

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЯ  
ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ В 2007-2008 гг.  
ПО ДАННЫМ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ И АВТОНОМНЫХ  
ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

*Рагунович М.Ю.<sup>1,2</sup>, Кожевникова Т.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга

<sup>2</sup> Камчатский филиал Геофизической службы РАН

В работе представлены результаты детального исследования сейсмических записей при извержениях влк. Безымянный в 2007-2008 гг. по данным радиотелеметрических и широкополосных сейсмических станций. Изучены 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 3 до 7 Гц.

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

## **Введение**

Вулкан Безымянный является одним из активных вулканов Камчатки. Он расположен в центральной части Ключевской группы вулканов к юго-западу от влк. Ключевской (рис. 1). Координаты вершины 56<sup>0</sup> 04' с. ш., 160<sup>0</sup> 43' в. д. Абсолютная высота вулкана составляет 2 869 м.

После длительного интервала покоя, длившегося около 900-1000 лет, в 1955-1956 гг. произошло катастрофическое извержение влк. Безымянный [1]. После этого события регулярные эксплозивные извержения происходят с периодичностью один-два раза в год (по данным лаборатории исследования сейсмической и вулканической активности КФ ГС РАН, ЛИСВА). В течение последних 53-х лет в кратере влк. Безымянный происходит рост экструзивного купола.

В период времени с 2007 по 2008 гг. на вулкане произошли три извержения: 14-15 октября 2007 г, 5 ноября 2007 и 19 августа 2008 гг. Все три извержения сопровождались пепловыми шлейфами и сходом



Целью настоящей работы является выявление особенностей сейсмических сигналов для определения наличия пепла в выбросах влк. Безымянный 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 ( $T_s=1.2$ ,  $D_s=0.5$ ). Сбор информации с сети радиотелеметрических станций (рис. 1) 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 широкополосных сейсмических станций, оборудованных сейсмическими регистраторами Quanterra Q-330 и трехкомпонентными широкополосными сейсмометрами Guralp CMG-3T (рис. 2). Использование данных, полученных широкополосными сейсмическими станциями, позволяет исследовать сейсмические сигналы на влк. Безымянный в диапазоне частот до 40 Гц.

По данным 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.

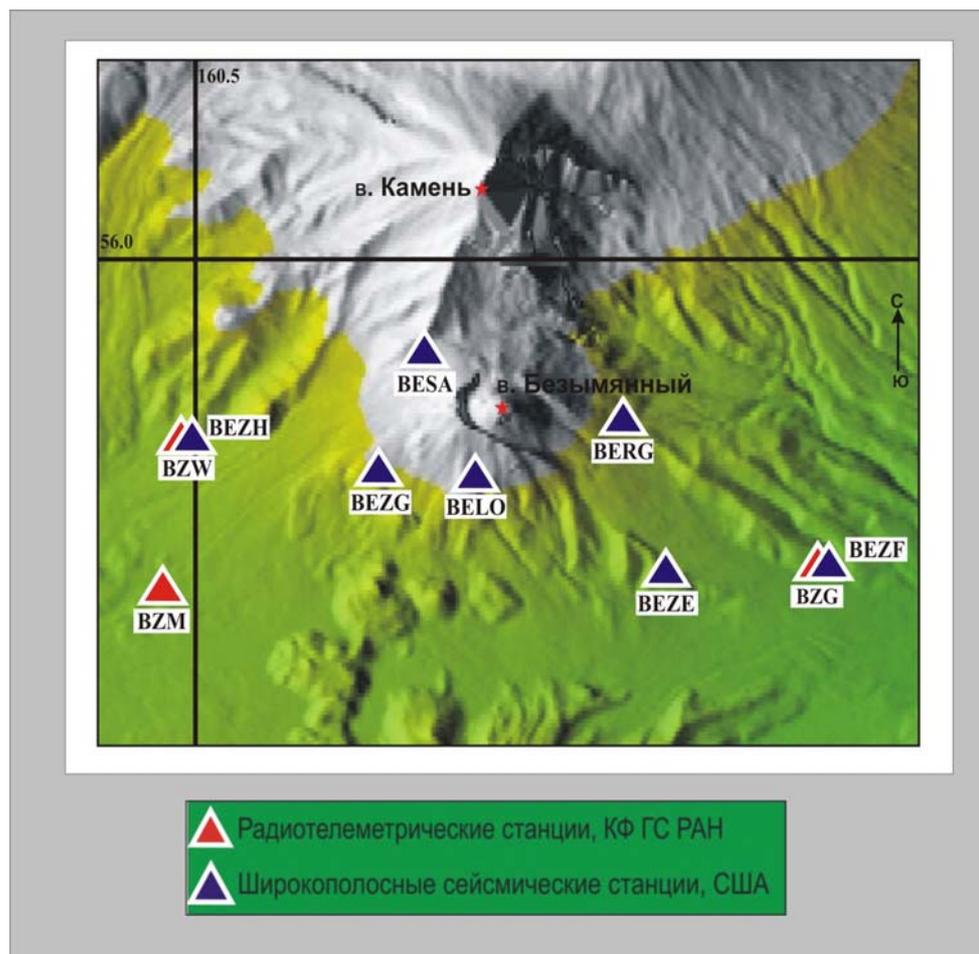


Рис. 2. Схема расположения сейсмических станций в районе влк. Безымянный.

### Методика обработки данных

В работе выполнен детальный анализ сейсмических записей при извержениях вулкана в 2007-2008 гг., полученных на радиотелеметрических и автономных широкополосных сейсмических станциях.

Оценка особенностей вулканической активности по сейсмическим данным основывается на предположении о том, что каждое вулканическое событие (излияние лавы, пепловый выброс, сход пирокластической лавины 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) [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 (рис. 3, 4). После этого производился анализ взаимосвязи спектрального состава и интенсивности сейсмического сигнала на каждой станции с данными визуальных и спутниковых наблюдений.

### **Обсуждение результатов**

Обнаружено, что во время извержений, в момент пеплового выброса, наблюдается изменение частоты сейсмического сигнала. При извержении 14 октября 2007 г. на сейсмостанции BELO максимальные частоты преобладающего сигнала составляли 7 Гц, на сейсмостанции BESA – 5 Гц, BERG – 7 Гц, BZM – 4-5 Гц. При этом, если сигнал с сейсмостанции передавался без помех (природных и антропогенных), и в это время не регистрировалось сейсмическое событие, то преобладающая частота такого сигнала не превышает 1 Гц. При регистрации вулканических и региональных землетрясений частота сейсмического сигнала не превышает 3.5 Гц. На рис. 5 представлены примеры записей сейсмических сигналов и их спектрограммы при извержении 14 октября. На рис. 6 представлена сейсмограмма за сутки 14 октября и ее сван-диаграмма (Б), а также спутниковый снимок, показывающий наличие пепла в шлейфе от вулкана при извержении 14 октября (С).

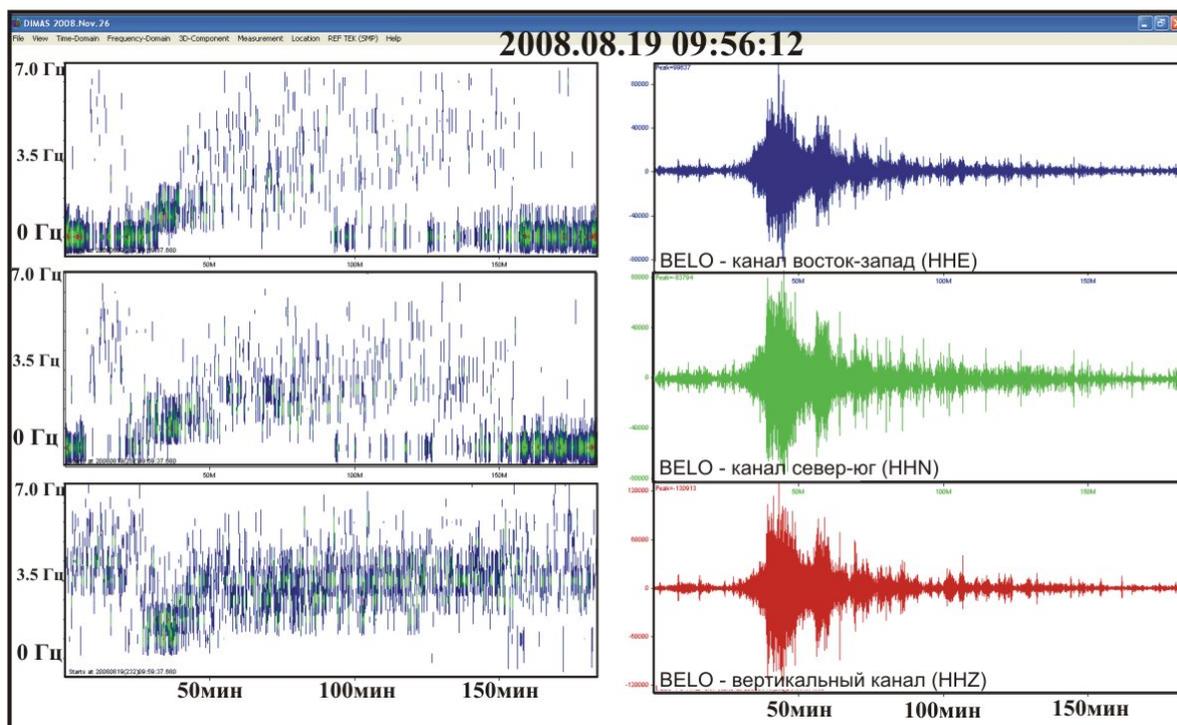


Рис. 3 Сейсмический сигнал и его спектрограмма, сейсмостанция «BELO»

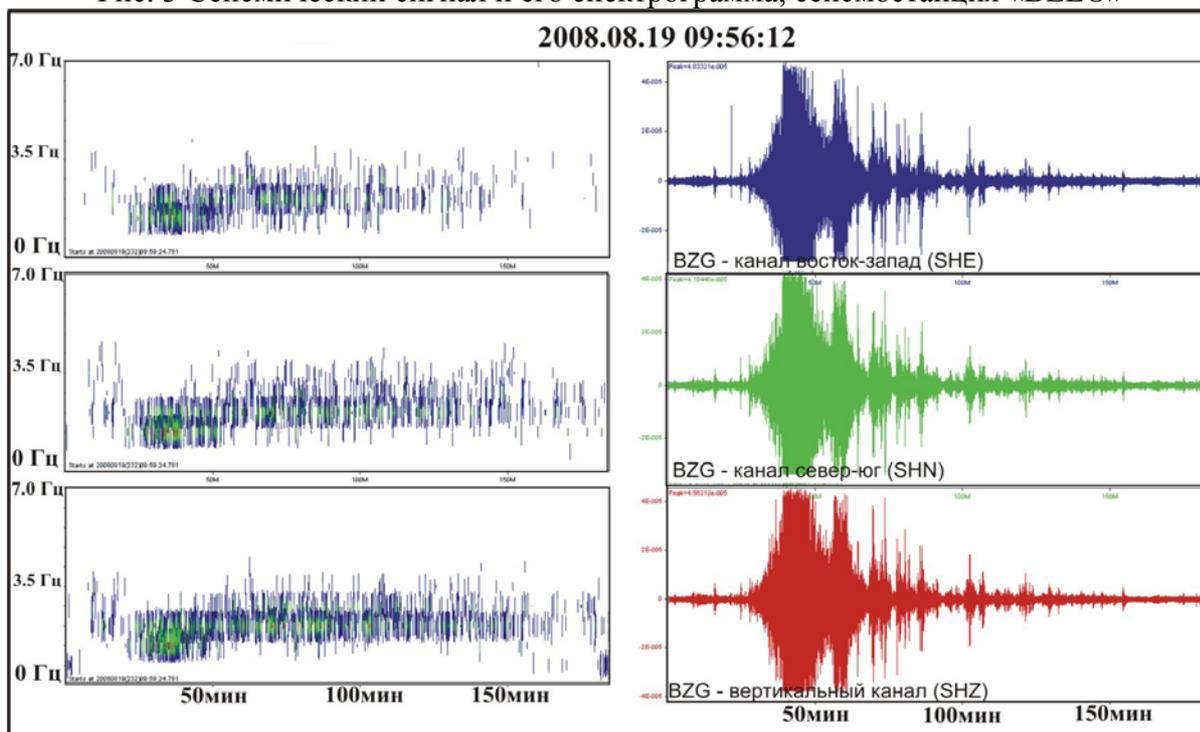


Рис. 4 Сейсмический сигнал и его спектрограмма, сейсмостанция «BZM»

Высота пепловых выбросов при извержении 15 октября 2007 г достигала 9000 м над уровнем моря. Сейсмические сигналы, сопровождающие это извержение, по записи имели меньшую продолжительность и интенсивность, чем при извержении 14 октября.

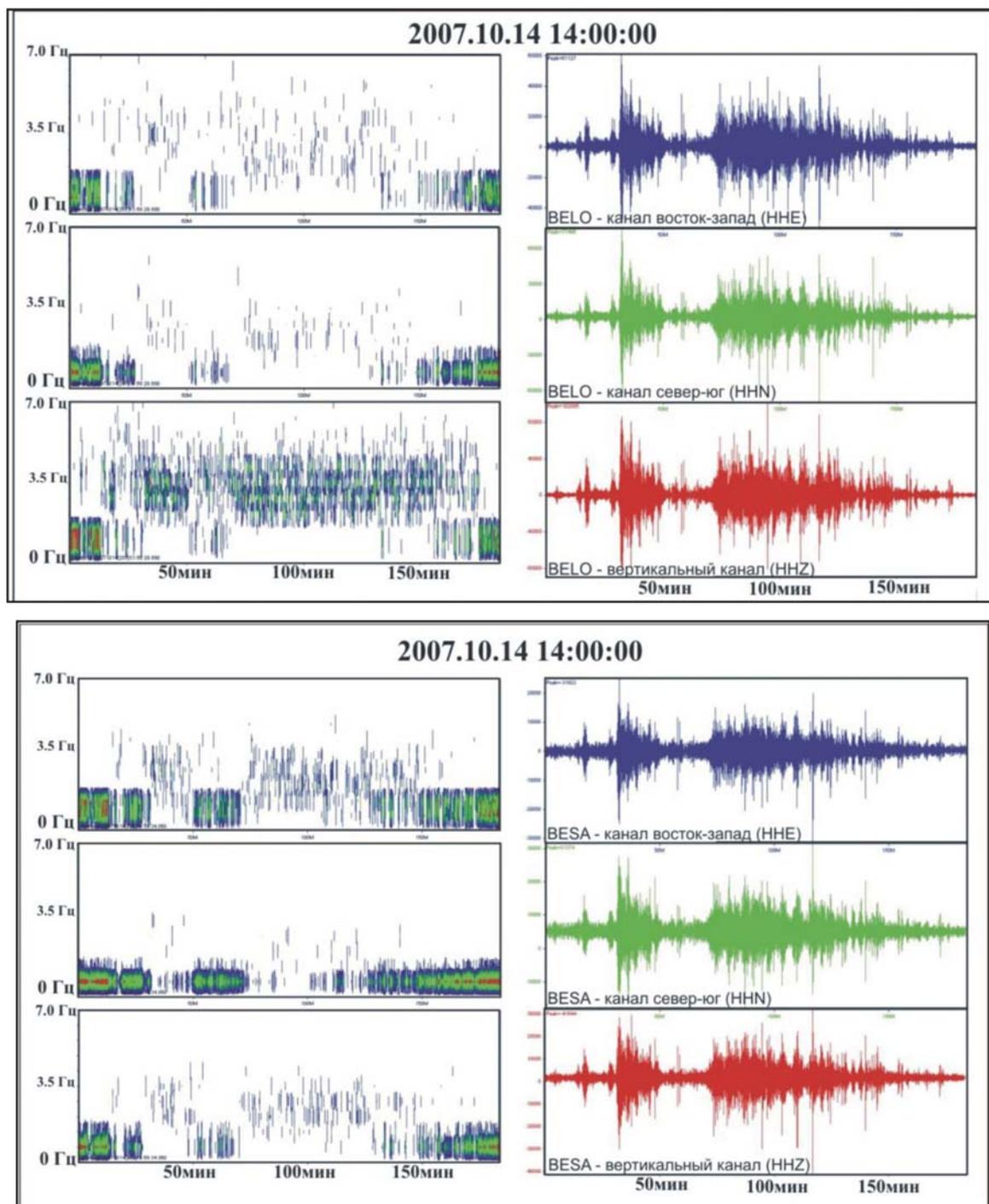


Рис. 5. Примеры записи сейсмических сигналов и их спектрограммы, сейсмостанции «BELO» (верхняя диаграмма) и «BESA» (нижняя диаграмма) при извержении 14 октября 2007 г.

Вероятно, это связано с тем, что питающий канал вулкана уже был «проработан» при предыдущем извержении 14 октября 2007 г. Во время извержения 15 октября 2007 г. преобладающий частотный диапазон сейсмических сигналов составлял 5-7 Гц, что примерно соответствует диапазону частот при извержении 14 октября 2007 г.

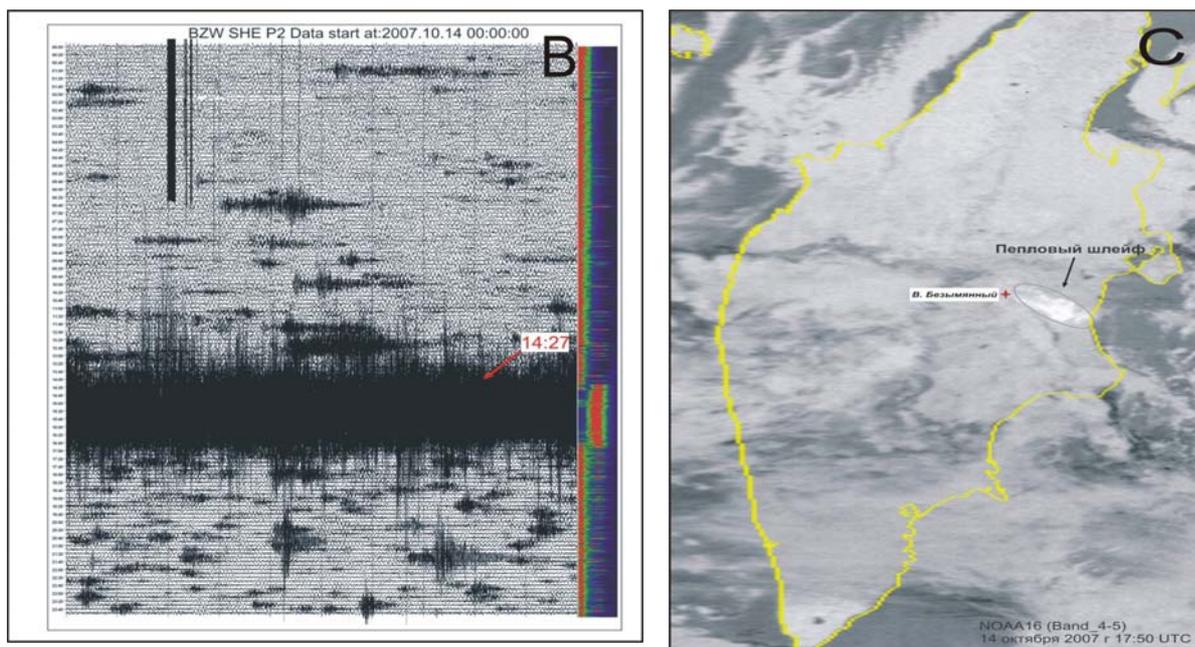


Рис. 6. Сейсмограмма за 14 октября и ее сван-диаграмма (Б) и спутниковый снимок, показывающий пепловый шлейф от влк. Безымянный (С).

При детальном анализе записей сейсмических сигналов во время извержения 5 ноября 2007 г. также было обнаружено соответствие диапазона преобладающих частот с диапазоном частот во время предыдущих подтвержденных извержений 14 и 15 октября 2007 г. По сейсмическим данным максимальная фаза извержения длилась 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. Кроме этого, с помощью сейсмических данных, полученных с широкополосных станций, был определен гипоцентр землетрясения, предваряющего извержение вулкана 5 ноября 2007 г. (рис. 7).

По данным ЛИСВА 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 происходила с 10 ч 30 мин до 11 ч 15 мин UTC. Преобладающие частоты сейсмического сигнала составляли от 4-5 Гц на сеймостанциях «BZM», «BEZH» и

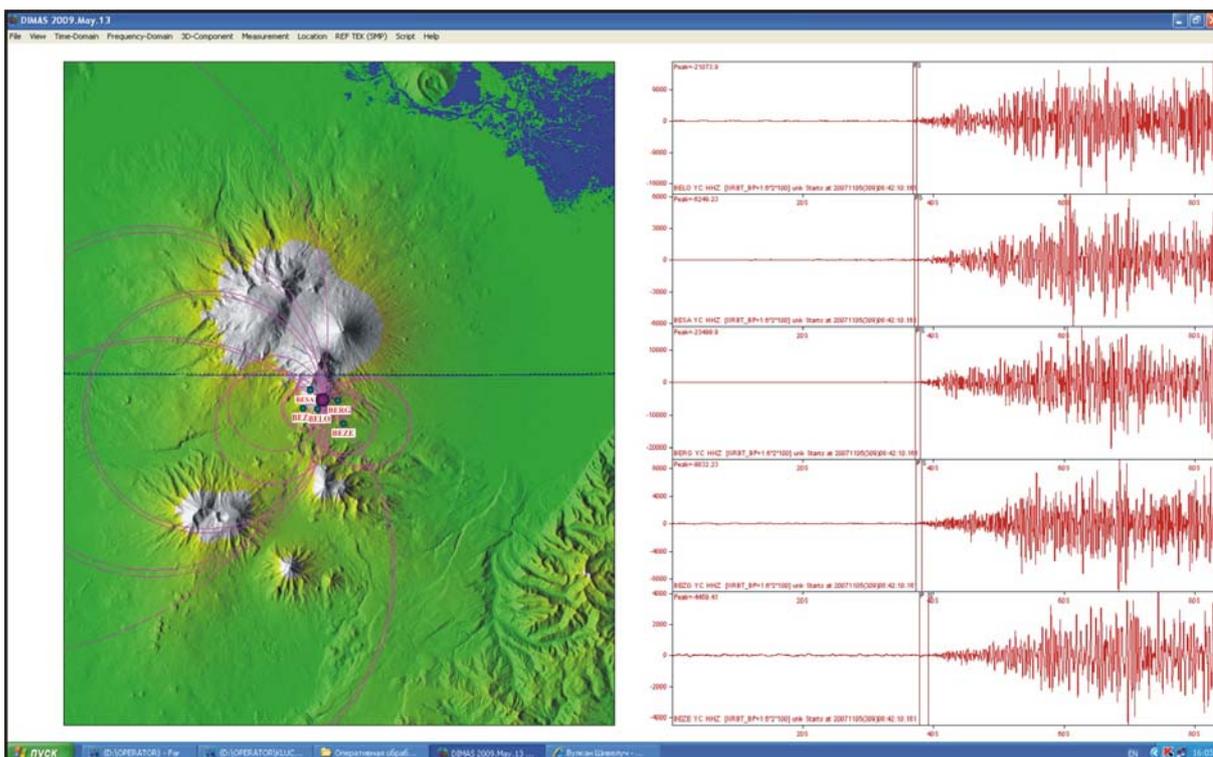


Рис. 7. Гипоцентр землетрясения, сопровождавшего извержение влк. Безымянный 5 ноября 2007 г.

достигали 7 Гц на сейсмостанции «BELO» и «BERG». Данное извержение подтверждается выпадением пепла с резким запахом серы в пос. Козыревск и наличием пепловых облаков на спутниковых снимках.

### Заключение

Установлено, что во время извержений влк. Безымянный в 2007-2008 гг. наличие пепла в выбросах сопровождается регистрацией сейсмических сигналов с преобладающими частотами от 3 до 7 Гц. Обнаружение этого факта оказалось возможным благодаря увеличению числа временных станций, расположенных вблизи вулкана. С использованием сейсмических данных, полученных с сети станций, также определено положение гипоцентра землетрясения, предваряющего извержение 5 ноября 2007 г. и произошедшего под конусом вулкана. Параметры этого землетрясения: время: 8 ч 42 мин, координаты эпицентра 55.97 град. с. ш., 160.60 град. в. д., энергетический класс  $K_s=3.5$ . Гипоцентр землетрясения находился на глубине около двух км ниже уровня океана.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. 415 с.
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.

**CHARACTERISTICS OF SESMIC SIGNALS DURING BEZYMIANNY VOLCANO ERAPPTIONS ACCORDING TO THE DATA OF RADIOTELEMETRY STATION AND CYCLE-INDEPENDENT SEISMIC STATION**

*Ragunovich M.U., Kozhevnikova T.U.*

The result 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 is 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 3-7 Hz.

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