Изменения сейсмических скоростей в магматической системе вулкана Эбеко в течение 2021-2022 гг. по данным корреляции сейсмического шума

***Бережнев Я.М.*[1,2], *Беловежец Н.Н.*[1,2], *Кулаков И.Ю.*[1,3], *Яковлев А.В.*[1], *Абраменков С.С.*[1,2], *Абкадыров И.Ф.*[3]**

Seismic velocity changes in the magmatic system of the Ebeko volcano during 2021-2022 according to seismic noise cross-correlation

Berezhnev Y.M., Belovezhets N.N., Koulakov I.Y., Jakovlev A.V., Abramenkov S.S., Abkadyrov I.F.

[1] *Институт нефтегазовой геологии и геофизики, г. Новосибирск;*
e-mail: berezhnevym@ipgg.sbras.ru
[2] *Новосибирский Государственный Университет, г. Новосибирск*
[3] *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

В данной работе представлены изменения сейсмических скоростей под вулканом Эбеко (Курильские острова) за 2021-2022 гг., полученные по результатам анализа кросс-корреляций сейсмического шума с помощью кросс-спектрального анализа, основанного на вейвлет разложении. Изменения сейсмических скоростей были определены для периодов сейсмических волн от 2 до 10 секунд для всех возможных пар станций.

Введение

Остров Парамушир расположен на севере Курильской островной дуги и является вторым по величине после острова Итуруп. В северной части по центру острова находится хребет Вернадского, вытянутый с севера на юг, на северном окончании которого, всего в 7 км от г. Северо-Курильск, расположен вулкан Эбеко (рис. 1). Этот вулкан, являющийся одним из самых активных вулканов Курильской дуги, сложен несколькими четвертичными конусами, состоящими в основном из пород основного и среднего состава [8]. С 2016 г. по ноябрь 2021 г. вулкан Эбеко находился в фазе активного извержения, при этом фиксировались выбросы пепла, тепловые аномалии и выделение газа [1-4]. С 2022 г. начался очередной период активности вулкана, который представляет опасность как для авиаперевозок, так и для жителей Камчатки и о. Парамушир.

В 2021-2022 гг. впервые на о. Парамушир была установлена сеть временных сейсмических станций при поддержке ИНГГ СО РАН, ИВиС ДВО РАН, КФ ФИЦ ЕГС РАН. Данные с этой сети совместно с данными постоянной станции SKR (КФ ФИЦ ЕГС РАН) были использованы для получения изменений сейсмических скоростей.

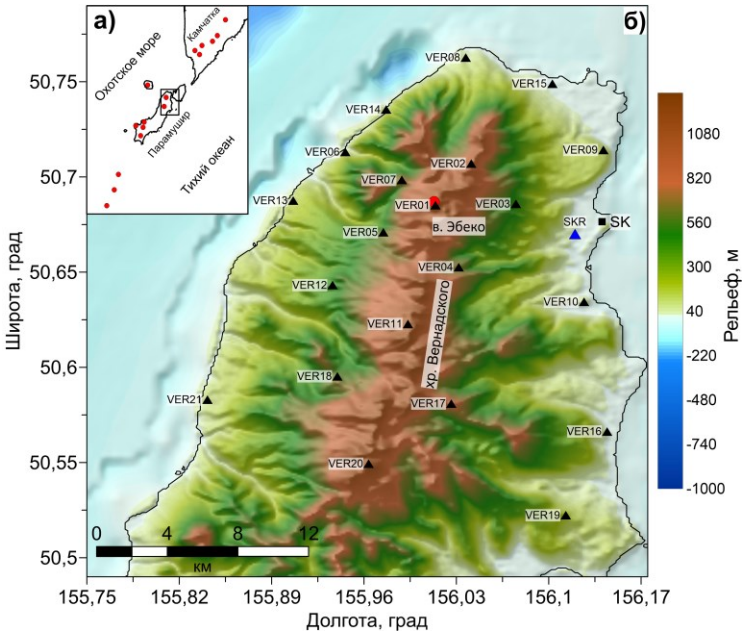

Рис. 1. Область изучения:
а – расположение региона исследования (черный прямоугольник), б – топография области исследования.
Красные круги – активные в настоящее время вулканы, черный квадрат – город Северо-Курильск. Черные треугольники – временные сейсмические станции, синий треугольник – постоянная станция SKR.

Данные и их обработка

Изменения скоростей сейсмических волн в среде определялись по кросс-корреляционным функциям (ККФ) сейсмического шума. Для построения ККФ использовались вертикальные компоненты непрерывных сейсмических записей. Данные со станции VER19 не использовались, потому что длина записей недостаточна. Были построены кросс-корреляционные функции в диапазоне частот от 2 до 10 секунд (рис. 2). Предварительная обработка данных включала в себя фильтрацию, внесение инструментальной поправки, понижение частоты дискретизации, удаление среднего и тренда. Кроме этого, было применено спектральное отбеливание и нормализация скользящим средним модулем (running absolute mean) до и после спектрального отбеливания [5]. Кросс-корреляции рассчитывались между отрезками длиной 2 часа с перекрытием в час.

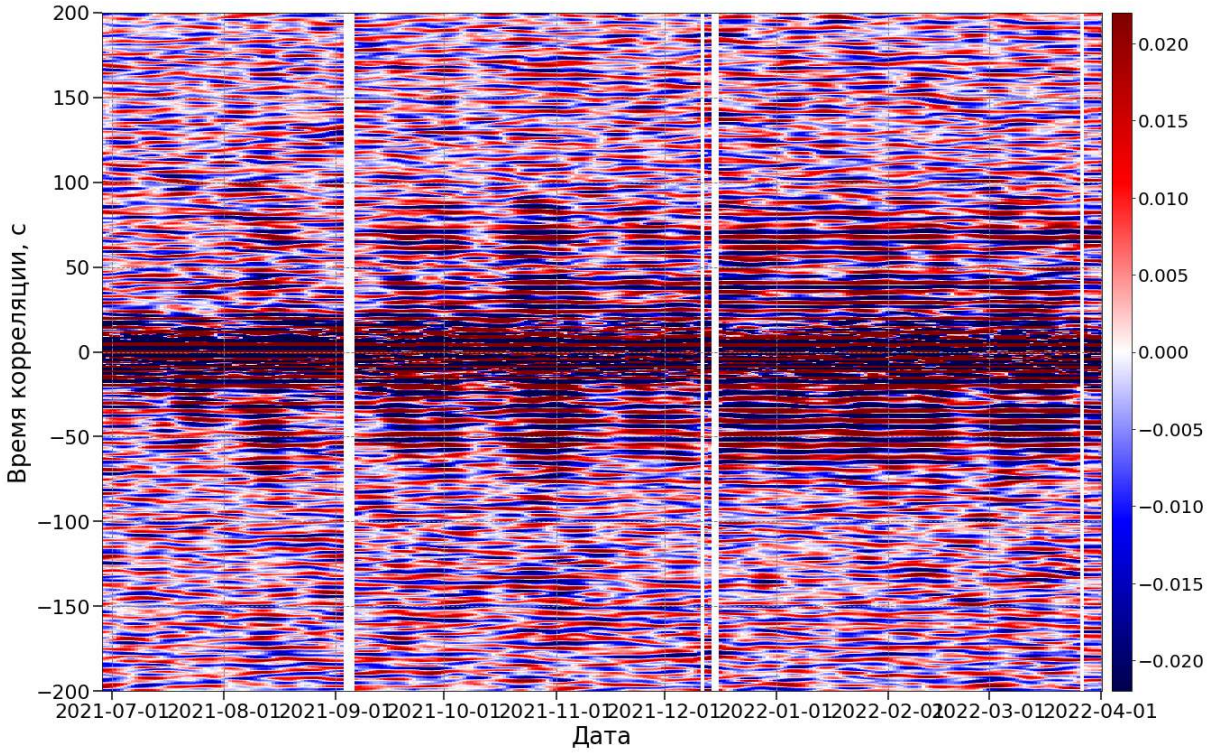

Рис. 2. Пример кросс-корреляционной функции для пары станций SKR и VER17.

Для определения относительных изменений сейсмических скоростей мы применили метод кросс-спектрального анализа, основанного на вейвлет разложении [6]. Этот метод основан на кросс-спектральном вейвлет-анализе, обеспечивая оптимальное частотно-временное разрешение. Использование вейвлетов является более подходящим способом исследования нестационарных сигналов путем разложения в частотно-временной области, чем традиционные методы. Процедура определения изменений сейсмических скоростей состоит из следующих шагов: выбор вейвлета; расчет непрерывного вейвлет-преобразования для текущей и эталонной кросс-корреляции; расчет вейвлет-кросс-спектра и фазового спектра; получение изменений во времени; получение изменений сейсмических скоростей. Изменения сейсмических скоростей определялись для набора частот в полосе пропускания с использованием кода-волновой части кросс-корреляций относительно эталонной кросс-корреляции, в данном случае средней по всем ККФ с июня по ноябрь 2021 г.

Результаты и интерпретация

Нами были полученные кривые относительных изменений сейсмических скоростей для каждой пары станций, которые были затем осреднены по всей сейсмической сети для выделения основных паттернов (рис. 3).

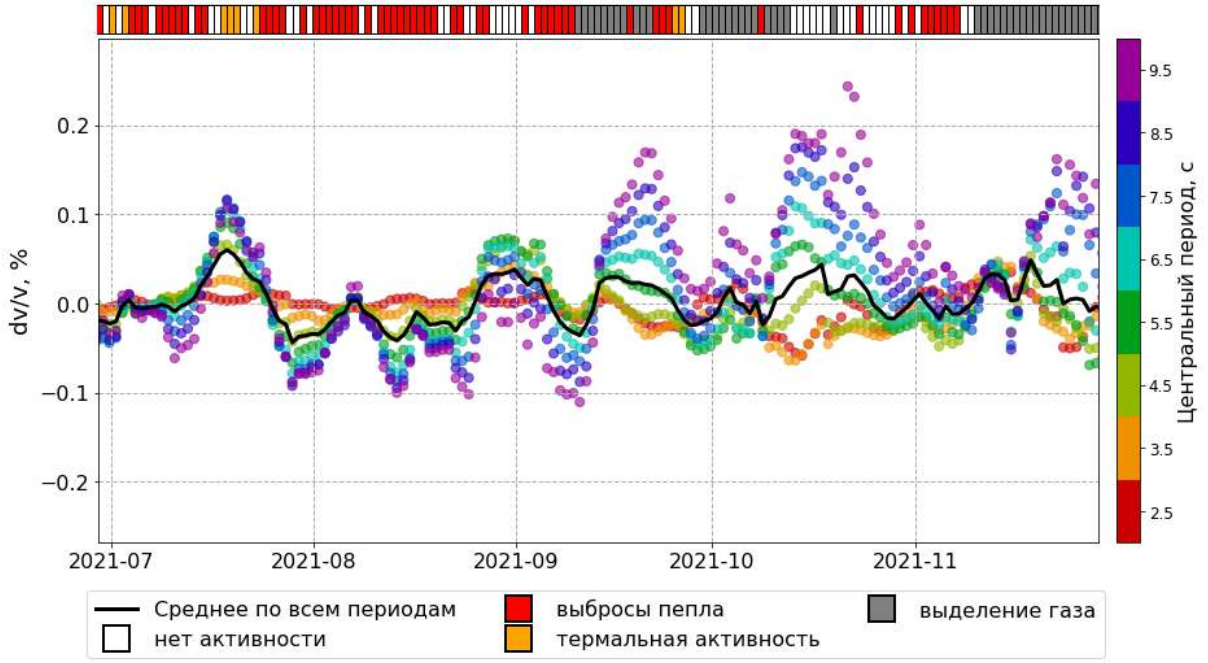

Рис. 3. Изменения сейсмических скоростей, осредненные по всем парам станций для разных центральных периодов. Над рисунком показана активность вулкана Эбеко, согласно VONA/KVERT отчетам [7].

На полученных кривых изменений сейсмических скоростей наблюдается следующая закономерность: более высокие периоды (2-4 секунды) характеризуются поведением, несогласующимся с более низкими периодами (6-10 секунд). Это может быть объяснено тем, что более низкие частоты имеют большую чувствительность к большим глубинам, а высокие периоды чувствительны к приповерхностной части среды, на которую сильно влияют внешние факторы, например, погода и осадки. Кроме этого, на представленных кривых наблюдается повышение сейсмических скоростей в периоды без активности или с термальной активностью и понижение скоростей в периоды извержений. Это можно объяснить тем, что перед извержением повышается давление флюида на глубине, что приводит к увеличению сейсмических скоростей, а при извержении и после него сейсмические скорости уменьшаются из-за уменьшения напряжений в среде.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-27-00374 и в рамках государственного задания – научный проект FWZZ-2022-0017.

Список литературы

1. *Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др.* Активность вулканов Камчатки и Курильских островов в 2020-2021 гг. и их опасность для авиации // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIV ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29-30 марта 2021 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2021. С. 25-28.
2. *Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др.* Активность вулканов Камчатки и Курильских островов в 2019 г. и их опасность для авиации // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIII ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2020. С. 11-14.

3. *Котенко Т.А., Сандимирова Е.И.*, *Котенко Л.В.* Извержение вулкана Эбеко (Курильские острова) в 2016-2017 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. № 1. Вып. 37. С. 32-42.
4. *Маневич А.Г., Гирина О.А., Мельников Д.В. и др.* Активность вулканов Камчатки и Курил в 2018 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 28-31.
5. *Bensen G.*, *Ritzwoller M., Barmin M. et al.* Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements // Geophysical Journal International. 2007. V. 169. P. 1239-1260. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03374.x
6. *Mao S., Mordret A., Campillo M. et al.* On the measurement of seismic traveltime changes in the time–frequency domain with wavelet cross-spectrum analysis // Geophysical Journal International. 2020. V. 221. P. 550-568. https://doi.org/10.1093/gji/ggz495
7. *VONA/KVERT Daily Report.* KVERT, Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS. URL: http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van.
8. *Walter T.*, *Belousov A., Belousova M. et al.* The 2019 eruption dynamics and morphology at Ebeko volcano monitored by Unoccupied Aircraft Systems (UAS) and field stations // Remote Sensing in Geology, Geomorphology and Hydrology. 2020. V. 12. Art. 1961. https://doi.org/10.3390/rs12121961