

УДК 550.34.05.013.2+551.217.4

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ В ПЕРИОДЫ АКТИВИЗАЦИЙ НА ВУЛКАНЕ БЕЗЫМЯННЫЙ В 2007-2008 ГГ.

*Рагунович М.Ю. (5 курс)*

*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

В работе представлены результаты детального исследования сейсмических записей при извержениях влк. Безымянный в 2007-2008 гг. по данным радиотелеметрических и широкополосных сейсмических станций. Изучен спектральный состав и динамические характеристики сейсмических сигналов в диапазоне частот до 20 Гц. С использованием данных визуальных и спутниковых наблюдений установлено, что при наличии пепла в выбросах происходит изменение спектрального состава сейсмических записей. При этом преобладающие частоты составляют от 4 до 7 Гц.

*Ключевые слова:* сейсмические сигналы, диапазон частот, спектральный состав, сейсмические станции, вулканическое извержение, пепел.

### **Введение**

Вулкан Безымянный является одним из активных вулканов Камчатки. Координаты вершины  $56^{\circ} 04'$  с. ш.,  $160^{\circ} 43'$  в. д. Абсолютная высота вулкана составляет 2 869 м (рис. 1)

Последнее катастрофическое извержение влк. Безымянный произошло 30 марта 1956 г. После этого события регулярные эксплозивные извержения на вулкане происходят с периодичностью один-два раза в год. В течение последних 54-х лет в кратере влк. Безымянный происходит рост экструзивного купола.

В период времени с 2007 по 2008 гг. на вулкане произошли три эксплозивных извержения: 14-15 октября 2007 г., 5 ноября 2007 г. и 19 августа 2008 г. Некоторые исследователи предполагают, что 5 ноября 2007 г. в постройке вулкана произошел обвал. Все три события сопровождалось сходом пирокластических потоков и пепловыми выбросами на высоту от 2000 до 9000 м над уровнем моря. Известно, что пепловые выбросы и облака являются потенциально опасными для авиации.

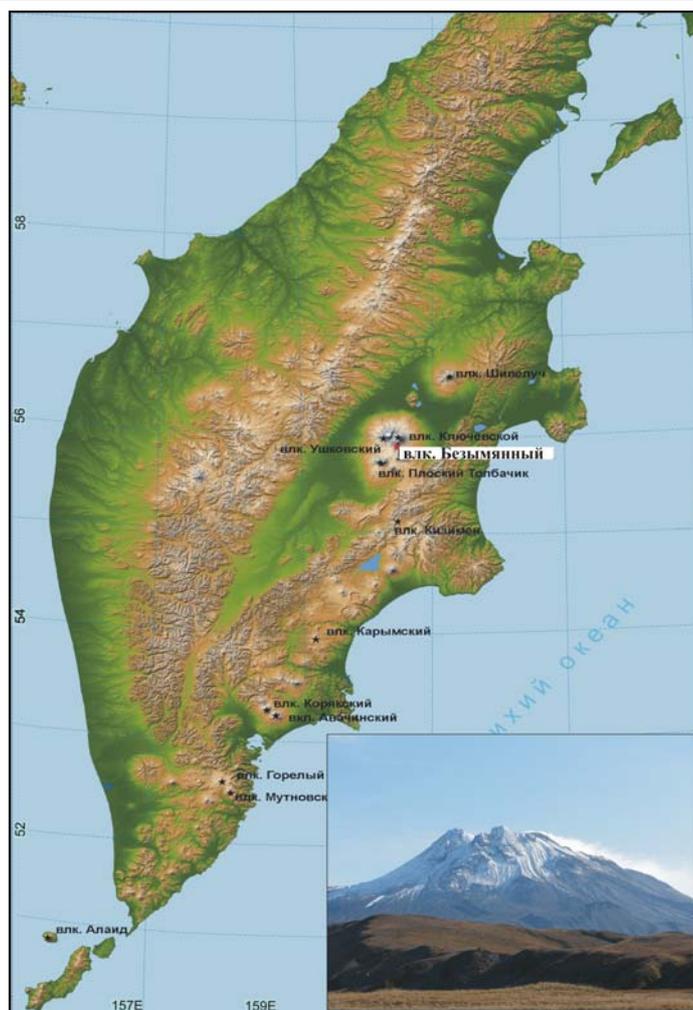


Рис. 1. Карта п-ова Камчатка с расположением вулканов. На врезке – изображение вулкана Безымянный, фото В.В. Ящука

Камера видеонаблюдения за состоянием влк. Безымянный установлена на приемном центре в п. Козыревск. Запись видеоданных производится круглосуточно, но зафиксировать все пепловые выбросы вулкана визуально не всегда возможно. Во-первых, вулкан недоступен для визуальных наблюдений в ночное время суток, что составляет около 50 % от всего времени. Во-вторых, на Камчатке из-за плохих погодных условий более половины дней в году вулкан закрыт облаками, что составляет около 25% от общего времени [4].

Целью настоящей работы является выявление особенностей сейсмических сигналов, зарегистрированных радиотелеметрическими сейсмическими станциями КФ ГС РАН и временными широкополосными сейсмическими станциями в районе влк. Безымянный, для определения

наличия пепла в вулканических выбросах при отсутствии визуальных наблюдений.

В рамках международного проекта «PIRE» в 2006-2007 гг. вблизи влк. Безымянный были установлены радиотелеметрические сейсмические станции «Безымянная» («BZM»), «Киришев» («KIR»), «Безымянная-Грива» («BZG»), «Безымянная-Запад» («BZW»), оборудованные стандартными комплектами аппаратуры на базе сейсмометров CM-3 с периодом колебаний  $T_S=1.2$  с и амплитудой  $D_s=0.5$ . Сбор информации с сети радиотелеметрических сейсмических станций осуществляется на Козыревском приемном центре, где сейсмические сигналы демодулируются, оцифровываются и передаются по спутниковым каналам связи на приемный центр в г. Петропавловске-Камчатском.

Также в рамках проекта «PIRE» была установлена временная сеть автономных широкополосных сейсмических станций, оборудованных сейсмическими регистраторами Quanterra Q-330 и трехкомпонентными широкополосными сейсмометрами Guralp CMG-3T (рис. 2).

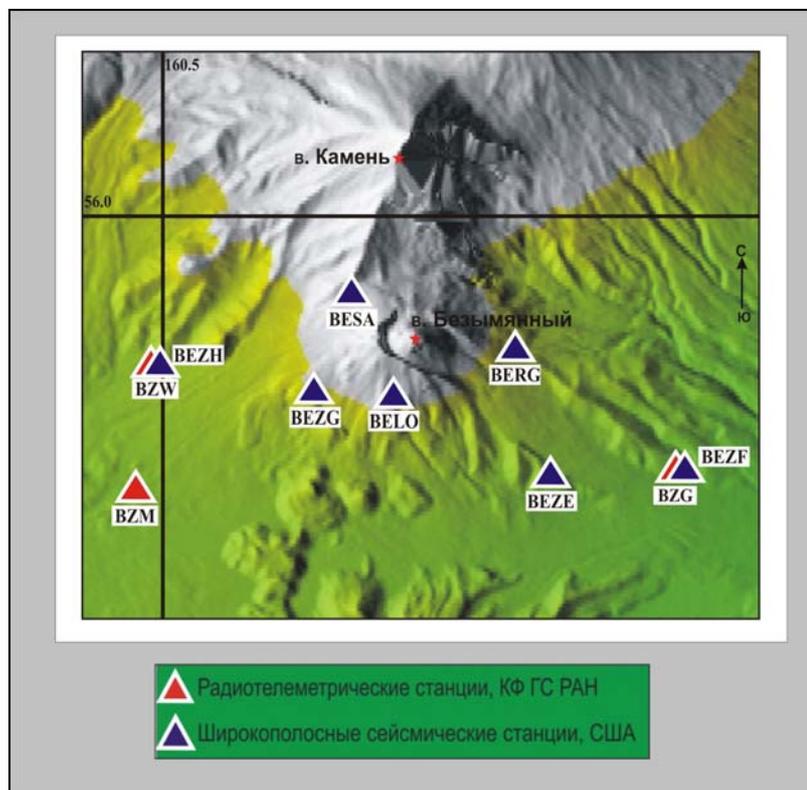


Рис. 2. Схема расположения сейсмических станций в районе влк. Безымянный.

## Методика обработки данных

В работе выполнен детальный анализ сейсмических записей при активизациях влк. Безымянный в 2007-2008 гг. Для этого использовались данные радиотелеметрических и автономных широкополосных сейсмических станций.

Оценка особенностей вулканической активности по сейсмическим записям основывается на предположении о том, что каждое вулканическое событие (излияние лавы, пепловый выброс, сход пирокластического потока и т. д.) характеризуется своим собственным сейсмическим сигналом. Особенности сейсмических сигналов можно выявить с помощью спектрального анализа. Если в сейсмическом сигнале выделяются компоненты, соответствующие по частоте пепловому выбросу, то можно с большой долей уверенности утверждать, что на вулкане произошел пепловый выброс, даже при отсутствии визуальных данных [3].

Изучение спектральных особенностей сейсмических сигналов проводилось с помощью программы DIMAS (Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms). Анализ сигналов в частотно-временной области сводится к изучению изменения его частоты во времени. Сигнал пропускается через набор полосовых фильтров, затем вычисляется огибающая сигнала в каждой полосе частот. В результате имеем уровень изменения амплитуды сигнала во времени на разных частотах, по которому ведется построение цветных изолиний – спектрограмм [2].

Для удобства работы с сейсмическими записями в программе предусмотрена возможность отображения сигнала на графиках в произвольных временных и амплитудных масштабах. По записям сейсмических сигналов, полученных на станциях «BZG», «BZM», «KIR», «BZW», «BELO», «BESA», «BERG», «BEZE» и «BEZF» (рис. 2), строились спектрограммы по двум горизонтальным и одному вертикальному каналу.

После этого производился анализ взаимосвязи спектрального состава и интенсивности сейсмического сигнала на каждой станции с данными визуальных и спутниковых наблюдений. Используя данные спутниковых снимков, можно определить термальную аномалию на вулкане, наличие пеплового шлейфа, его протяженность и мощность. В работе использовались снимки, предоставленные Камчатским центром связи и мониторинга (КЦСМ), полученные с сенсора AVHRR спутников NOAA16 и NOAA17. Для извержения 19 августа 2008 г. спутниковые данные предоставлены Аляскинской вулканологической обсерваторией.

При исследовании сейсмических сигналов на влк. Безымянный использовались материалы работ [3; 4], в которых рассматриваются особенности сейсмических сигналов, сопровождавших пепловые выбросы, сход пирокластических потоков и обломочных лавин на вулканах Шивелуч и Карымский.

### **Обсуждение результатов**

Как известно, каждый вулкан характеризуется своей сейсмичностью. В районе влк. Безымянный и непосредственно в его постройке происходят вулканические землетрясения.

Каждое вулканическое событие на вулкане сопровождается сейсмическими сигналами. При регистрации вулканических землетрясений, происходящих непосредственно в постройке вулкана, преобладающая частота сейсмического сигнала находится в диапазоне 2 Гц (рис. 4). «Чистый» сигнал, соответствующий записи сейсмического шума, который регистрируется без природных и антропогенных помех, имеет преобладающую частоту не более 1 Гц. На вулкане Безымянный периодически наблюдается слабая фумарольная активность и парогазовые выбросы. Во время такой вулканической активности изменение частоты сейсмического сигнала не наблюдается.

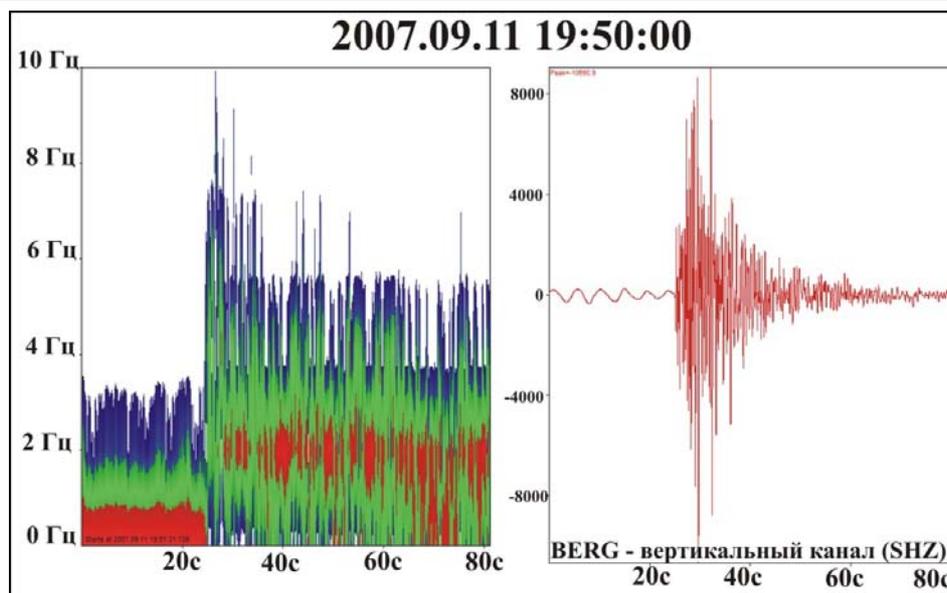


Рис. 3. Пример записи сейсмического сигнала вулканического землетрясения и его спектрограмма.

В результате анализа сейсмических записей обнаружено, что во время извержений, в момент пеплового выброса, наблюдается изменение частоты сейсмического сигнала. При извержении 14 октября 2007 г. на сейсмостанции BERG, расположенной в 3 км от кратера вулкана, максимальные частоты преобладающего сигнала составляли 7 Гц. Дрожание вулкана сопровождается сигналами в диапазоне частот 2.0-2.5 Гц. Изменение частоты преобладающего сейсмического сигнала от 4 до 7 Гц может свидетельствовать о наличии пепла в выбросах.

Максимальная частота преобладающего сигнала на сейсмостанции «BELO» при наличии пепла в выбросах также составляет 7 Гц, «BESA» – 5 Гц.

На сейсмостанции «BZM», расположенной в 7 км от кратера вулкана, также наблюдается изменение частоты сейсмических сигналов. В начале извержения преобладающая частота сейсмического сигнала составляет 2.0-2.5 Гц, далее происходит изменение частоты сейсмического до 4 Гц.

На рис. 5 представлены примеры записей сейсмических сигналов и их спектрограммы при извержении 14 октября 2007 г. На рис. 6 представлена сейсмограмма и ее сван-диаграмма за сутки 14 октября и

спутниковый снимок, показывающий наличие пепла в шлейфе от вулкана при извержении 14 октября.

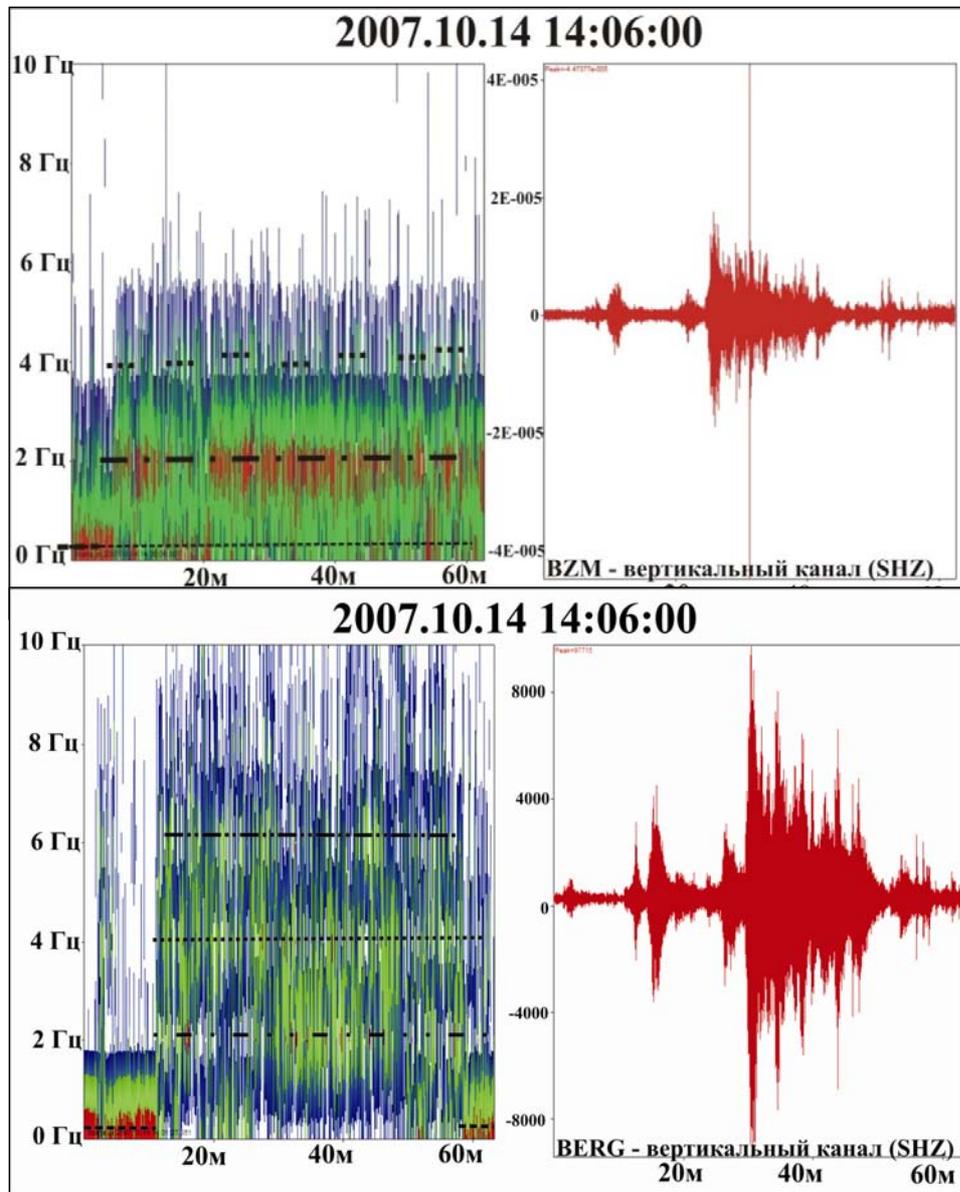


Рис. 4. Примеры записи сейсмических сигналов и их спектрограммы, сейсмостанции «BERG» (верхняя диаграмма) и «BZM» (нижняя диаграмма) при извержении 14 октября 2007 г.

Извержение вулкана в октябре 2007 г. продолжалось два дня. 15 октября извержение продолжалось около 12 часов. Высота пепловых выбросов при продолжении извержения 15 октября 2007 г. достигала 9000 м над уровнем моря. Сейсмические сигналы, сопровождающие активизацию 15 октября, по записи имели меньшую продолжительность и

интенсивность, чем при извержении 14 октября. Вероятно, это связано с тем, что питающий канал вулкана уже был «проработан» в первый день извержения 14 октября 2007 г.

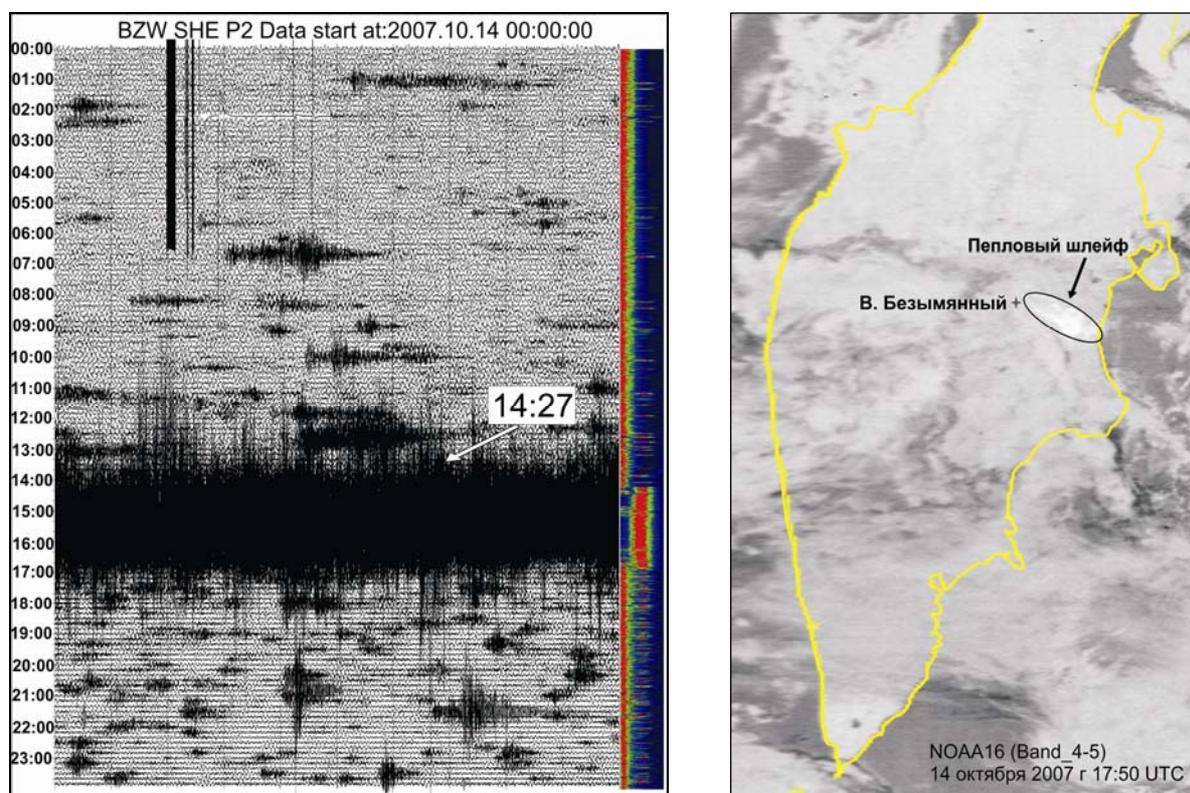


Рис. 5. Сейсмограмма и ее сван-диаграмма за 14 октября (слева) и спутниковый снимок, показывающий пепловый шлейф от влк. Безымянный (справа).

Во время продолжения извержения 15 октября 2007 г. преобладающий частотный диапазон сейсмических сигналов составлял от 5 до 7 Гц, что примерно соответствует диапазону частот при извержении 14 октября.

По сейсмическим данным извержение 15 октября длилось с 2 ч 23 мин до 14 ч 00 мин UTC. Это извержение подтверждается наличием на спутниковых снимках пеплового шлейфа протяженностью 280 км к юго-востоку от вулкана на высоте около 5300 м над уровнем моря. По визуальным данным в 5 ч 30 мин UTC наблюдался мощный парогазовый выброс на высоту до 5500 м с направление шлейфа в южном направлении. По видео данным в 3 ч 09 мин зафиксирован парогазовый столб высотой до 9000 м над уровнем моря с содержанием пепла.

При детальном анализе записей сейсмических сигналов во время активизации на вулкане Безымянный 5 ноября 2007 г. также было обнаружено соответствие диапазона преобладающих частот с диапазоном частот во время предыдущего извержения 14-15 октября 2007 г.

По данным лаборатории исследований сейсмической и вулканической активности КФ ГС РАН извержение 19 августа 2008 г. на влк. Безымянный началось в 9 ч 56 мин и продолжалось до 12 ч 00 мин UTC. По сейсмическим данным максимальная фаза извержения приходится на период времени с 10 ч 30 мин до 11 ч 15 мин UTC.

При изучении сигналов, зарегистрированных сейсмической станцией «BZG», расположенной на расстоянии 6 км от кратера вулкана, обнаруживается изменение преобладающих частот: до начала активизации преобладающие частоты сейсмического сигнала находятся в диапазоне 0.5-2.5 Гц. Такие частоты характерны при дрожании вулкана.

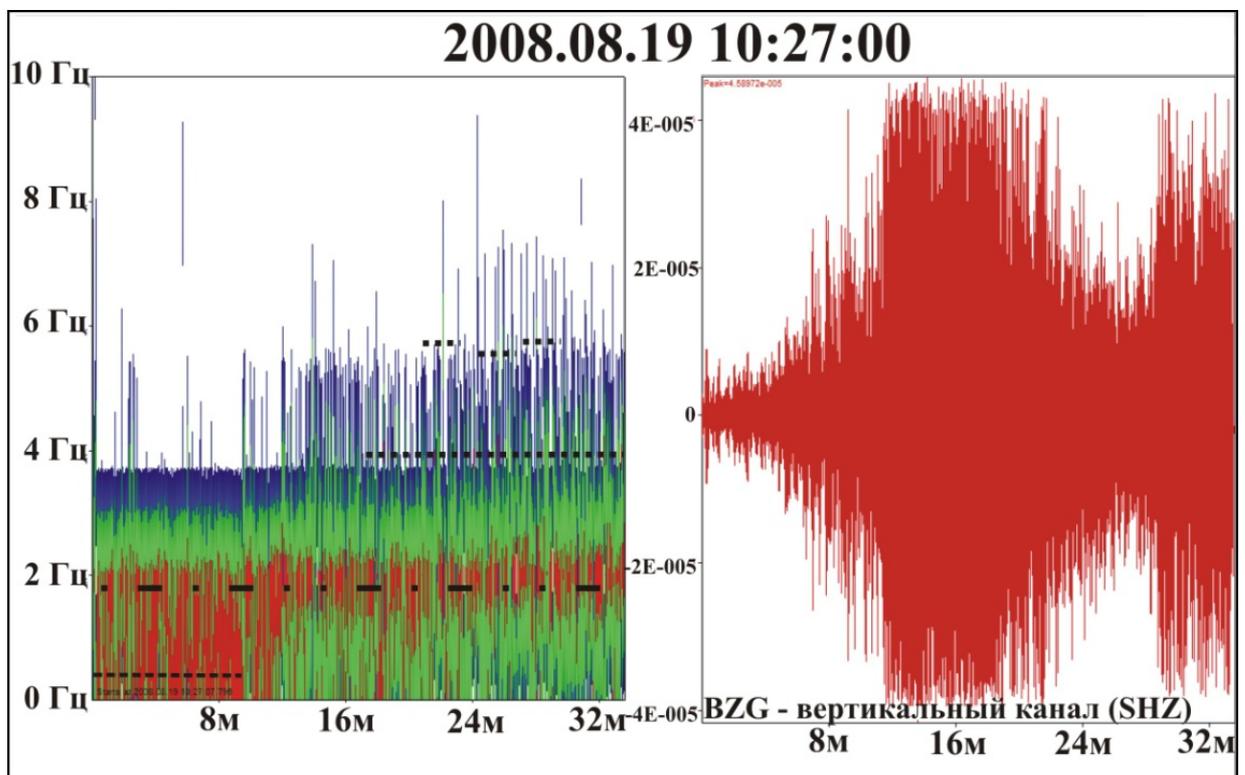


Рис. 6. Сейсмический сигнал и его спектрограмма при извержении 19 августа 2008 г., сейсмостанции «BZG»

Полоса частот 2-2.5 Гц прослеживалась в течение всего события. Через некоторое время на спектрограмме проявляется сигнал с частотой 4 Гц, который может свидетельствовать о наличии пепла в выбросах (рис. 6).

Также необходимо отметить, что преобладающие частоты сейсмических сигналов, зарегистрированных на сейсмостанциях «BZM», «BEZH», находились в диапазоне 4-5 Гц. Максимальные частоты сигналов, зарегистрированных на ближайших сейсмостанциях «BELO» и «BERG», достигали 7 Гц.

Данное извержение подтверждается выпадением пепла с резким запахом серы в пос. Козыревск и наличием пепловых облаков на спутниковых снимках.

### **Заключение**

Установлено, что во время активизаций влк. Безымянный в 2007-2008 гг. наличие пепла в выбросах сопровождается регистрацией сейсмических сигналов с преобладающими частотами от 4 до 7 Гц. Обнаружение этого факта оказалось возможным благодаря увеличению числа временных станций, расположенных вблизи вулкана.

Вместе с тем, записи сейсмических сигналов, получаемые на широкополосных сейсмических станциях, не доступны для обработки в режиме реального времени. Поэтому оперативный анализ сейсмических записей возможно проводить только по данным станций радиотелеметрической сети.

Выявленные особенности сейсмических сигналом при пепловых извержениях влк. Безымянный могут использоваться для оценки вулканической опасности при отсутствии данных визуальных наблюдений.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Богоявленская Г. Е, Брайцева О. А., Мелекесцев И.В. и др. Вулкан Безымянный // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 168-194.
2. Дрознин Д. В., Дрознина С. Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 117-121.
3. Кожевникова Т.Ю. Электронная база эталонов сейсмических сигналов и сопутствующих им вулканических событий для вулкана Карымский // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 171-175.
4. Сенюков С.Л., Дрознина С.Я., Дрознин Д. В. Опыт выделения пепловых выбросов и оценка их высоты по сейсмическим данным на примере вулкана Шивелуч (Камчатка) // Комплексные и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 292-300.

THE SEISMIC SIGNALS DURING BEZYMIANNY VOLCANO  
ACTIVIZATION IN 2007-2008.

***Ragunovich M.Yu.***

*Kamchatka Vityazev State University*

The results of detailed investigation of seismic records Bezymianny Volcano eruptions in 2007-2008 according to the data of radiotelemetry stations and cycle-independent broadband seismic stations are presented in given work. The dynamic behaviors of seismic signals in wide frequency range up to 20 Hz were researched. The search for correlation of type, spectrum composition and intensity of seismic signals with visual and satellite data was produced. It is established that presence of ash in explosion occurs change of spectral structure of seismic records. The dominant frequencies are 4-7 Hz.

*Key words:* frequency band, spectral composition, seismic records, seismic stations, volcano eruption, ash