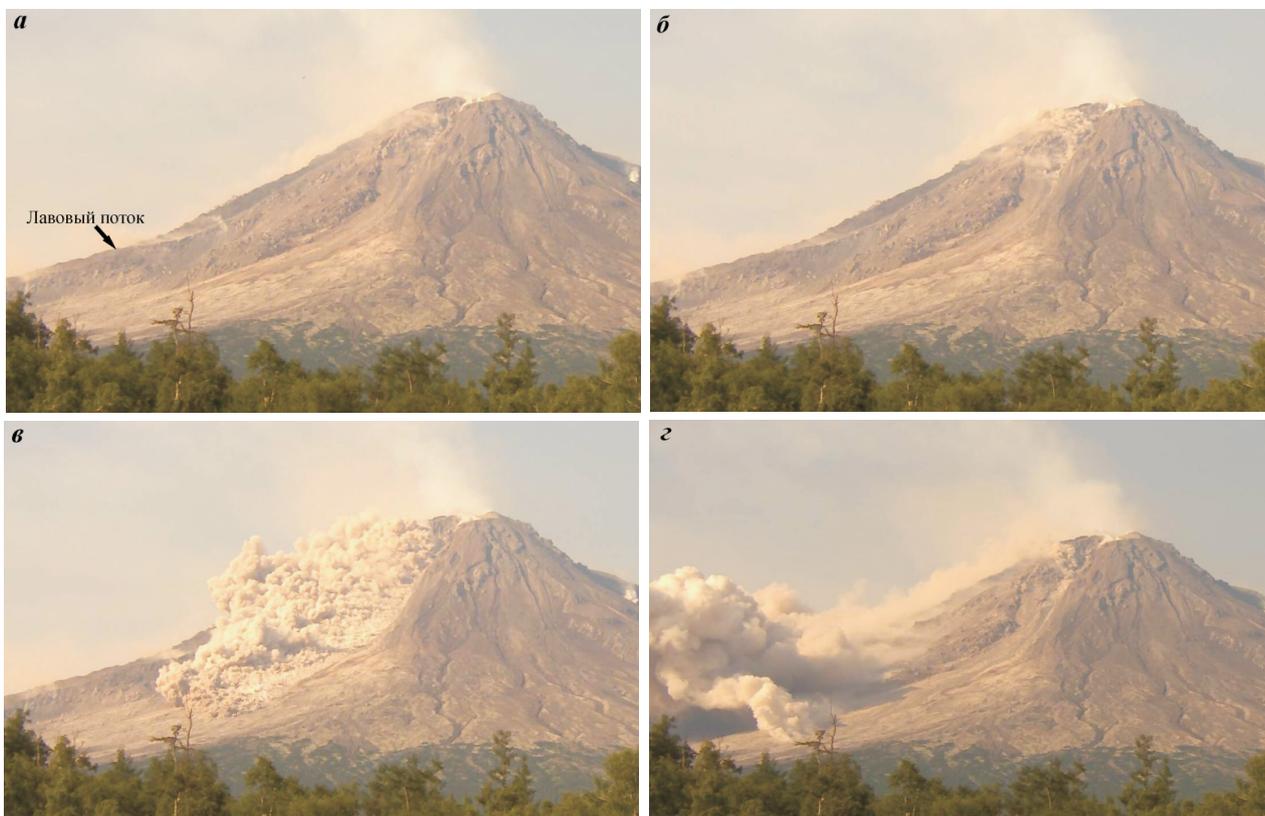


Рис. 2. Схождение раскаленной каменной лавины 5 августа 21 ч 02 мин, заснятое режимной фотокамерой, установленной в 6 км от кратера на РТСС TUMD, интервал между съемкой две минуты (а-г).

впадине происходило многократное схождение пирокластических потоков с интервалом между ними от 2 до 15 минут.

В конце февраля 2011 г. на юго-восточный склон вулкана начал выжиматься вязкий лавовый поток (Малик, Овсянников, 2011), который в конце июля спустился к подножию конуса (рис. 3а). На рис. 3б показан фронт лавового потока 14 сентября, который достиг пологонаклонной равнины (2-5°) у подножия вулкана, которая образована древними пирокластическими потоками (рис. 3б). На конец сентября длина лавового потока составляла не более двух километров (устное сообщение В.Н. Двигало).

На рис. 4а приведен сейсмический сигнал, записанный на РТСС KZV и TUMD, сопровождавший сход автоэксплозивной каменной лавины 5 августа 2011 г., динамика развития которой, показана на рис. 2. По форме записи такие сигналы хорошо выделяются и могут быть отнесены к отдельному типу вулканических «эксплозивных землетрясений».

На рис. 4б приведен часовой фрагмент записи сейсмических сигналов на вертикальной составляющей этих же РТСС, сопровождающих сход пирокластических потоков, во время усиления взрывной активности вулкана 13 декабря 2011 г. Как видно на огибающей записи сейсмических эффектов на вертикальной составляющей, построенной по записям станций KZV и TUMD с постоянной времени 3 секунды, за четыре часа произошло извержение 16 пирокластических потоков близких по интенсивности и около 10 более слабых (рис. 4в).

В дальнейшем планируется изучение особенностей волновой картины и спектрального состава сейсмических сигналов, связанных со сходом пирокластических потоков и раскаленных каменных лавин.

На сейсмограммах ближайшей к вулкану РТСС KZV 23 января 2011 года была отмечена необычная сейсмичность в виде квазипериодичных микроземлетрясений с амплитудой одного уровня. Длительность проявления такой сейсмичности

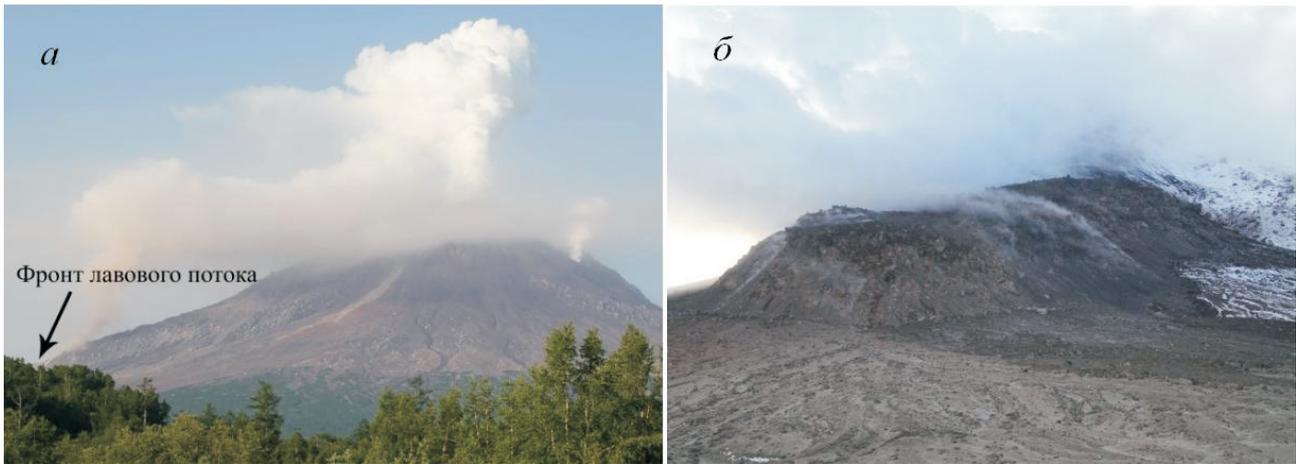


Рис. 3. Общий вид вулкана Кизимен 21 июля (а – фото А.А. Шакировой), фронт лавового потока 14 сентября (б – фото В.В. Яшука).

колебалась от десятков минут до нескольких часов. С 13 мая микроземлетрясения с квазипериодичностью от 8 до 50 секунд и энергетическим классом $K = 2-5.5$ ($K = \lg E$, Дж) начали регистрироваться непрерывно. Отличительной особенностью этой сейсмичности являлось квазипостоянство K на длительных временных участках. При малых интервалах времени между микроземлетрясениями запись сливалась, становилась непрерывной и напоминала спазматическое вулканическое дрожание (Шакирова и др. 2011).

Проявление подобной сейсмичности на вулканах Камчатки ранее не наблюдалось, но на вулкане Сент-Хеленс (Каскадные горы, США) в период с сентября 2004 г. до конца 2005 г. наблюдалась похожая сейсмичность во время роста экструзивного купола в кратере вулкана. Квазирегулярное появление микроземлетрясений в работах американских вулканологов было названо «drumbeats» – барабанный бой. По их мнению, режим «drumbeats» был связан с выжиманием отдельных блоков вязкой магмы на экструзивном куполе, что подтверждалось видеонаблюдениями кинокамеры, которая была установлена на северо-восточном крае кратера вулкана Сент-Хеленс (Iverson et al., 2006; Moran et al., 2007).

На рис. 5а и 6а приведены фрагменты обзорных записей микроземлетрясений на РТСС КЗВ на две даты 14 мая и 11 октября 2011 г. На этих рисунках продемонстрированы вариации в режиме «drumbeats», которые выражаются в изменениях амплитуд и частот микроземлетрясений, а также их волновых форм (рис. 5б, 6б). В мае регистрировался чистый режим «drumbeats», на фоне которого эксплозивные землетрясения были довольно редки (рис. 5а). В октябре на фоне квазипериодических микроземлетрясений режима «drumbeats» стали часто происходить эксплозивные землетрясения, которые, на взгляд авторов, обусловлены изменением режима из-

вержения. По-видимому, это связано с перераспределением расхода лавового материала в виде лавового потока и каменных лавин.

С целью исследования изменений в динамике сейсмического процесса с 14 мая 2011 г. каждые сутки в четырех интервалах длительностью один час (0, 6, 12, 18, УТ времени) производился подсчет числа микроземлетрясений, и рассчитывалась их частота в минуту (N).

Как показано на рис. 7а, с 13 мая по 11 июня частота микроземлетрясений варьировала от 1.5 до 7 в минуту. Причем при $N > 7$ происходило слияние отдельных микроземлетрясений, и запись начинала напоминать запись спазматического вулканического дрожания. В этот период всплески с $N > 5$ наблюдались 13, 20–22 мая и 12 июня в начале дня (рис. 7а). После достаточно сильного землетрясения, которое по волновой картине следует отнести к эксплозивным, 12 июня в 4:52 УТ, произошло заметное изменение сейсмичности, когда частота микроземлетрясений резко уменьшилась. В 8:45 УТ произошло следующее эксплозивное землетрясение, после которого режим «drumbeats» прекратился. Вновь режим «drumbeats» появился 19 июня и продолжался до 26 июня. Частота микроземлетрясений варьировала от 2 до 6 в мин. Очередной период непрерывного режима «drumbeats» с $N < 2$, начался 18 августа и продолжался до 12 октября.

С 11 октября на фоне землетрясений с $K=4-6$, происходящих в хаотической последовательности, стал регистрироваться, названный нами, режим «drumbeats» второго типа (рис. 6). Особенностью микроземлетрясений этого режима также является квазипериодичность и квазипостоянство амплитуды на длительных временных участках, но двойная амплитуда скорости смещения микроземлетрясений «drumbeats» II типа изменялась в пределах 0.05–0.55 мкм/с ($K_s=2-4$), что значительно меньше для режима «drumbeats» I типа. Частота микроземлетрясений в среднем со-

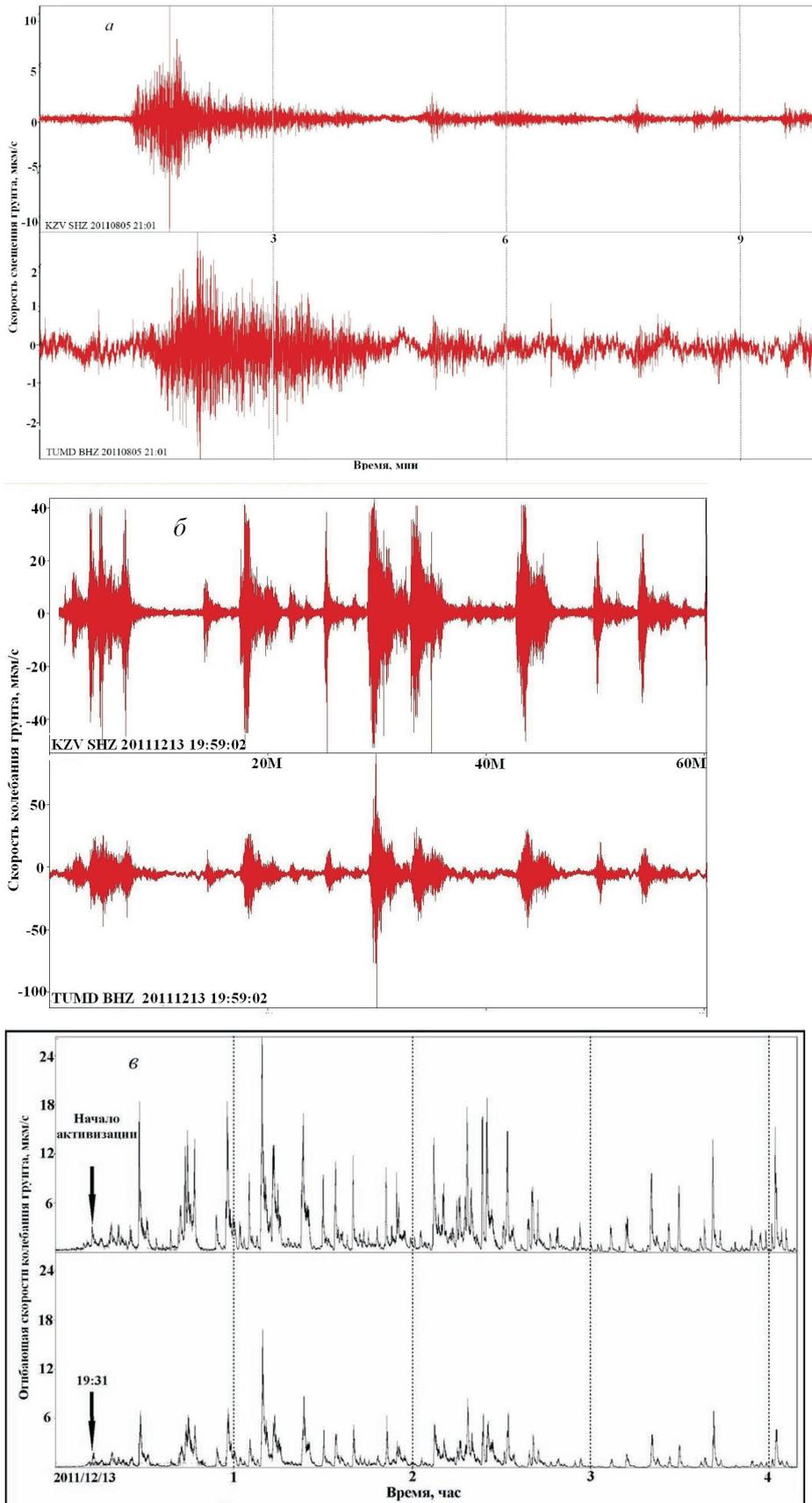


Рис. 4. Сейсмический эффект сопровождавший сход раскаленной автоэксплозивной лавины 5 августа 2011 г. в 21 ч 02 мин (*a*), часовой фрагмент записи сейсмических сигналов (*б*) и огибающие записи сейсмических эффектов с постоянной времени 3 с сопровождающие усиление взрывной активности 13 декабря 2011 г. (*в*). Записи вертикальной составляющей, верхние трассы – РТСС KZV, нижние – РТСС TUMD.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

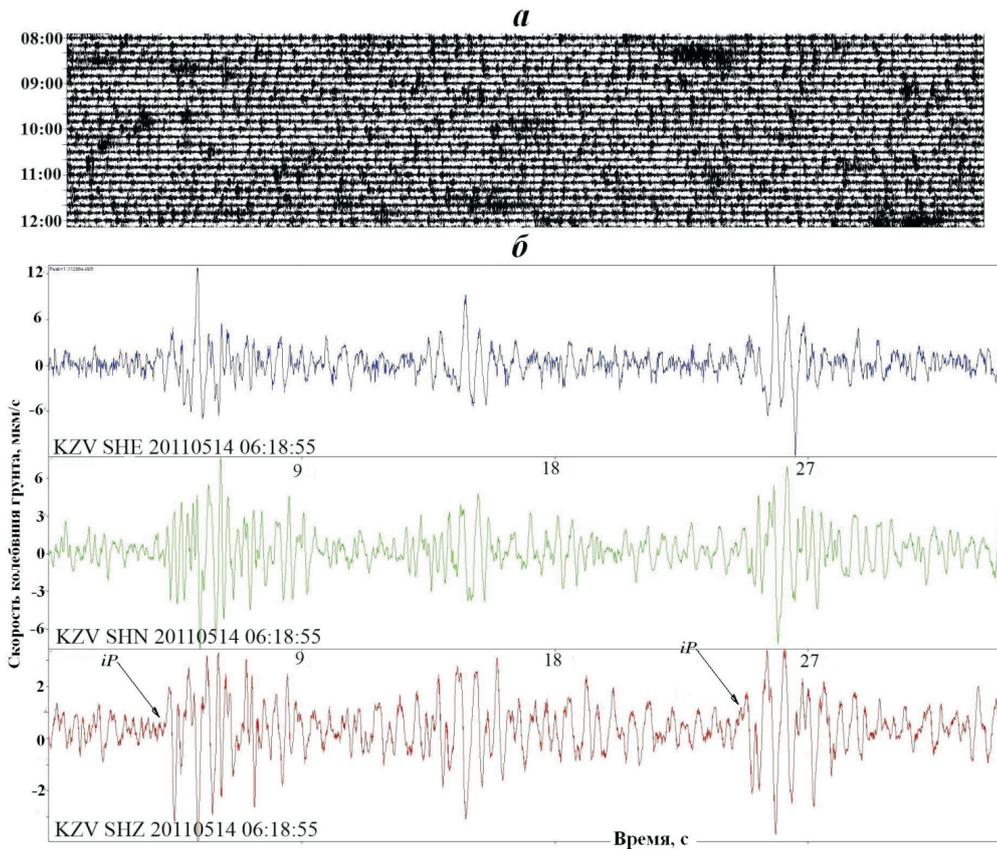


Рис. 5. Фрагмент обзорной записи микроземлетрясений на горизонтальной составляющей N-S (а), развернутая запись микроземлетрясений на трех составляющих (б) на РТСС КЗВ 14 мая 2011г. Стрелкой отмечены четкие вступления Р волн. Коэффициент загробления на обзорной записи $k=13$.

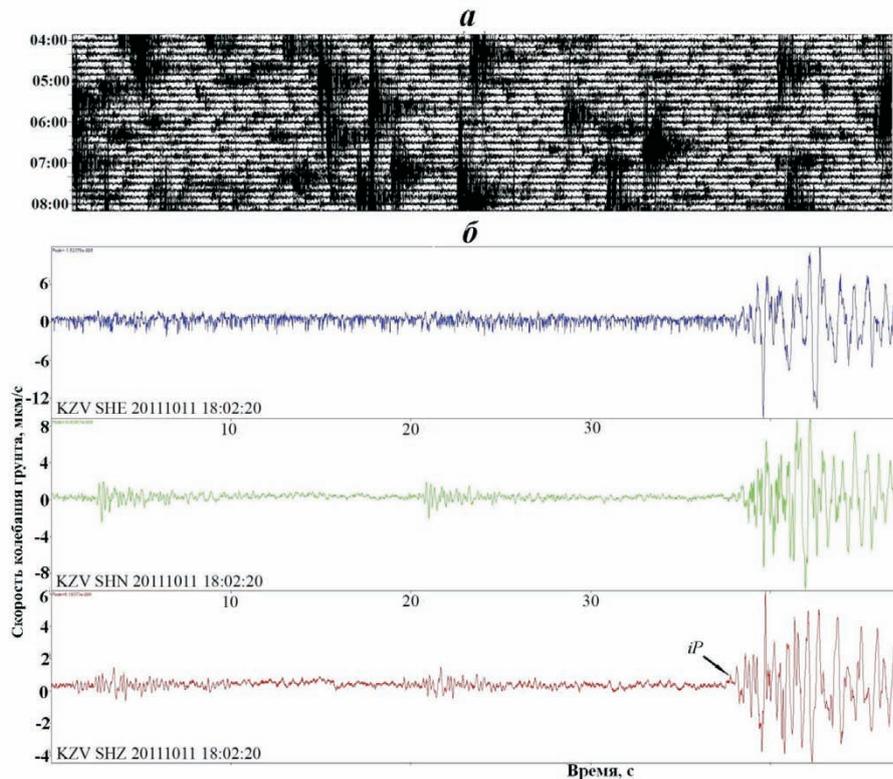


Рис. 6. Фрагмент обзорной записи микроземлетрясений на горизонтальной составляющей N-S (а), развернутая запись микроземлетрясений на трех составляющих (б) на РТСС КЗВ 11 октября 2011г. Коэффициент загробления на обзорной записи $k=2$.

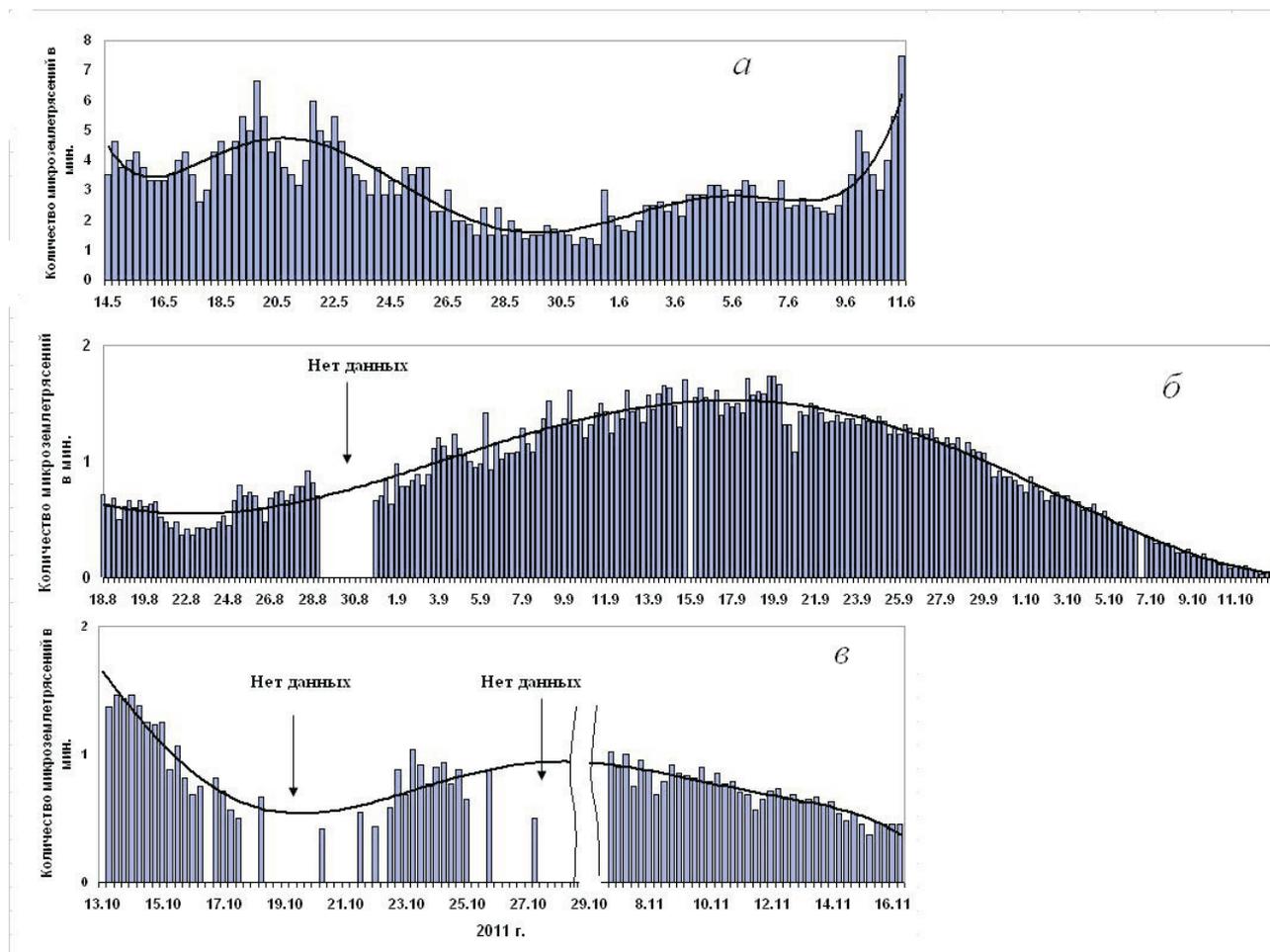


Рис. 7. Распределение средней частоты микроземлетрясений в минуту режима «drumbeats» в часовых интервалах 0, 6, 12, 18 часов UT за периоды: а – 14.5-11.8; б – 18.8-12.10; в – 13.10.-16.11.2011 г.

ставила одно землетрясение в минуту (рис. 7с).

В результате анализа было установлено, что максимальная двойная амплитуда скорости смещения грунта ($2\dot{A}$) микроземлетрясений режима «drumbeats» в процессе извержения была подвержена существенным вариациям. 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 $2\dot{A}_p = 0.91$ мкм/с.

Извержение вулкана Кизимен в 2011 г., представляет огромный интерес для исследований в области «вулканическая сейсмология». Существующая сеть сейсмических станций, работающих вблизи этого вулкана, плюс фотосъемка дают прекрасный материал для исследований

механизма и динамики извержения с помощью сейсмологического метода, что в первом приближении и хотели показать авторы этой работы. По мнению авторов, вблизи этого вулкана необходимо организовать комплексные наблюдения, включающие измерения деформации постройки вулкана, регистрацию волновых возмущений в атмосфере и напряженности атмосферного электричества в приземном слое.

Авторы выражает глубокую признательность В.Т. Гарбузовой за то, что она обратила внимание на столь необычное проявление сейсмичности на вулкане Кизимен и В.В. Яшуку за интерес и поддержку проявленные к данной работе.

Список литературы

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. С. 176.

- Малик Н.А., Овсянников А.А.* Извержение вулкана Кизимен в октябре 2010 г. – марте 2011 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 1. Вып. 17. С. 7-14.
- Малышев А.И.* Жизнь вулкана. Екатеринбург: УРО РАН, 2000. 259 с.
- Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волынец О.Н.* Вулкан Кизимен (Камчатка) – будущий Сент-Хеленс // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 3-32.
- Фирстов П.П., Махмудов Е.Р., Чебров В.Н.* Некоторые результаты акустического мониторинга эксплозивных извержений вулканов Камчатки // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 107-111.
- 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: ИМГиГ, С. 18-22.
- 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.
- 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.
- 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. P. 64-101.

П.П. Фирстов,
д.ф.-м.н., зав. лаб., КФ ГС РАН;
А.А. Шакирова,
техник, КФ ГС РАН