

Акустический мониторинг извержения вулкана Ключевской в июне 2023 – январе 2024 года

Будилов Д.И.

Acoustic monitoring of the Klyuchevskoy volcano eruption in June 2023 – January 2024 Budilov D.I.

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: budilovdmi@gmail.com

Рассмотрена динамика извержения вулкана Ключевской в период июнь 2023 – январь 2024 гг. на основе данных акустического мониторинга, полученных инфразвуковой станцией IS44, входящей в состав международной системы мониторинга в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Зафиксированы инфразвуковые сигналы от извержений, сопровождающихся возникновением ударных волн.

Введение

Ключевской – один из активнейших вулканов мира, является стратовулканом с конусом правильной формы. Он относится к Ключевской группе вулканов, расположен в 30 км от пос. Ключи, в 360 км от г. Петропавловска-Камчатского.

Эруптивная деятельность вулкана представлена взрывными и взрывно-эффузивными извержениями продолжительностью от нескольких месяцев до полутора лет [3, 4]. Основные типы взрывных извержений – стромболианский и вулканский.

В ночь на 23 июня 2023 г. началось очередное извержение. 1 ноября 2023 г. в рамках продолжающейся деятельности произошло пароксизмальное извержение, в результате которого пепел поднялся на высоту до 13 км над уровнем моря.

Аппаратура и методика наблюдений

В ходе вулканических извержений формируются ударно-волновые и акустические эффекты в атмосфере, в результате которых происходит генерация акустических сигналов того или иного класса [1]:

1) Аэродинамический шум ($f = 20-1000$ Гц). Он возникает в периоды истечения из кратера пеплогазовой струи.

2) Импульсные акустические сигналы длительностью импульса 0.1-1 с, генерируются при нестационарных процессах в кратерной зоне во время дегазации и фрагментации поступающей на дневную поверхность магмы.

3) Инфразвук ($f = 0.03-1$ Гц), возникающий в результате конвективных процессов, происходящих во время возникновения и формирования эруптивных облаков в процессе выноса продуктов извержений на дневную поверхность, что приводит к формированию восходящей конвективной колонны, турбулентные пульсации в которой и служат источниками инфразвукового сигнала.

4) Длинноволновые возмущения ($f < 0.03$ Гц) связаны с формированием мощной эруптивной колонны во время сильных извержений плинианского типа [1].

Инфразвуковые сигналы (ИС) с периодами от нескольких секунд до нескольких минут слабо затухают и могут распространяться на сотни и тысячи километров.

Так, инфразвуковой станцией IS44, расположенной в пос. Начики (п-ов Камчатка), зарегистрированы ИС от извержения вулкана Ключевской на удалении 379 км от вулкана (рис. 1).

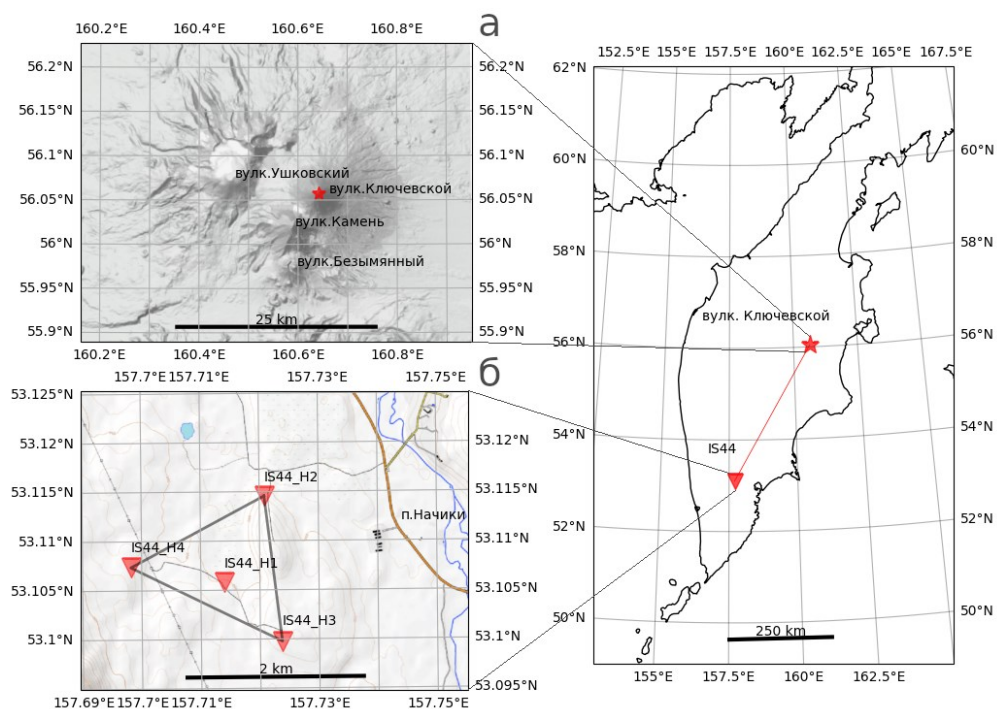


Рис. 1. Расположение вулкана Ключевской (а) и станции IS44 (б) на полуострове Камчатка.

IS44 является частью международной системы контроля за несанкционированными ядерными взрывами. На станции установлена антенна с апертурой 1.8 км на базе четырех микробарографов MB2000 французского производства. Расположение датчиков станции позволяет определять азимут прихода звукового луча со всех направлений от различных источников (рис. 1б). Диапазон частот 0.003-5 Гц при частоте дискретизации 20 Гц.

Сбор и обработка данных осуществляется с использованием информационной системы KamIn, предназначенной для мониторинга волновых возмущений на полуострове Камчатка. Программа позволяет рассчитывать азимут прихода волнового фронта акустических сигналов.

Особенности зарегистрированных акустических сигналов

Особенностью зарегистрированных ИС является группирование сигналов в отдельные временные кластеры длительностью от нескольких минут, что хорошо видно на записи ИС от 1 ноября (рис. 2). При более детальной развертке можно отметить, что в некоторых кластерах наблюдается квазипериодичность регистрации акустических импульсов с периодом $T \sim 30-10$ с, характерная для извержений стромболианского типа [2].

Так как атмосфера Земли является сложной и неоднородной средой, состоящей из различных газов, пыли, водяных паров и других веществ с переменной скоростью звука, из-за рефракции звука наклонный звуковой луч может вернуться к земной поверхности, образуя акустические зоны слышимости, либо может образоваться так называемая зона акустической тени. При изменении температуры на высотах может происходить смещение зоны слышимости и зоны акустической тени. В течение периода наибольшей активности вулкана Ключевской, в период с 28 октября по 2 ноября 2023 г., резких изменений стратификации выявлено не было, и вычисленная на трассе вулкана Ключевской – IS44 эффективная в тропосферном волноводе скорость сильно не изменялась: $C_{эф} \approx 280$ м/с.

Интенсивность извержения нарастала в течение данного периода и достигла пика к 1 ноября, когда регистрировались ИС с максимальной амплитудой избыточного давления $\Delta P = 0.5$ Па (рис. 2в).

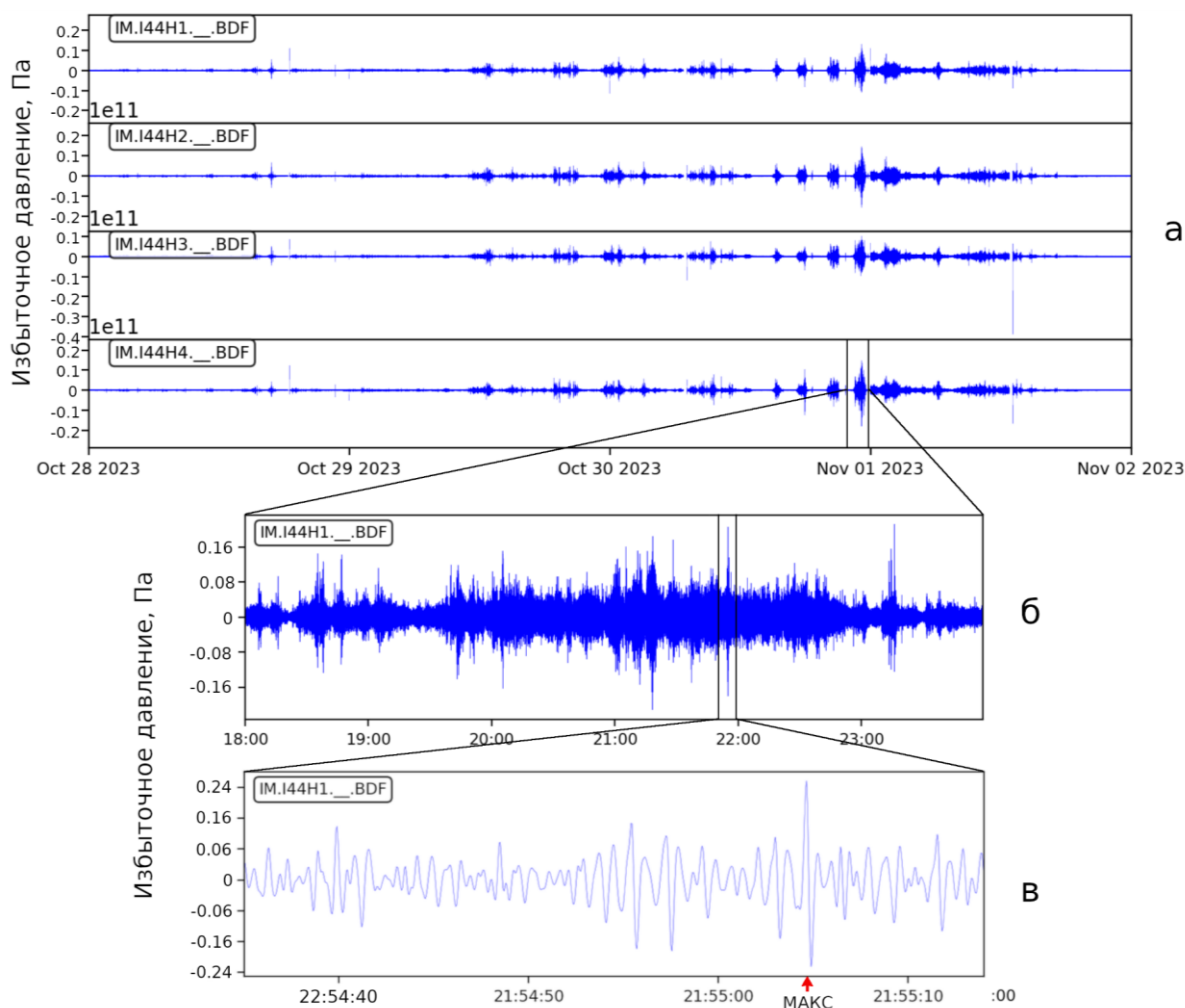


Рис. 2. Запись инфразвуковых сигналов со станции IS44, каналы Н1, Н2, Н3, Н4, 28 октября – 01 ноября 2023 г. (а) и увеличенный фрагмент канала Н1 30 ноября 2023 г. 18:00-23:59 (б, в). Подписью «МАКС» отмечено максимальное значение избыточного давления.

Зарегистрированная при извержении квазипериодичность ИС обусловлена параметрическим автоколебательным процессом, возникающим в процессе отделения газовой фазы из магмы и ее выносом в атмосферу. Подобный феномен регистрировался при извержениях других вулканов стромболианского типа: Алаид в 2015-2016 гг. и трещинного извержения вулкана Толбачик в 1975-1976 гг. [5].

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Фирстов П.П., Куличков С.Н., Махмудов Е.Р. Инфразвуковые волны от извержений вулканов Камчатки // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 4. С. 456-468.
2. Махмудов Е.Р., Фирстов П.П., Будилов Д.И. Информационная система для мониторинга волновых возмущений в атмосфере на полуострове Камчатка «KamIn» // Сейсмические приборы. 2016. Т. 52. № 2. С. 5-16.
3. Озеров А.Ю. Ключевской вулкан: вещество, динамика, модель. М.: Геос, 2019. 306 с.
4. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды Лаборатории вулканологии. 1956. Вып. 11. 311 с.
5. Фирстов П.П. Вулканические акустические сигналы диапазона 1.0-10 Гц и их связь с взрывным процессом. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2003. 90 с.