



УДК 550.34:550.21

Ю. А. Кугаенко¹, В. А. Салтыков¹, И. Ф. Абкадыров²,
А. В. Горбатилов³, М. Ю. Степанова³

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683 006; e-mail: ku@emsd.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683 006;

³ Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, 123 995

Микросейсмический профиль вкост Толбачинского Дола

Пройден линейный субширотный микросейсмический профиль вкост региональной зоны шлаковых конусов Толбачинского Дола через Северный прорыв Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. Для реконструкции глубинной структуры среды применена методика низкочастотного микросейсмического зондирования. Получены новые данные о глубинной структуре Толбачинского Дола.

Введение

Толбачинский Дол — Южная региональная зона шлаковых конусов вулкана Плоский Толбачик — расположен в юго-западном секторе Ключевской группы вулканов на Камчатке. Район детально изучался благодаря Большому трещинному Толбачинскому извержению (БТТИ, 1975–1976 гг.). Несмотря на то, что БТТИ и связанным с ним процессам посвящено большое количество работ, ряд проблем требует дополнительных исследований. В частности, это вопросы, связанные со строением и свойствами промежуточных магматических очагов и питающих каналов, и основная особенность извержения — резкая смена состава базальтов от магнезиальных через промежуточные разности к субщелочным глиноземистым.

Развитие средств цифровой регистрации сейсмических сигналов и появление принципиально новых методик оценки параметров геологических объектов позволяют провести исследования глубинной структуры Толбачинского Дола на современном уровне для получения дополнительных знаний об ареальном вулканизме этого района.

Методика

Для реконструкции глубинной структуры среды применён метод низкочастотного микросейсмического зондирования [3]. Метод реализуется в обоснованном допущении, что вертикальная компонента микросейсмического поля определяется преимущественным вкладом фундаментальных мод Рэлея и базируется на свойстве скоростных неоднородностей земной коры искажать спектр низкочастотного микросейсмического поля в своей окрестности. В качестве информационной основы используется естественное фоновое микросейсмическое излучение. Методика разрабатывается в ИФЗ РАН. Имеется

успешный опыт её применения для исследования вулканических областей [7, 9].

По результатам численного моделирования [4] горизонтальное разрешение метода (то есть расстояние между неоднородностями, необходимое для их различимости) оценивается величиной ~25% от длины зондирующей волны, или, соответственно, ~50% от глубины залегания неоднородности. Вертикальное разрешение оценивается как ~60% от глубины залегания. Присутствие отдельно стоящей неоднородности можно различить даже при условии, что длина зондирующей волны существенно превышает размеры неоднородности, например в 10 и более раз. Кроме того, если неоднородность имеет значительные размеры, то есть превышает длину зондирующей волны в 2 и более раз, то положение её протяжённой границы можно восстановить без ошибок.

С точки зрения практической реализации этот подход выглядит как микросейсмическая съёмка в ряде разнесённых в пространстве точек одними или несколькими переносными датчиками. Такая методика работ, в отличие от традиционной томографии, не требует большого числа регистрирующих станций. Как известно, для вулканических районов характерна труднодоступность и сложный рельеф, что затрудняет проведение сейсморазведочных работ в их классической постановке. В то же время технология микросейсмического зондирования в этих условиях вполне реализуема, что и демонстрирует данная работа.

Скоростной разрез

В технологии микросейсмического зондирования для построения глубинного изображения используется скоростная модель $V_R(f)$. В идеальном случае эту модель оценивают методами поверхностно-волновой томографии либо на основе частотно-волново-

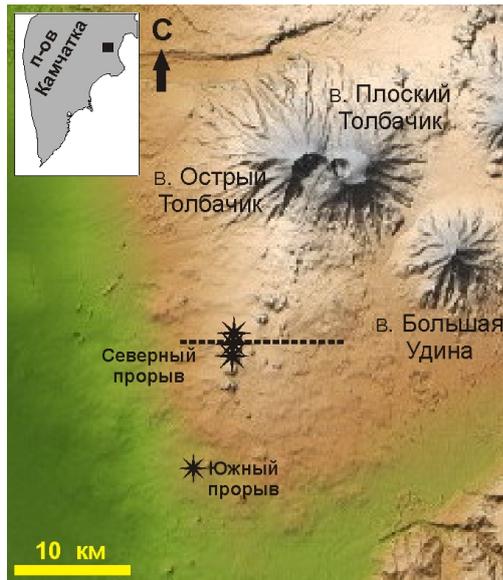


Рис. 1. Толбачинский Дол — Южная региональная зона шлаковых конусов вулкана Плоский Толбачик. Пунктиром отмечен микросейсмический профиль.

го анализа по группе датчиков. В нашем случае мы использовали скоростную модель $V_R(f)$, оценённую по заданному скоростному разрезу $V_S(H)$, который, в свою очередь, был оценён по экспериментально полученной модели $V_P(H)$ [1].

Микросейсмическая съёмка

Летом 2010 г. пройден линейный субширотный микросейсмический профиль вкост региональной зоны шлаковых конусов Толбачинского Дола через Северный прорыв БТТИ. Длина профиля 14 км. Шаг съёмки (расстояние между пунктами регистрации) 500 м. Общее количество точек на профиле 29. Для регистрации фонового поля микросейсм использовались портативные широкополосные (0,03–100 Гц) цифровые сейсмометры Guralp CMG-6TD.

Профиль был размечен на этапе подготовки полевых работ с помощью цифровых карт. Затем координаты точек профиля были занесены в портативные GPS-приёмники. Это позволило участникам экспедиции напрямую выходить к намеченным пунктам. Такой подход обеспечил линейность профиля и равномерность реперов регистрации. Основная часть съёмки была выполнена в ходе пеших маршрутов. Особенности рельефа позволили использовать автомобиль высокой проходимости только в нескольких точках в центральной части Толбачинского Дола.

Время регистрации в каждой точке составляло не менее 3 часов, что определялось необходимостью достижения статистической устойчивости спектра.

Для исключения трендовой составляющей в спектре зондирующего микросейсмического сигнала одновременно с измерениями вдоль профиля непрерывно работала опорная станция.

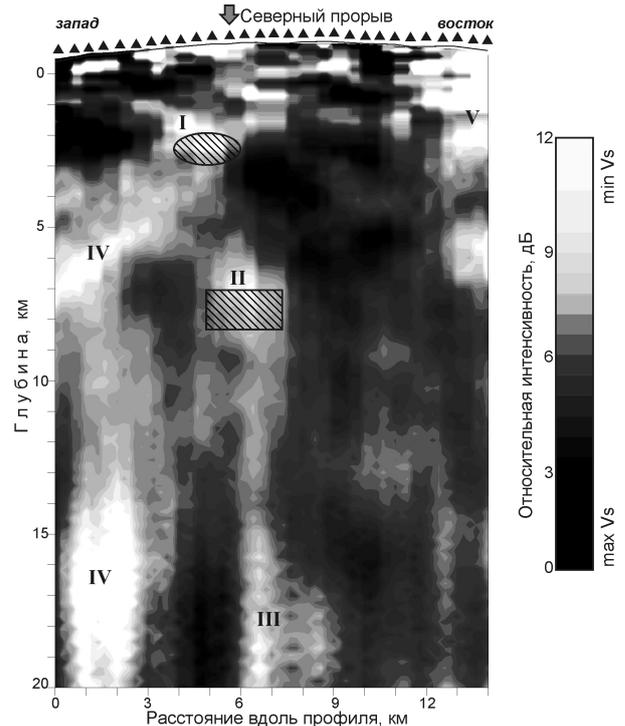


Рис. 2. Вертикальный разрез, отражающий глубинное распределение относительных скоростей поперечных сейсмических волн вкост Толбачинского Дола. Градация цвета от светлого к тёмному соответствует переходу от низких скоростей к более высоким. I–V — низкоскоростные области, выделенные методом микросейсмического зондирования (описание в тексте). Эллипс и прямоугольник — малоглубинные магматические очаги по [1].

Результаты, интерпретация разреза

Построен вертикальный разрез земной коры, отражающий распределение латеральных контрастов скоростей поперечных волн в диапазоне глубин 0–20 км вкост питающей трещины БТТИ (рис. 1). Выявленные структурные неоднородности проинтерпретированы с учётом известных ранее результатов комплексных исследований извержения.

Результаты наших расчётов подтверждают существование под Северным прорывом БТТИ двух объёмов среды с пониженными прочностными свойствами, которые по результатам выполненных ранее работ интерпретируются как периферические магматические очаги. (I, II на рис. 2). Положение выделенных объектов близко к зонами повышенного поглощения сейсмических волн, выделенных в [1, 2] (эллипс и прямоугольник на рис. 2). Глубина аномалии I хорошо согласуется и с описанным в [5, 6] периферическим очагом под Северным прорывом БТТИ.

Обнаружены несообщающиеся низкоскоростные зоны, связанные с предполагаемым малоглубинным очагом на глубине 2–3 км. Показано, что пути поступления магмы в этот очаг могли быть различными, что важно для понимания возможных причин резкого изменения состава базальтов в ходе извержения.

Выделены относительно низкоскоростные зоны, которые могут являться проводниками магмы к поверхности. Показано, что в кристаллическом фундаменте (на глубинах больше 7–8 км) они имеют субвертикальный характер, а в осадочной оболочке форма магматических внедрений меняется: мы видим сложную разветвлённую систему силлов и наклонных структур, без ярко выраженных вертикальных каналов.

В центральной части рис. 2 прослеживается субвертикальный низкоскоростной канал (магмовод?), имеющий расширения I, II, III, которые можно рассматривать, как зоны скопления магматических расплавов [1, 2, 8]. Возможно, этот канал является основным «питающим корнем» Северного прорыва БТТИ.

На периферии Толбачинского Дола выявлены сложнопостроенные низкоскоростные области (IV, V на рис. 2), которые требуют дополнительного изучения и, вероятно, отражают сложный характер строения недр зоны ареального вулканизма. Аномалия V является краевой частью так называемой Толудской эпицентральной зоны, проявившей высокую сейсмическую активность в ходе БТТИ [1] (в настоящее время здесь сосредоточена основная часть поверхностных землетрясений южного сектора Ключевской группы вулканов).

Заключение

Для реконструкции глубинной структуры среды Толбачинского Дола применён метод низкочастотного микросейсмического зондирования, для чего проведено накопление спектра микросейсмического поля в широкой частотной полосе в 29-ти точках вдоль профиля длиной 14 км, заложенного вкост питающей трещины СП БТТИ. Построен глубинный разрез земной коры до 20 км, отражающий распределения относительных скоростей поперечных сейсмических волн. Подтверждено существование под СП БТТИ на глубинах 2–3 и 7–8 км аномальных объёмов среды, которые могут являться малоглубинными магматическими очагами. Выявлены и пространственно локализованы глубинные субвертикальные

низкоскоростные структуры, предположительно — питающие корни извержения. Показано, что пути возможного поступления магмы в периферический очаг на глубине 2–3 км могли быть различны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 10-05-10059, 10-05-00139).

Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение. Москва, Наука, 1984, 683 с.
2. Геологические и геофизические данные о Большом Толбачинском извержении 1975–76 гг. М.: Наука, 1978. 256 с.
3. Горбатиков А. В., Степанова М. Ю., Кораблев Г. Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // Физика Земли. 2008. № 7 с. 66–84.
4. Горбатиков А. В., Цуканов А. А. Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Изучение возможностей метода микросейсмического зондирования // Физика Земли. 2011. № 4. С. 96–112.
5. Ермаков В. А., Геншафт Ю. С. Механизм извержения Северного прорыва Толбачинского Дола в 1975г. // ДАН СССР. 1980. Том. 255. № 5. С. 1076–1080.
6. Ермаков В. А., Ермаков А. В. Геолого-петрологические модели извержения 1975–76 гг. на Толбачинском Долу (Ключевская группа вулканов) // Геофизические исследования. М., ИФЗ РАН, 2006. Вып. 5. С. 53–115.
7. Кугаенко Ю. А., Салтыков В. А., Горбатиков А. В., Степанова М. Ю. Глубинная структура района Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессии по данным микросейсмического зондирования // Доклады РАН. 2010. Том. 435. № 1. С. 96–101.
8. Федотов С. А., Жаринов Н. А., Гонтовая Л. И. Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов (Камчатка) по данным об её извержениях, землетрясениях, деформациях и глубинном строении // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 3–35.
9. Gorbatikov A. V., Kalinina A. V., Volkov V. A., Arnoso J. et al. Results of Analysis of Data of Microseismic Survey at Lanzarote Island, Canary, Spain // Pure appl. Geophys. 2004. Vol. 161. P. 1561–1578.