

Скоростная структура верхней коры под вулканом Эбеко (Курильские острова) по результатам шумовой сейсмической томографии

Беловежец Н.Н.^{1,2}, Бережнев Я.М.^{1,2}, Кулаков И.Ю.^{1,3}, Яковлев А.В.¹,
Абраменков С.С.^{1,2}, Абкадыров И.Ф.³

Shallow velocity structure beneath Ebeko volcano revealed by ambient noise tomography

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

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики, г. Новосибирск;

e-mail: belovezhetsnn@ipgg.sbras.ru

² Новосибирский Государственный Университет, г. Новосибирск

³ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В данной работе представлено трехмерное распределение скорости поперечной волны под вулканом Эбеко (Курильские острова) до глубины 6 км, полученное методом шумовой сейсмической томографии. Низкоскоростные аномалии наблюдаются под вулканом Эбеко и под г. Вернадского на глубине 4-6 км, а также на глубине 1 км под вулканом Эбеко.

Введение

Вулкан Эбеко расположен в северной части острова Парамушир (Курильские острова), всего в 7 км от города Северо-Курильска. Остров Парамушир – это один из самых больших островов Курильской островной дуги, расположенный близко к полуострову Камчатка. Вулкан Эбеко – это сложно построенный вулкан, состоящий из нескольких четвертичных вулканических конусов, окруженный большим количеством термальных источников. Самыми известными источниками являются Верхне-Юрьевские термальные источники, широко исследованные благодаря своему уникальному геохимическому составу [1]. В данный момент вулкан Эбеко находится в стадии активной вулканической деятельности, производя фреато-магматические извержения до нескольких раз в день, при которых высота пепловой колонны достигает 5 км, что представляет опасность для авиаперевозок и жителей Северо-Курильска [5]. Несмотря на большое количество исследований, которые были проведены в данном районе [3, 6, 9], глубинное строение магматической системы вулкана Эбеко остается неизвестным. Поэтому нами были обработаны данные с первой сети сейсмических станций, установленной на острове Парамушир в 2021-2022 гг., и одной постоянной станции (рис. 1).

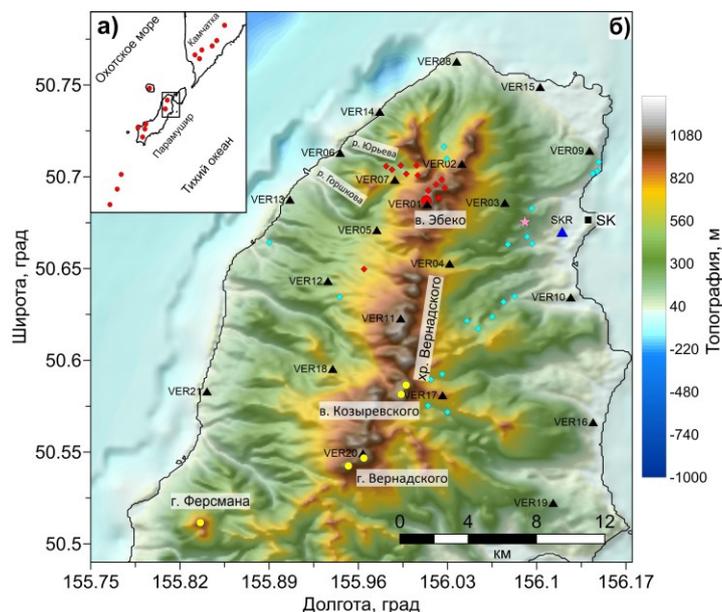


Рис. 1. Область изучения: а – расположение региона исследования (черный прямоугольник); б – топография области исследования. Красные круги – активные в настоящее время вулканы, желтые круги – недавно активные вулканы, красные ромбы – горячие термальные источники, голубые ромбы – холодные термальные источники [2]. Розовая звезда – глубокая скважина, черный квадрат – город Северо-Курильск. Черные треугольники – временные сейсмические станции, синий треугольник – постоянная станция.

Данные и их обработка

Мы использовали трехкомпонентные непрерывные сейсмические записи временной сейсмической сети, функционировавшей с июня 2021 г. по июль 2022 г., установленной Институтом нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (ИНГГ СО РАН) совместно с Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), и одной постоянной сейсмической станции (SKR), установленной Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН) (рис. 1). Станция VER19 не использовалась в исследованиях, так как проработала всего 3 дня.

Были построены кросс-корреляционные функции в диапазоне частот от 30 секунд до 4 Гц. При этом данные предварительно фильтровались, вносилась инструментальная поправка, понижалась частота дискретизации, применялось удаление среднего и удаление тренда. Кроме этого, было применено спектральное отбеливание и нормализация скользящим средним модулем (running absolute mean) с предварительной фильтрацией в окне далеких землетрясений 15-30 сек [4]. Кросс-корреляции рассчитывались между отрезками длиной 2 часа с перекрытием в 1 час, после чего суммировались за все сутки. Из-за того, что на некоторых кросс-корреляциях наблюдался сдвиг относительно нуля из-за потери сигнала GPS, вводились дополнительные поправки (рис. 2).

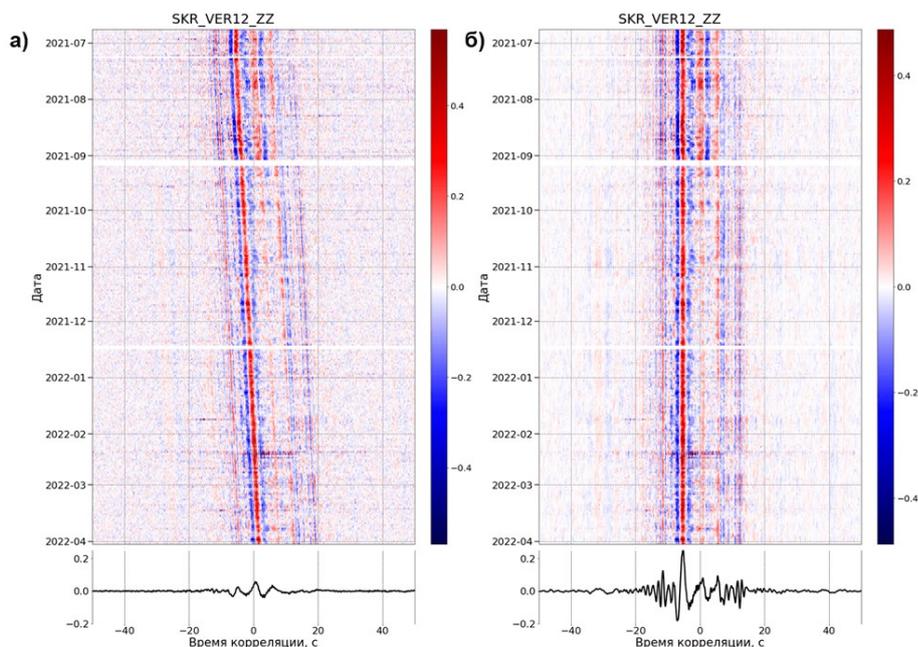


Рис. 2. Кросс-корреляции для станций SKR и VER12: а – до введения поправки, б – после введения поправки.

Для извлечения дисперсионных кривых групповых скоростей поверхностных волн Рэлея мы применяли спектрально-временной анализ (FTAN) [8] к вертикальным компонентам тензора кросс-корреляций. Дисперсионные кривые были выделены для частот от 2 Гц до 5 секунд. Далее дисперсионные кривые использовались в алгоритме шумовой сейсмической томографии SURF_TOMO [7] для построения трехмерного распределения скорости поперечной волны в верхней части верхней коры. Также нами были проведены синтетические тесты «шахматная доска» для проверки разрешающей способности модели.

Результаты и интерпретация

Нами было получено трехмерное распределение скорости поперечных волн в среде. На рис. 3 представлены горизонтальные сечения аномалий скорости поперечной

волны. На рис. 4а представлены вертикальные сечения аномалий скорости, абсолютные распределения представлены на рис. 4б.

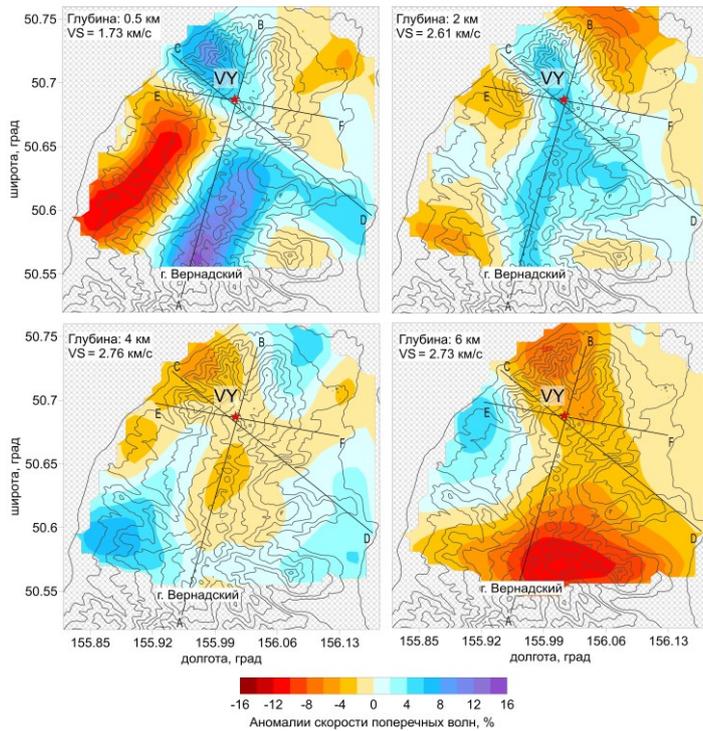


Рис. 3. Горизонтальные сечения аномалий скорости поперечных волн. Референсные значения скорости и глубины обозначены в верхнем левом углу каждого рисунка. Топография показана линиями. Красная звезда обозначает вулкан Эбеко, VY – Верхне-Юрьевские термальные источники. Черные линии – профили для вертикальных сечений.

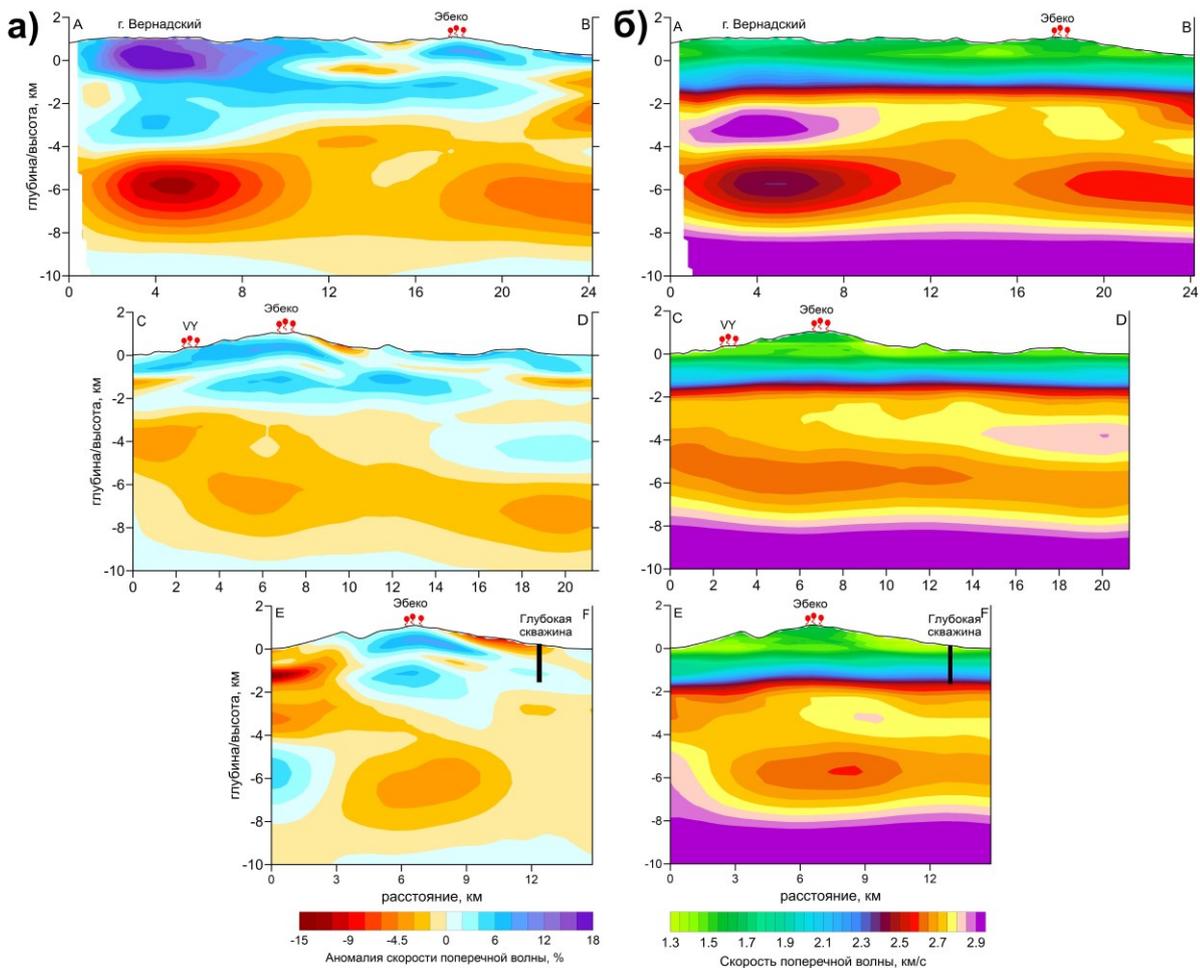


Рис. 4. Вертикальные сечения аномалий (а) и абсолютных значений (б) скорости поперечных волн. VY – Верхне-Юрьевские термальные источники. Вертикальный масштаб равен горизонтальному. Черной линией показано расположение глубокой скважины.

Наблюдаются две высокоскоростные аномалии под вулканом Эбеко и под г. Вернадского, которые могут быть связаны с консолидированными магматическими породами с высокой плотностью. Также наблюдаются две низкоскоростные аномалии под вулканом Эбеко и г. Вернадского на глубине 4-6 км, которые могут быть интерпретированы как магматические очаги, питающие вулкан Эбеко в настоящее время и г. Вернадского в прошлом. Кроме этого, наблюдается низкоскоростная аномалия под вулканом Эбеко и под Верхне-Юрьевскими термальными источниками на глубине порядка 1 км, которая, скорее всего, представляет собой водонасыщенный слой, питающий источники и являющийся причиной фреатических извержений вулкана Эбеко (при контакте магмы с водой).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-27-00374 и в рамках государственного задания по теме НИР FWZZ-2022-0017.

Список литературы

1. *Калачева Е.Г., Волошина Е.В.* Геохимическая характеристика термальных источников привершинной части вулкана Эбеко (о. Парамушир, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. № 2. Вып. 54. С. 6-19.
2. *Хубаева О.Р.* Тепловое питание гидротермально-магматических систем хребта Вернадского (о. Парамушир, Курильские острова). Автореф. дис. на соиск. уч. ст. докт. геол.-мин. наук. Москва, 2020. 17 с.
3. *Belousov A., Belousova M., Auer A. et al.* Mechanism of the historical and the ongoing Vulcanian eruptions of Ebeko volcano, Northern Kuriles // Bulletin of Volcanology. 2021. V. 83. <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01426-z>
4. *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>
5. *Girina O., Manevich A., Melnikov D. et al.* The 2016 Eruptions in Kamchatka and on the North Kuril Islands: The Hazard to Aviation // Journal of Volcanology and Seismology. 2019. V. 13. P. 157-171. <https://doi.org/10.1134/S0742046319030047>
6. *Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T. et al.* Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2016. V. 310. P. 118-131. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.11.006>
7. *Koulakov I., Maksotova G., Jaxybulatov K. et al.* Structure of magma reservoirs beneath Merapi and surrounding volcanic centers of Central Java modeled from ambient noise tomography // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2016. V. 17. <https://doi.org/10.1002/2016GC006442>
8. *Levshin A., Pisarenko V., Pogrebinsky G.* On a frequency-time analysis of oscillations // Annales de geophysique. 1972. V. 28. P. 211-218.
9. *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. № 1961. <https://doi.org/10.3390/rs12121961>