

## Reflexion of development of volcanic activity of Klyuchevskoi volcanoes group in dynamics of *P*-waves velocity field (Under the seismological data)

L.B.Slavina<sup>1</sup>, N.B.Pivovarova<sup>1</sup>, S.L.Senyukov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institution of physicists of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, [slavina@ifz.ru](mailto:slavina@ifz.ru)

<sup>2</sup> Kamchatka branch of Geophysical service of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky

The Klyuchevskoy group of volcanoes (KVG) is the most powerful active group located in the north of Kamchatka and includes such active volcanoes as Klyuchevskoy, Krestovskiy, Ushkovskiy, Bezymianny, and Ploskiy Tolbachik. In the north Sheveluch volcano also belongs to this group. Now volcanoes of Klyuchevskoy group are in an activation stage, and it gives an urgency of carrying out of researches of features of dynamics of a structure of this group. In the given work the results of calculations of *P*-waves ( $V_P$ ) velocity field in the area of Klyuchevskoy group according to volcanic earthquakes registered by the network of telemetric stations in the investigated area are presented. Calculations of the velocity field were carried out on the basis of results of processing of the weak volcanic earthquakes parameters registered in KF GS of the Russian Academy of Sciences during the period since 2005 to 2009.

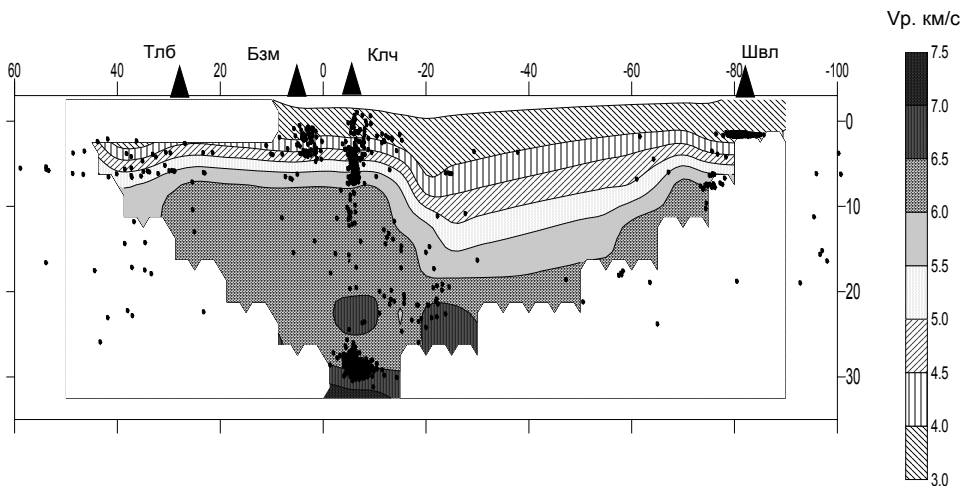
The principle of convertibility of wave fields is put in a basis of a design procedure of velocities of *P*-waves in the three-dimensional environment, namely the travel time of a seismic wave from point  $M_i$  (source) to point  $S_j$  (receiver) is equal to the travel time of this wave from point  $S_j$  to point  $M_i$ . Use of this principle allows considering set of travel times of a seismic wave from reasonably weak earthquakes to some seismic station, as a travel time of a reversible wave from this seismic station to chosen, closely located hypocenters of earthquakes.

As the initial information for considered algorithm serve: the system of seismic stations located in plane  $Z=0$ , co-ordinates of the hypocenters of earthquakes  $M_i (X_i, Y_i, Z_i)$ , the travel time of a seismic wave from  $i$ -th focus to  $j$ -th stations -  $t_{ij}$ . Under this information three-dimensional distribution of speed  $V (X, Y, Z)$  in the areas occupied with the foci of earthquakes is defined. The technique developed by the authors [Pivovarova, Slavina, 1981] has allowed to restore velocity in the field of concentration of the volcanic earthquakes foci and to track its change in time and on depth. Calculations were carried out on the time periods characterizing various conditions of the activity of volcanoes according to the monitoring of volcanic activity, carried out in KF GS of the Russian Academy of Sciences.

Any of the methods applied before, including DSS, owing to methodical features did not allow tracking change of speeds in time and their communication with the process of volcanic activation.

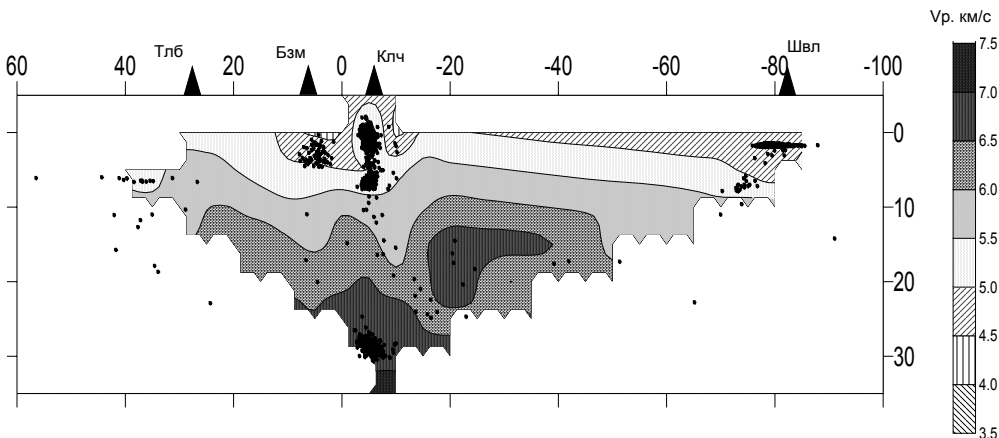
Carrying out the analysis of calculations of velocity cuts in plane  $XZ$ , it was possible to allocate characteristic features of the velocity field inherent in various conditions of volcanoes. So, during the periods of a quiet condition of volcanoes when earthquakes are localized on depths  $Z > 25-30$  km, on borders of crust and mantle it is possible to observe restless behavior of the velocity isolines, lifting of high-speed horizons with  $V_P \sim 6.5-7.0$  km/s upwards with formation of separate ledges, in the direction of volcanic constructions. These values of velocity characterize so-called [Fedotov, 2010] crust-mantle mix. Lifting of magmas from deeper horizons of mantle upwards. During the periods of activity of volcanoes when earthquakes tend lifting upwards, in area of intermediate depths and in constructions of volcanoes, we see alignment of high-velocity borders, as though calm of a high-velocity field.

Two high-speed cuts, characterizing the various periods of volcanic activation are presented lower. The cut is constructed for the interval of time after central-type eruption in the spring of 2007: 01.12.2007-01.06.2008.



The velocity field is characterized by equal enough and quiet behavior of isolines. The isoline of 6.0 km/s velocity under volcanoes Klyuchevskoy and Bezymianny is fixed on depth of 8-10 km, at  $X = -20$  the km step-like immersing to depth of 18-20 km is observed, with the subsequent lifting in the direction of Sheveluch volcano.

The following cut is constructed for the interval of 01.06-01.10.2008



Character of the velocity has changed, perturbations in the form of ledges of isoline  $V_p=6.0$  km/s under the Klyuchevskoy volcano, and also an abnormal stain with values  $V_p=6.5-7.0$  km/s on depths of 15-20 km northeast of the Klyuchevskoy volcano are observed.

Pivovarova N.B., Slavina L.B., design procedure and research of stability of three-dimensional fields of speeds of longitudinal waves (on an example of Kamchatka)//Izv. AN the USSR, Sulfurs. Physics of the Earth, 1981, №12, C.19-27.

Slavina L.B., Pivovarova N.B., Levin V. I. Use of the seismological data for studying of a high-speed structure of an active volcanic zone// Volcanology and Seismology, 2005. № 2. With. 45-56.

Slavina L.B., Pivovarova N.B., Garagash I.A., Levin V. I. Three-dimensional high-speed model of environment and a field of pressure of area of the Karymski volcanic center//Physics of the Earth, 2004, №7. C.13-24.

Fedotov S.A., Zharinov N.A., Gontovaja L.I. Magmatic feeding system of Klyuchevskoy group of volcanoes (Kamchatka) by data about its eruptions, earthquakes and deep structure.//Volcanology and seismology. 2010. № 1. With. 3-35.

Slavina L.B., Pivovarova N.B. Three-dimensional velocity model of focal zones and refinement of hypocenter parameters//Phys. of the Earth and Planet. Inter., 1992.V.75.p. 77-88

## Отражение процесса развития вулканической активности Ключевской группы вулканов в динамике поля скорости $P$ -волн (по сейсмологическим данным)

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

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. На севере к этой группе относится также вулкан Шивелуч. В настоящее время вулканы Ключевской группы находятся в стадии активизации, и это придает актуальность проведения исследований особенностей динамики строения этой группы. В данной работе представлены результаты расчетов поля скорости  $P$ -волн ( $V_P$ ) в области Ключевской группы по данным вулканических землетрясений, зарегистрированных сетью телеметрических станций в исследуемом районе. Расчеты поля скорости проводились на основании результатов обработки параметров слабых вулканических землетрясений, зарегистрированных в КФ ГС РАН в период с 2005 г. по 2009 г.

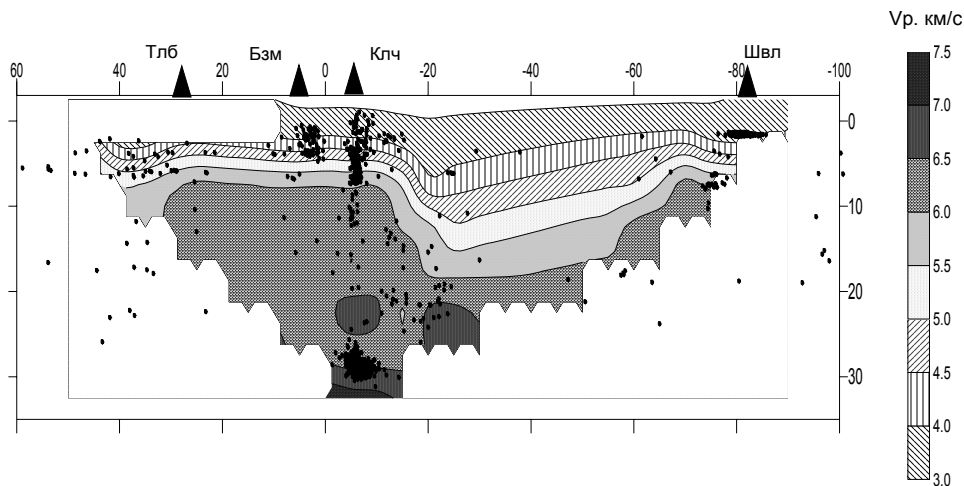
В основу методики расчета скоростей  $P$ -волн в трехмерной среде положен принцип обратимости волновых полей, а именно – время распространения сейсмической волны из точки  $M_i$  (источника) до точки  $S_j$  (приемника) равно времени распространения этой волны от точки  $S_j$  до точки  $M_i$ . Использование этого принципа позволяет рассматривать множество времен пробега сейсмической волны от достаточно слабых землетрясений до некоторой сейсмической станции, как времена пробега обратимой волны от этой сейсмической станции до выбранных, близкорасположенных гипоцентров землетрясений.

Исходной информацией для рассматриваемого алгоритма служат: система сейсмических станций, расположенная в плоскости  $Z=0$ , координаты гипоцентров землетрясений  $M_i(X_i, Y_i, Z_i)$ , времена пробега сейсмической волны от  $i$ -го очага до  $j$ -й станции –  $t_{ij}$ . По этой информации определяется трехмерное распределение скорости  $V(X, Y, Z)$  в областях, занимаемых очагами землетрясений. Разработанная авторами методика [Пивоварова, Славина, 1981] позволила восстановить скорость в области концентрации очагов вулканических землетрясений и проследить за изменением ее во времени и по глубине. Расчеты проводились по временным периодам, характеризующим различные состояния активности вулканов по данным мониторинга вулканической активности, осуществляемых в КФ ГС РАН.

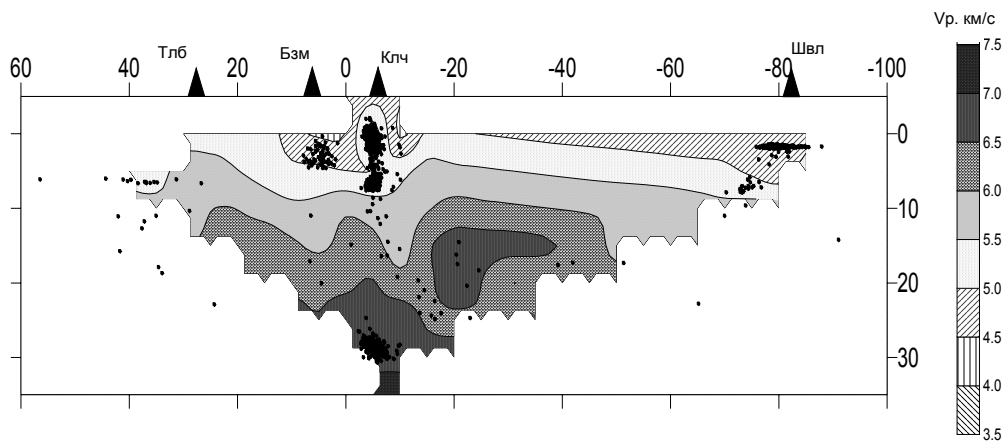
Ни один из применявшихся ранее методов, включая ГСЗ, в силу методических особенностей не позволял проследить за изменением скоростей во времени и их связи с процессом вулканической активизации.

Проводя анализ расчетов скоростных разрезов в плоскости  $XZ$ , удалось выделить характерные особенности поля скорости, присущие различным состояниям вулканов. Так, в периоды спокойного состояния вулканов, когда землетрясения локализуются на глубинах  $Z > 25-30$  км, на границах коры и мантии можно наблюдать неспокойное поведение изолиний скорости, подъем вверх высокоскоростных горизонтов с  $V_P \sim 6.5-7.0$  км/с с образованием отдельных выступов, в направлении вулканических построек. Эти значения скорости характеризуют так называемую [Федотов, 2010] коромантийную смесь. Подъем магм из более глубоких горизонтов мантии вверх. В периоды активности вулканов, когда землетрясения имеют тенденцию подъема вверх, в область промежуточных глубин и в постройку вулканов, мы видим выравнивание скоростных границ, как бы успокоение скоростного поля.

Ниже приведены два скоростных разреза, характеризующих различные периоды вулканической активизации. Разрез построен для интервала времени после вершинного извержения весной 2007 г. - 01.12.2007-01.06.2008 гг.



Поле скорости характеризуется достаточно ровным и спокойным поведением изолиний. Изолиния скорости 6.0 км/с под вулканами Ключевской и Безымянный фиксируется на глубине 8-10 км, при  $X=-20$  км наблюдается ступенеобразное погружение до глубины 18-20 км, с последующим подъемом в направлении вулкана Шивелуч. Следующий разрез построен для интервала 01.06-01.10.2008 г.



Характер поля скорости изменился, наблюдаются возмущения в виде выступов изолинии  $V_p=6.0$  км/с под Ключевским вулканом, а также аномальное пятно со значениями  $V_p=6.5-7.0$  км/с на глубинах 15-20 км северо-восточнее Ключевского вулкана.

Пивоварова Н.Б., Славина Л.Б., Методика расчета и исследование устойчивости трехмерных полей скоростей продольных волн(на примере Камчатки)// Изв. АН СССР, Сер. Физика Земли, 1981, №12, С.19-27.

Славина Л.Б., Пивоварова Н.Б., Левина В.И. Использование сейсмологических данных для изучения скоростного строения активной вулканической зоны // Вулканология и Сейсмология, 2005. № 2. С. 45-56.

Славина Л.Б., Пивоварова Н.Б., Гарагаш И.А., Левина В.И. Трехмерная скоростная модель среды и поле напряжений района Карымского вулканического центра //Физика Земли, 2004, №7. С.13-24.

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.

Slavina L.B., Pivovarova N.B. Three-dimensional velocity model of focal zones and refinement of hypocenter parameters//Phys. of the Earth and Planet. Inter., 1992.V.75.p. 77-88