

Сейсмическая томография как инструмент изучения магмо-гидротермальной системы вулкана Эбеко (о. Парамушир)

Комзелева В.П.¹, Бережнев Я.М.^{1,2}, Беловежец Н.Н.^{1,2}

Seismic tomography as a tool for studying the magmatic-hydrothermal system of Ebeko volcano (Paramushir Island)

Komzeleva V.P., Berezhnev Y.M., Belovezhets N.N.

¹ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск;

e-mail: v.komzeleva@g.nsu.ru

² Сколковский институт науки и технологий, г. Москва

Сейсмическая томография на основе затухания коды-волн (Q_c^{-1}) впервые применена для изучения магмо-гидротермальной системы хребта Вернадского на о. Парамушир. Обработка данных с 21 станции (2021-2022 гг.) позволила построить 3D-модель земной коры до глубины 6 км. Выявленный тренд роста затухания с юга на север отражает эволюцию вулканизма.

Введение

Остров Парамушир – крупнейший и самый северный остров Курильской дуги (площадь ~ 2000 км²), расположенный в переходной зоне от континентальной коры Камчатки к океанической коре Курильских островов. Его тектоническое положение определяется субдукцией Тихоокеанской плиты под Охотскую плиту со скоростью ~ 7.8 см/год [1], что обуславливает интенсивный вулканизм и гидротермальную активность [2]. В северной части острова находится вулканический хребет Вернадского (простирается ССВ-ЮЮЗ), где расположен действующий вулкан Эбеко. Его деятельность характеризуется чередованием фреатомагматических извержений и сложной гидротермальной активности.

В то время как скоростные модели (V_p , V_s и их соотношение), которые ранее использовались для изучения глубинного строения этого района, обладают некоторой неоднозначностью при интерпретации природы аномалий (наличие газа, флюидов, расплава или трещиноватости), сейсмическое затухание (параметр Q_c^{-1}), напротив, является высокочувствительным индикатором флюидонасыщенности, трещиноватости и термомеханического состояния среды. В данной работе мы впервые применяем томографию затухания для тестирования гипотез о пространственном расположении магмо-гидротермальной системы под хребтом Вернадского, а именно:

- 1) локализации основных резервуаров и путей миграции флюидов под вулканом Эбеко;
- 2) глубинной структуры магмо-гидротермальной системы;
- 3) связи латеральных вариаций затухания с эволюцией вулканизма (от потухших центров на юге к активным на севере).

Методы

Был применен метод томографии на основе затухания коды-волн (ANAT) к данным, полученным с временной сети из 21 сейсмической станции, работавшей на о. Парамушир в 2021-2022 гг. Построенная трехмерная модель распределения затухания (Q_c^{-1}) позволила детализировать структуру верхних 4-6 км земной коры.

Результаты

Полученные томографические изображения выявили ряд ключевых особенностей:

1. Приповерхностные флюидные резервуары: на глубинах 0.5-2 км под активными кратерами Эбеко и термальными источниками р. Юрьева зафиксированы экстремально высокие значения затухания ($Q_c^{-1} > 0.45$). Эти аномалии интерпретируются как зоны интенсивной трещиноватости, насыщенные гидротермальными флюидами и контролирующими современную фреатомагматическую

активность. Примечательно, что аномалия под источниками р. Юрьева имеет обособленный характер, указывая на частично независимую циркуляционную систему, питаемую магматическими газами.

2. Глубинная магматическая камера: на глубинах 4-6 км под вулканом Эбеко выделяется контрастное ядро пониженного затухания ($Q_c^{-1} < 0.1$), окруженное зонами высокого затухания. Такая структура свидетельствует о наличии термически зрелого магматического тела (возможно, кристаллического каркаса или интрузива), окруженного радиальными путями миграции флюидов и расплавов.

3. Латеральная эволюция системы: выявлен прогрессивный тренд увеличения затухания с юга на север вдоль хребта Вернадского (от $Q_c^{-1} < 0.15$ под потухшими постройками до $Q_c^{-1} > 0.45$ под активным Эбеко). Эта сейсмическая картина является прямым отражением эволюции вулканической системы: от остывших структур к современному активному гидротермально-магматическому очагу.

Заключение

Интеграция томографии по сейсмическому затуханию с существующими скоростными моделями позволила снять неоднозначность интерпретации природы геофизических аномалий под о. Парамушир. Мы приводим в нашем исследовании данные о том, что высокое затухание маркирует именно флюидонасыщенные трещиноватые коллекторы и пути миграции тепла, в то время как низкое затухание соответствует более компактным, термически зрелым магматическим телам. Выявленная латеральная и вертикальная сегментация системы объясняет разнообразие поверхностных термальных проявлений и сложность геотермальных ресурсов района. Предложенный подход открывает перспективы для мониторинга изменений во времени с целью прогноза извержений и более точной оценки флюидно-магматического баланса в островодужных системах.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту № FSUS-2025-0015.

Список литературы

1. Авдейко Г.П., Палуева А.А., Бергаль-Кувикас О.В. Механизм взаимодействия литосферных плит в Алеутско-Камчатском регионе // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 28-31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 273-284.
2. Бергаль-Кувикас О.В., Буслов М.М., Бушенкова Н.А., Долгая А.А. Переход от континентальной окраины Камчатки к островной дуге Курильских островов: особенности проявления вулканизма, деформации земной коры и геофизические параметры слэба // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 10. С. 1469-1484. <https://doi.org/10.15372/GiG2023136>