

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ СКОРОСТНОГО СТРОЕНИЯ РАЙОНА КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ ПО ДАННЫМ ПРОБЕГА Р-ВОЛН ОТ ЛОКАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ МЕТОДОМ ОБРАТИМОЙ ВОЛНЫ

Л.Б. Славина<sup>1</sup>, Н.Б. Пивоварова<sup>1</sup>, С.Л. Сеньюков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли РАН, г. Москва, [slavina@ifz.ru](mailto:slavina@ifz.ru)

<sup>2</sup>Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Природа вулканической активности, источники питания, накопления и перемещения магм, строение корней вулканов и магматическая питающая система вулканов являются одной из основных проблем вулканологии. Ключевская группа вулканов (КГВ) является наиболее мощной действующей группой, расположенной на севере Камчатки и включает такие действующие вулканы как Ключевской, Крестовский, Ушковский, Безымянный и Плоский Толбачик. Исследования строения Ключевской группы проводились различными геофизическими методами, включая методы ГСЗ [Балеста, 1991] и сейсмической томографии. Были получены скоростные разрезы по профилю, пересекающему всю группу, выделены основные скоростные границы [Гонтовая и др., 2004].

Однако ни один из применявшихся ранее методов в силу методических особенностей не позволял проследить за изменением скоростей во времени и по глубине и их связи с вулканической активностью. Разработанная авторами методика [Пивоварова, Славина 2003] позволила восстановить скорость в области концентрации очагов и проследить за изменением ее во времени. В данной работе представлены результаты расчетов полей скоростей  $V_p$  в области Ключевской группы вулканов по данным вулканических землетрясений, зарегистрированных сетью телеметрических станций, расположенных в районе исследуемых вулканов. Расчеты поля скорости проводились на основании результатов обработки параметров слабых вулканических землетрясений, зарегистрированных в КФ ГС РАН с 1999г. по 2009г. [Сеньюков С.Л. 2006]. В расчетах участвовали все зарегистрированные в районе КГВ землетрясения с  $3 \leq K_s \leq 7.5$ . Землетрясения из фокальной зоны в расчетах не участвовали. В силу особенностей проявления сейсмической активности, связанной с подготовкой вулканических извержений, распределение очагов было не равномерно как по глубине, так и во времени. Эта особенность накладывает свой отпечаток на проведенные расчеты и предполагает проведение дополнительных исследований.

Для расчета трехмерной скоростной модели среды используется метод обратимой волны [Пивоварова, Славина 2003], который позволяет определять скорость продольных и поперечных волн в области концентрации очагов землетрясений, проследить динамику изменений поля скоростей сейсмических волн в пространстве и времени. При этом подходе исключается влияние геолого-геофизических особенностей на пути распространения волны от источника (станции) до приемника (гипоцентра).

Для проведения расчетов была введена декартова система координат с центром в точке  $z_0 = 56.01 \text{eN}$ ,  $l_0 = 160.63 \text{eE}$ . Направления осей декартовой системы координат выбрано так, чтобы вулканы Ключевской и Шивелуч располагались на оси ОХ. В связи с неравномерностью распределения очагов в вулканической области, используемый ранее алгоритм расчета скоростей [Славина и др., 2001, 2004, 2009] был модифицирован. Построение фронта обратимой сейсмической волны и скорость его перемещения в ячейках трехмерной сетки осуществлялся на основе разностей времен пробега сейсмической волны до фиксированной станции для всех пар очагов данной ячейки. Размер расчетной сетки: по горизонтальным координатам – 5 км, по глубине - 2.5 км. Далее значения скорости, полученные по временам пробега отдельных станций, усреднялись в данной ячейке. Полученное значение считалось средней скоростью распространения сейсмической волны в данной ячейке равномерной сетки.

Результаты проведенных расчетов поля скорости представлены в виде серии вертикальных скоростных разрезов в плоскости ХZ, пересекающих КГВ в направлении ЮЗ-СВ, проходящих через вулканы Ключевской и Шивелуч. Построены разрезы для периодов 2005-2009 гг. с шагом в полгода. В качестве примера приведены разрезы за 2005-2007 гг. (рис.1-3). Из разрезов можно

видеть, что поле скорости  $V_p$  не постоянно. Изолинии скорости 6.0; 6.5 км/с, характеризующие по [Федотов, 2010] коромантийный слой, мигрируют вдоль профиля по глубине, образуя выступы, поднимаясь вверх до глубины 8 км под вулканами Безымянным и Ключевским в 2005 г. (рис. 1).

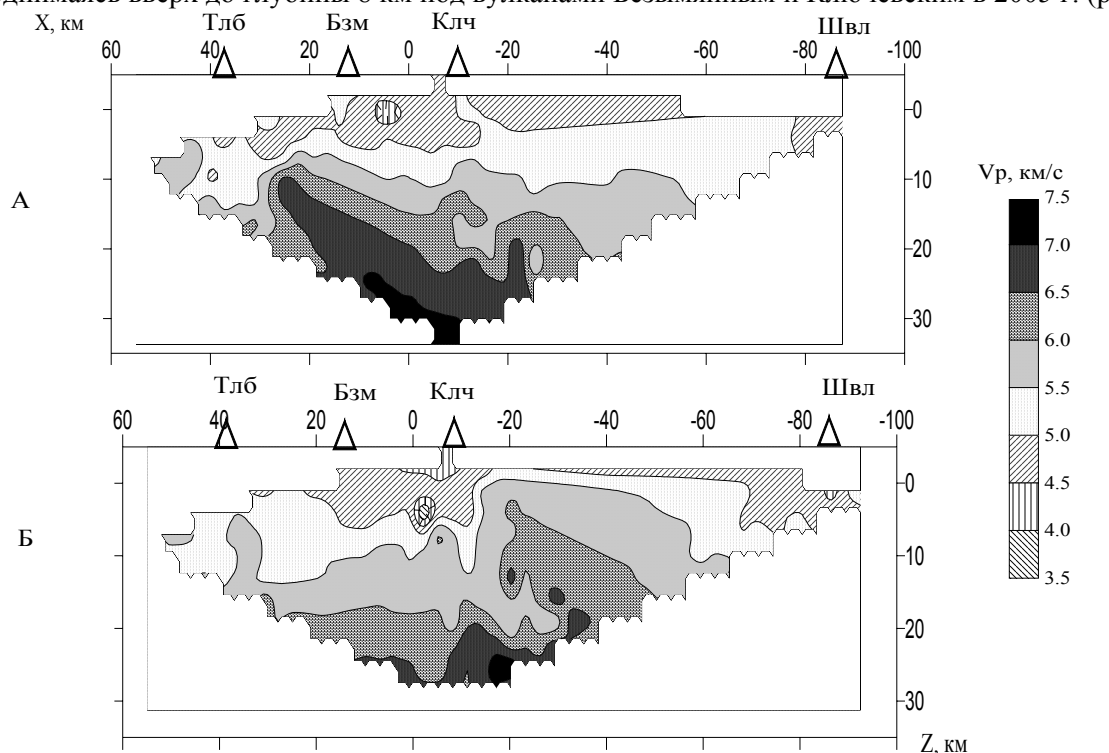


Рис. 1. Изолинии поля скорости продольной волны в плоскости XZ. А – 1 половина 2005 г., Б – 2 половина 2005. Обозначения вулканов: Тлб - Плоский Толбачик, Бзм - Безымянный, Клч - Ключевской, Швл - Шивелуч

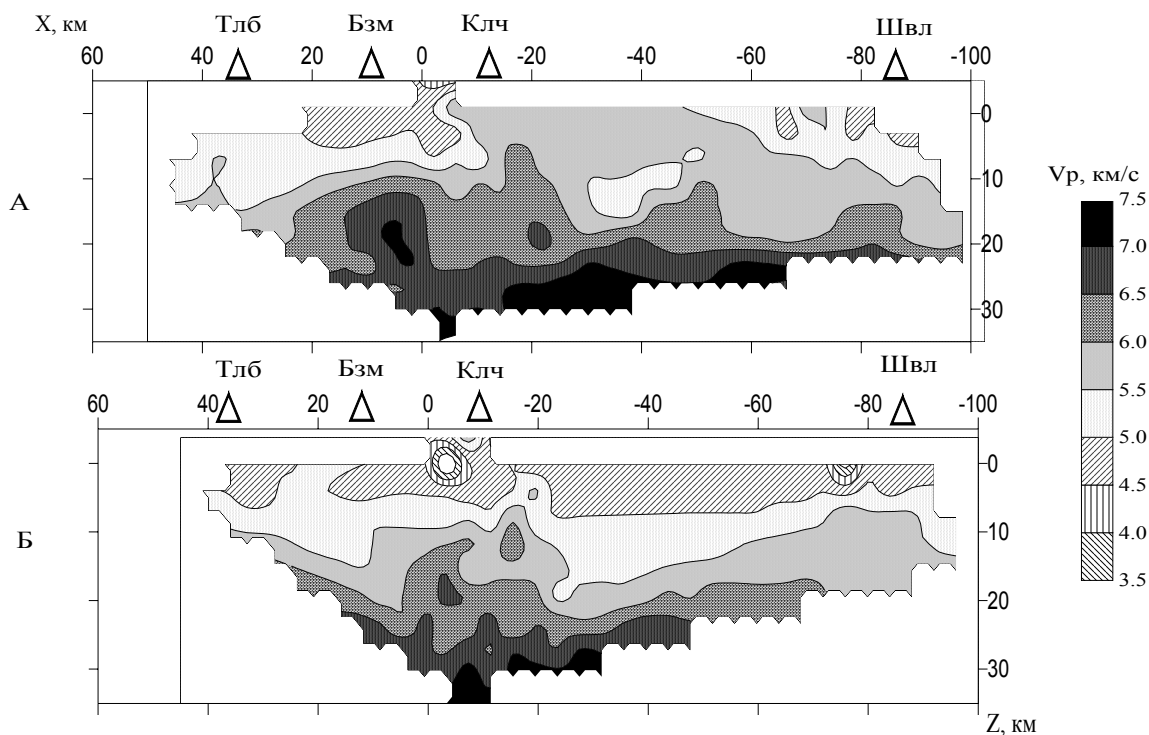


Рис. 2. Изолинии поля скорости продольной волны в плоскости XZ. А – 1 половина 2006 г., Б – 2 половина 2006. Обозначения см. рис. 1.

Отметим, что в январе-марте 2005 г. (рис. 1А), вулканическая активность вулканов Безымянный и Ключевской достигала «красно - оранжевого» уровня по данным Камчатского филиала

Геофизической службы (КФ ГС) РАН (<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>). Для 2006 г. также характерны подъем изолиний 6.0 и 6.5 км/с в виде выступов с глубин 15-20 км до глубин 8-10 км (рис. 2).

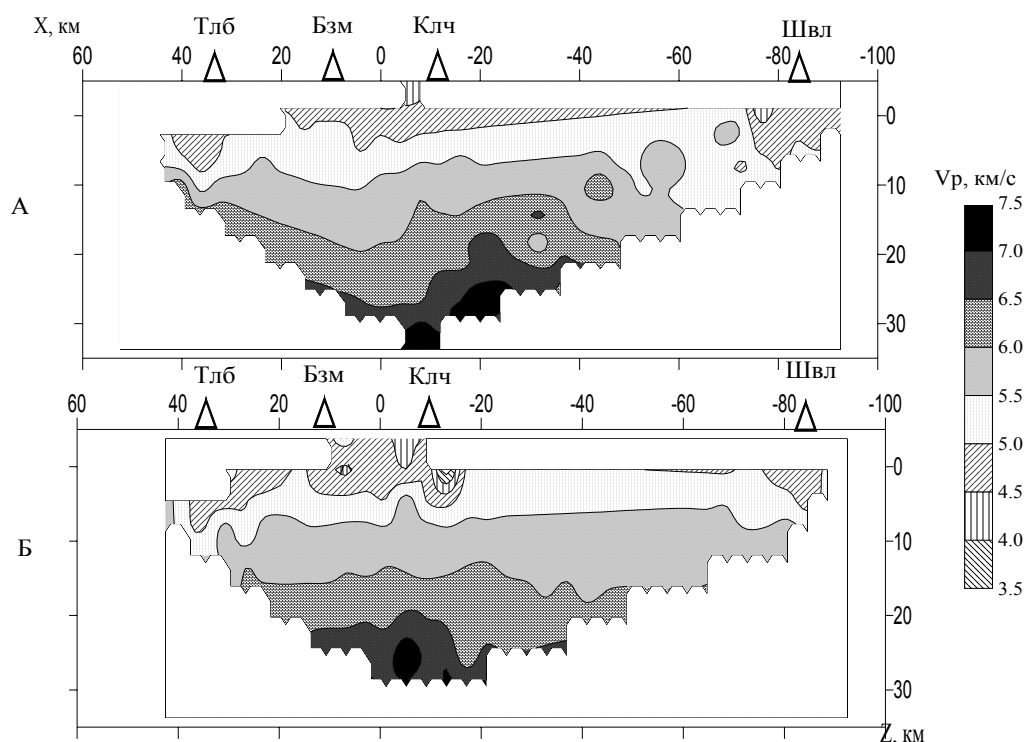


Рис. 3. Изолинии поля скорости продольной волны в плоскости XZ. А – 1 половина 2007 г., Б – 2 половина 2007. Обозначения см. рис.1.

В 2007 г. (особенно во второй половине) поведение изолиний становится более гладким, но глубина 15-20 км сохраняется. Для понимания полученных результатов были построены графики изменения числа землетрясений по глубине в 2005-2007 гг. с указанием периодов вулканической активности (вершинных извержений) по данным мониторинга вулканической активности КФ ГС (рис. 4).

В конце 2005 г. и начале 2006 г. наблюдался рост числа землетрясений на интервале глубин 15-35 км, по классификации КФ ГС вулкан Ключевской был спокоен - «зеленый». Во второй половине 2006 г. сейсмическая активность наблюдалась в интервале глубин 2-8 км. На разрезах в этот же период можно видеть вздымание изолиний 5.5 и 6.0 км/с под Ключевским вулканом (рис. 1, 2). В первой половине 2007 г. сейсмическая активизация переместилась вверх на глубины  $H < 2$  км, затем в июле сейсмичность перешла в сплошное непрерывное вулканическое дрожание, а вулканическая активность приобрела опасный «красно-оранжевый» характер.

Таким образом, полученные нами предварительные данные о миграции вверх изолиний поля скорости, характеризующих коромантийную смесь, дадут возможность подтвердить предположения вулканологов о внедрении высокоскоростных магм с глубин в промежуточные магматические очаги. В дальнейшем планируется опубликовать более полные исследования динамики поля скоростей связанной с процессом вулканической активности в области КГВ.

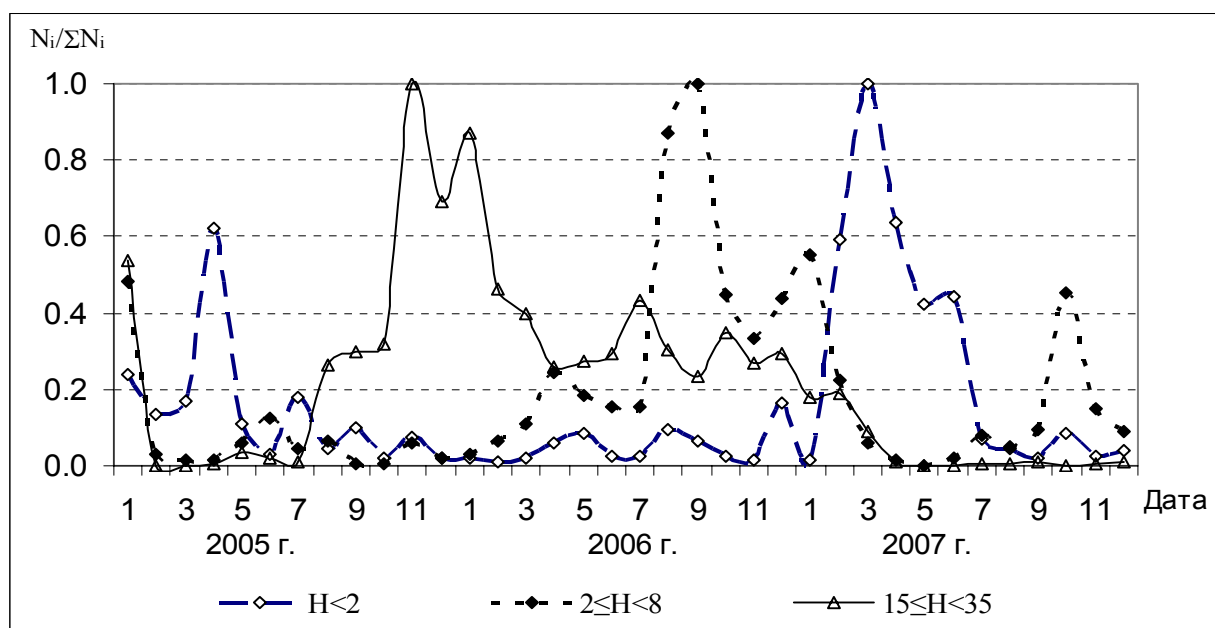


Рис. 4. Относительное количество очагов на разных глубинах в области Ключевского вулкана в 2005-2007 гг.

#### Список литературы

- Балеста С.Т., Гонтовая Л.И., Каргопольцев В.А.** и др. Результаты сейсмических исследований земной коры в районе Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1991. № 3. С. 3-18.
- Гонтовая Л.И., Хренов А.П., Степанова М.Ю., Сениюков С.Л.** Глубинная модель литосферы в районе Ключевской группы вулканов (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 3-11.
- Пивоварова Н.Б., Славина Л.Б.** Методические аспекты алгоритма восстановления трехмерного скоростного поля // Сб. «Математические методы в геофизике», Новосибирск, 2003. С. 69-74.
- Сениюков С.Л.** Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000-2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 68-78.
- Славина Л.Б., Гарагаш И.А., Горельчик В.И., Иванов Б.В., Белянкин Г.А.** Скоростное строение и напряженно-деформированное состояние земной коры в районе Ключевской группы вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С.49-59.
- Славина Л.Б., Пивоварова Н.Б., Левина В.И.** Трехмерная скоростная модель среды в районе Карымского вулканического центра по данным региональной сейсмичности // Сб. «Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки», Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 377-386.
- Славина Л.Б., Н.Б.Пивоварова.** Динамика поля скоростей сейсмических волн в периоды сейсмической и вулканической активизации на Камчатке. Из-во ИФЗ РАН, отв. ред. Рогожин Е.А., 2009. 79 С.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А., Гонтовая Л.И.** Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов (Камчатка) по данным об ее извержениях, землетрясениях и глубинном строении // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 3- 35.