

ЭЛЕКТРОННАЯ БАЗА ЭТАЛОНОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И СОПУТСТВУЮЩИХ ИМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ДЛЯ ВУЛКАНА КАРЫМСКИЙ

Кожевникова Т.Ю.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, sva02@emsd.ru



Введение

Вулкан Карымский, один из самых активных вулканов на Камчатке, находится в центральной части Восточного вулканического пояса в 120 км от г. Петропавловска-Камчатского. Координаты вершины: 54°03' с.ш., 159°26' в.д. Абсолютная высота вулкана - 1536 м, диаметр кратера - около 250 м (рис. 1).

С 1996 г. и по настоящее время вулкан находится в стадии постоянного извержения с периодами покоя и бурной вулканической активности. При его извержениях образуются пепловые выбросы и облака, которые потенциально опасны для авиации [2, 3, 4]. Удаленность вулкана от населенных пунктов не позволяет вести за ним постоянные визуальные наблюдения.

Рис. 1. Схема расположения наиболее активных вулканов Камчатки.

Создание электронной базы эталонов сейсмических сигналов на влк. Карымский и сопутствующих им вулканических событий позволит определять состояние вулкана при отсутствии визуальных наблюдений и тем самым снизить опасность авиаполетов от пепловых облаков. Перспектива оценки вулканической активности по сейсмическим данным основывается на простом предположении. Каждое вулканическое событие (излияние лавы, пепловый выброс, сход обломочной лавины и т. д.) излучает свой особенный сейсмический

сигнал. Особенности сейсмических сигналов можно выявить с помощью их спектрального анализа. Если фиксируется сейсмический сигнал, соответствующий по частоте пепловому выбросу, то можно с большой долей уверенности утверждать, что на вулкане произошел пепловый выброс, даже при отсутствии визуальных данных [5]. За период с 1999 г. по 2007 г. включительно были исследованы сейсмические сигналы, сопровождавшие различные стадии извержения вулкана и зарегистрированные телеметрической станцией "KRY", расположенной на юго-восточном склоне в 1.5 км от кратера. В результате сопоставления записей сейсмических сигналов и визуальных наблюдений, а также данных спутниковых снимков, было определено, что все

проявления вулканической активности сопровождаются сейсмическими событиями, которые являются основным объектом настоящего исследования.

Описание базы

База эталонов сейсмических сигналов создана как Web-страница в формате HTML. Требовалось создать такую базу, чтобы в ней можно было хранить информацию в виде, доступном любому пользователю и удобном в использовании. Для этого была выбрана программа Microsoft FrontPage, с помощью которой создаются Web-страницы и связи между ними.

В базе содержится информация о географическом положении вулкана, о вулканических событиях, подтвержденных визуальными данными, фото и видео материалами, и дополнительная информация. Данные представлены в виде таблиц, сван-диаграмм, сейсмограмм и спектрограмм, рисунков и видео роликов. В базе также содержатся данные о высоте пепловых выбросов и значения сумм огибающих сейсмических сигналов, которые используются для определения высоты пепловых выбросов по сейсмическим данным.

Таблицы созданы по каждой группе вулканических событий: 1) пепловые выбросы; 2) парогазовые выбросы; 3) газовые выбросы и продувки; 4) гравитационные обрушения пирокластики; 5) излияние лавы.

Дополнительная информация представлена в виде графиков: 1) сейсмичности влк. Карымский за период с 01.01.2005 г. по 20.11.2007 г.; 2) сопоставления суммы огибающей сейсмического сигнала с известной высотой пеплового выброса (рис. 2); 3) термальных аномалий на вулкане за период с 01.01.2005 г. по 20.11.2007 г.

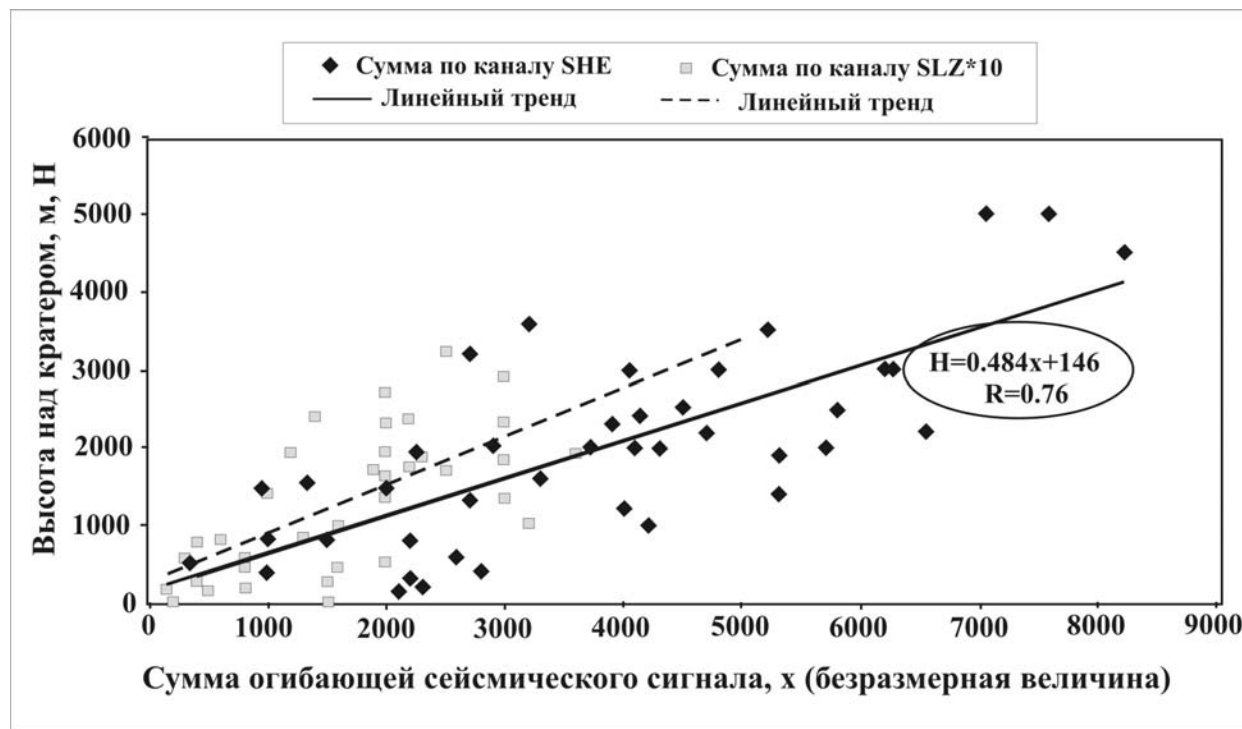


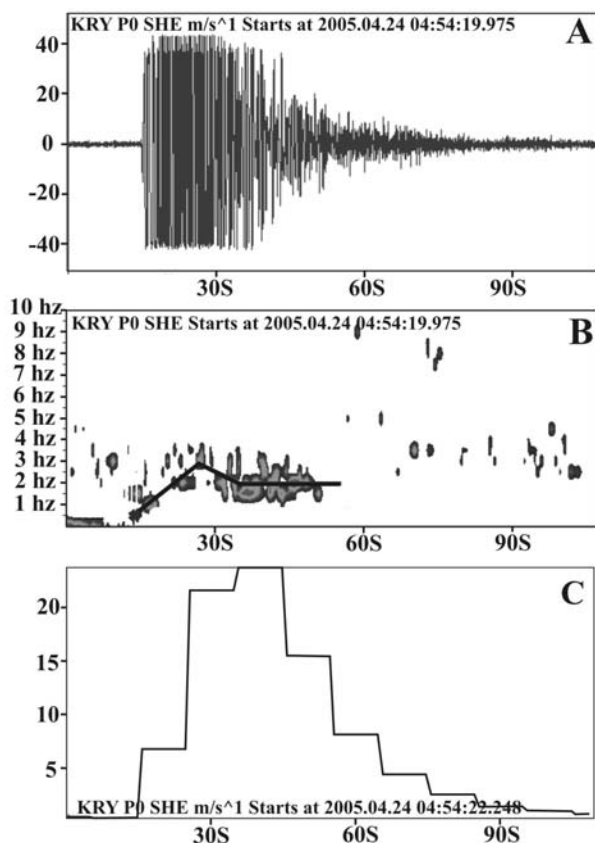
Рис. 2. График сопоставления суммы огибающей сейсмического сигнала с высотой пепловых выбросов по фото, видео и визуальным данным.

Анализ накопленных данных

При анализе накопленных данных использовались идеи и методы, изложенные в работе [5].

Сравнение сейсмических сигналов по частотам проводилось с помощью программы «DIMAS» [1], позволяющей выполнять их спектрально-временной анализ. На рис. 3 представлен пример сейсмического сигнала, сван-диаграмма этого сигнала и графическое изображение цифрового файла с расширением .asc, который создается в процессе формирования суточной сван-диаграммы. Файл *.asc включает абсолютные значения сейсмического сигнала, осредненные в 10-секундном временном окне.

На рис. 4 представлены примеры сван-диаграмм для различных проявлений активности влк. Карымский.



использовалось уравнение линейной регрессии, огибающей сейсмического сигнала (рис. 2). Для определения высоты выброса применяется формула линейного тренда. Этот метод не является оптимальным, т.к. при определении высоты пеплового столба по сейсмическому сигналу не учитывается влияние внешних факторов, таких как ветер и атмосферное давление.

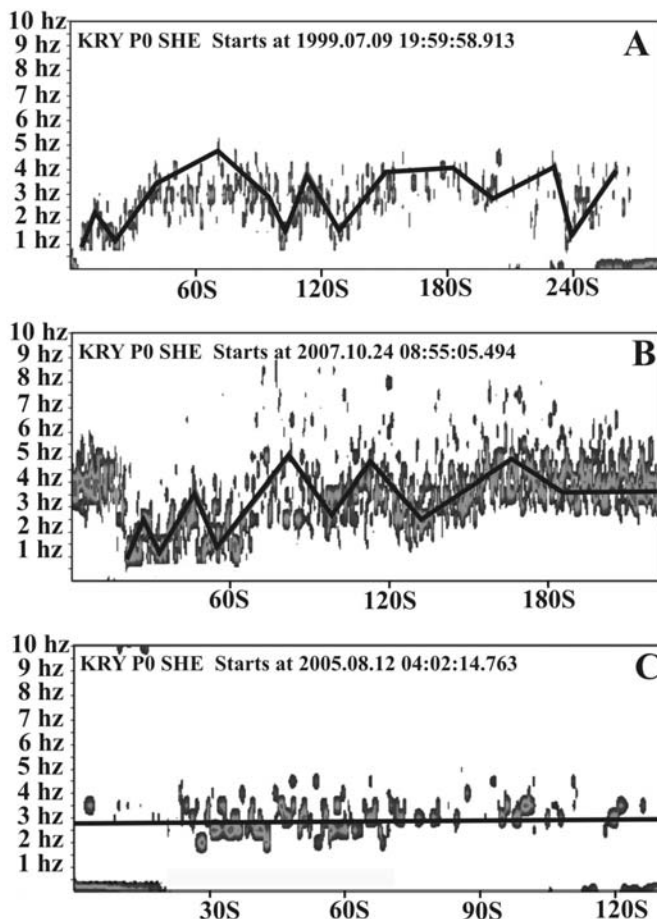
Рис. 4. Сван-диаграммы сейсмических сигналов: А - пеплового выброса и пирокластического потока, произошедшего 09.07.1999 г. в 19:59 UTC; В - пеплового выброса со звуком и падением бомб на склон, произошедшего 24.10.2007 г. в 08:55 UTC; С - парогазового выброса, произошедшего 12.08.2005 г. в 04:02 UTC.

Также были исследованы сигналы, сопровождавшие газовые выбросы и акустические проявления вулканической активности.

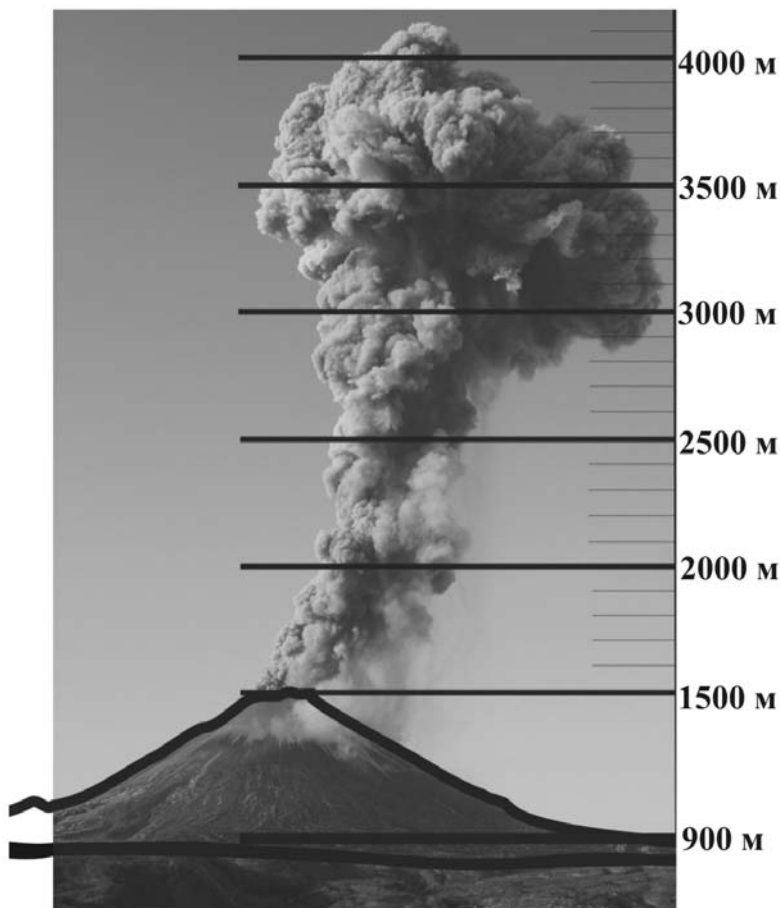
Рис. 3. График зарегистрированных параметров для пеплового выброса, произошедшего 24.04.2005 г. в 04:54 UTC: А - сопровождающий сейсмический сигнал; В - сван-диаграмма сейсмического сигнала; С - график амплитуды огибающей сейсмического сигнала (дискретизация 10 с).

Определение высот пепловых выбросов на фото и видео проводилось по аналогии с работой [5]. В программе CorelDRAW были созданы контурное изображение вулкана и линейная шкала, опорными точками для которой послужили известные высоты у основания вулкана и его абсолютная высота. Для определения высоты выброса снимок с помощью изменения масштаба подгонялся под созданный контур вулкана (рис. 5).

Для определения высоты пеплового выброса по сейсмическому сигналу используется значение суммы его огибающей [1, 5]. Для оценки высоты пеплового выброса описывающее зависимость высоты от суммы



Также сложно определить высоту выброса при продолжительном сейсмическом событии, состоящем из множества коротких составляющих. По визуальным данным продолжительное вулканическое событие обычно представляет пепловый выброс с «подпиткой», которая может увеличивать высоту первого выброса, либо «поддерживать» его на той же высоте. Иногда продолжительное сейсмическое событие может быть связано со слабым истечением пепла.



Результаты исследований

В результате проведенного исследования было установлено, что все вулканические события на влк. Карымский сопровождаются сейсмическими сигналами. При этом сейсмические сигналы различного происхождения отличаются по частотному диапазону или по изменениям частот во времени.

Рис. 5. Монтаж фотографии В.В. Юдина с изображением пеплового выброса 20 октября 2007 г. с контуром вулкана и шкалой измерения высоты выбросов относительно уровня моря.

Спектрально-временной анализ сейсмических сигналов, подтвержденных визуальными данными, показал, что пепловые выбросы обычно начинаются с сигнала с преобладающей частотой

1-1.5 Гц, которая впоследствии увеличивается до 2.5-4.5 Гц. Для пепловых выбросов со звуком или обломочных лавин преобладающая частота сигнала достигает 5.5-9.0 Гц.

Парогазовые выбросы обычно сопровождаются сейсмическим сигналом с постоянной частотой не менее чем на одном канале регистрации. При этом частота сигнала остается неизменной в диапазоне 1.5-4.5 Гц от начала до конца события. При газовых выбросах частоты сигнала разбиваются на две составляющие 1.5-2.5 Гц и 3.0-4.5 Гц. При этом, так же, как и при парогазовых выбросах, частоты остаются неизменными в течение всего события.

Выявлены также сейсмические события с максимальными частотами 8.0 -11.0 Гц, которые по данным наблюдателей сопровождали «грохот» со стороны вулкана без проявлений какой-либо видимой активности. В таких сигналах частоты также разбиваются на несколько составляющих.

Таким образом, с помощью спектрально-временного анализа сейсмических сигналов на вулкане Карымский имеется возможность корректной интерпретации видов вулканической активности.

Обнаружена линейная корреляция высоты пеплового выброса и суммы амплитуд огибающей сейсмического сигнала (рис. 2) [1, 5] и предложена соответствующая линейная зависимость $H=0.4836x+146$, где H – высота в м, x – сумма огибающей сейсмического сигнала.

Заключение

Создание базы данных эталонов сейсмических сигналов представляет длительный процесс. В настоящее время она находится в стадии формирования. За период 1999-2007 гг. зафиксировано по визуальным, фото и видео материалам около 150 событий, из которых ~ 90% приходится на пепловые выбросы, которые иногда сопровождаются сходом пирокластических потоков.

Пепловые выбросы представляют наибольший интерес, т. к. именно они представляют опасность для авиации.

Из 150 вулканических явлений, подтвержденных визуально, обработано и помещено в базу 103 события, в т. ч. 93 пепловых выброса (с гравитационным обрушением пирокластики и без такового), 5 парогазовых выбросов и 5 газовых выбросов и продувок. Излияние лавы за исследуемый период не было зафиксировано визуально. Поэтому таблица «излияние лавы» пока пуста.

Остается также открытым вопрос о том, что происходит на вулкане во время дрожания. Оно появляется на сейсмограммах с небольшими перерывами до настоящего времени (последнее дрожание зафиксировано 24 октября 2007 г.).

Анализ сейсмических сигналов показывает, что слабые вулканические события очень трудно различимы по частотам, и по ним практически невозможно определить высоту выбросов. Но на настоящее время этот вопрос не актуален, т. к. пепловые выбросы с высотой <2000 м над уровнем моря не являются потенциально опасными для авиации, а выбросы с высотой >3000 м не пропускаются и всегда отмечаются дежурным сотрудником лаборатории сейсмической и вулканической активности КФ ГС РАН.

Выводы

1. Подтверждена эффективность системы оценки вулканической опасности, описанная в работе [5], для влк. Карымский.

2. Определено различие записей сейсмических сигналов для разных вулканических событий на влк. Карымский по частотному диапазону и по его изменению во времени.

3. С помощью представленного метода выделения пепловых выбросов и определения их предполагаемой высоты в настоящее время ведутся наблюдения за влк. Карымский по его сейсмичности.

По проекту KVERT [4] за период с 01.01.2005 по 01.11.2007 гг. было передано 148 срочных сообщений по электронной почте о возможных пепловых выбросах с указанием времени события и оценкой их высоты в Елизовский Метеоцентр, центры слежения за пепловыми облаками в городах Токио, Анкоридже и Вашингтоне, в Аляскинскую вулканологическую обсерваторию, в Главное управление МЧС по Камчатской области, в Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. При этом для 25 выбросов оценивалась вероятная высота подъема пеплового столба более 4500 м над уровнем моря. В 35% случаев информация о пепловых выбросах подтверждалась наблюдателями или наличием пепловых облаков на спутниковых снимках.

Список литературы

1. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // (настоящий сборник).
2. Кирьянов В.Ю. Вулканические пеплы Камчатки как источник потенциальной вулканической опасности для пассажирских авиалиний // Вулканология и сейсмология. 1992. № 3. С. 16-36.
3. Кирьянов В.Ю., Фелицин К.Б. Вулканический пепел как природный фактор риска для авиации по данным исследования свойств пепловых частиц // Вулканология и сейсмология. 2000. № 5. С. 65-72.
4. Кирьянов В.Ю., Чубарова О.С., Сеньюков С.Л., Евдокимова О.А., Гарбузова В.Т. Группа по обеспечению безопасности полетов от вулканических пеплов (КВЕРТ): 8 лет деятельности // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 408-423.
5. Сеньюков С.Л., Дроздина С.Я., Дроздин Д.В. Опыт выделения пепловых выбросов и оценка их высоты по сейсмическим данным на примере вулкана Шивелуч (Камчатка) // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 292-300.