

Отражение вулканической активности и состояния
магматического вещества в кинематическом
параметре V_p/V_s вулканических землетрясений
района вулканов Толбачик – Удина

Кучай М.С., Славина Л.Б.
Институт физики Земли РАН

Овальная, Острая Зимина и Горный зуб

Большая и Малая Удина

Фото Ю.В. Демянчука

09.10.2015г.

Представлены результаты

исследования поля отношения скоростей сейсмических Р и S волн – параметра V_p/V_s – в южном сегменте Северной группы вулканов Камчатки (СГВ), в районе вулканов Плоский Толбачик, Большая и Малая Удины, группы вулканов Зимины, Толудской зоны шлаковых конусов по данным вулканических землетрясений, зарегистрированных сетью телеметрических сейсмических станций КФ ГС РАН. С октября 2017 г. в районе вулканов Б. и М. Удины СГВ наблюдается беспрецедентная сейсмическая активность, свидетельствующая о пробуждении Удинских вулканов, не проявлявших себя весь исторический период наблюдений.

В теории упругости закон Гука выражает линейную зависимость между тензором деформации ε и тензором напряжений σ в упругой среде:

$$\sigma = 2\mu\varepsilon + \lambda \text{Tr}(\varepsilon)I,$$

Отношение скоростей P - и S - волн, V_p/V_s , связано с упругими параметрами среды и так же может быть выражено через параметры Ламе μ, λ .

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\mu}}$$

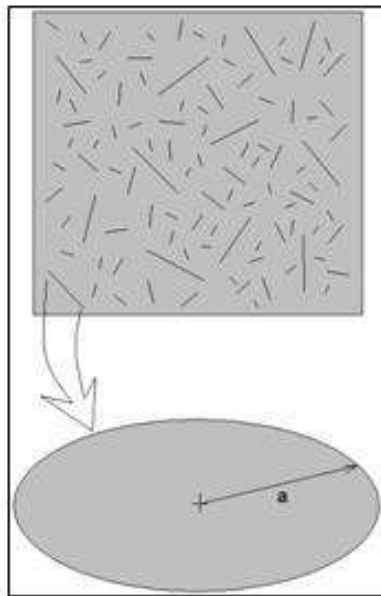
Из в частности следует, что когда упругие параметры Ламе μ, λ равны, V_p/V_s равно корню из 3, т.е. ~ 1.73 . Значения равные 1.73 ± 0.05 считались нормальными для исследуемой геологической среды, значения $V_p/V_s < 1.68$ — считались пониженными, $V_p/V_s > 1.78$ — повышенными. Значения V_p/V_s рассчитывались по формуле

$$V_p/V_s = T_{S-P}/(T_P - T_0) + 1,$$

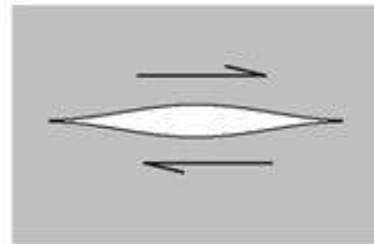
где T_{S-P} - разность времен вступлений P - и S -волн на конкретной станции от i -ого землетрясения, $T_P - T_0$ — время пробега P -волны. Затем для каждого события рассчитывались осредненные по группе станций значения параметра V_p/V_s .

Полученное значение приписывалось положению гипоцентра.

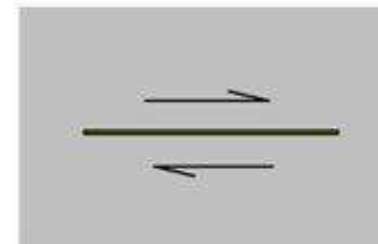
Влияние трещиноватости на отношение скоростей распространения упругих волн (по И.А Гарагашу)



Раскрытые трещины



Трещины с сомкнутыми берегами



$$\lambda^{\text{eff}} = \lambda \left[1 - \frac{16}{45} \frac{1-\nu}{(2-\nu)(1-2\nu)} (19-16\nu+\nu^2) \nu \right]$$

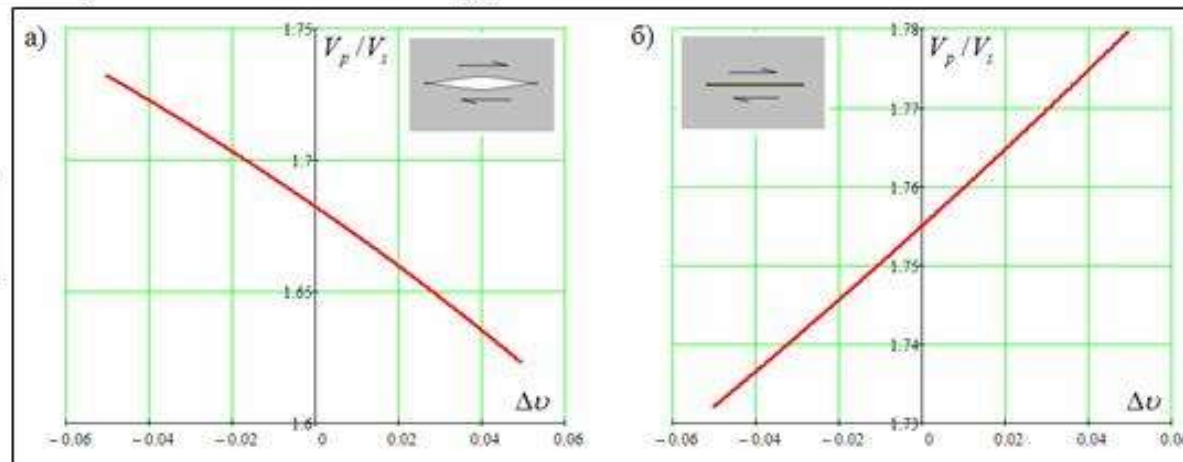
$$\lambda^{\text{eff}} = \lambda \left[1 + \frac{64}{45} \frac{1-\nu}{(2-\nu)} \mu \nu \right]$$

$$\mu^{\text{eff}} = \mu \left[1 - \frac{32}{45} \frac{1-\nu}{(2-\nu)} (5-\nu) \nu \right]$$

$$\mu^{\text{eff}} = \mu \left[1 - \frac{32}{15} \frac{1-\nu}{(2-\nu)} \nu \right]$$

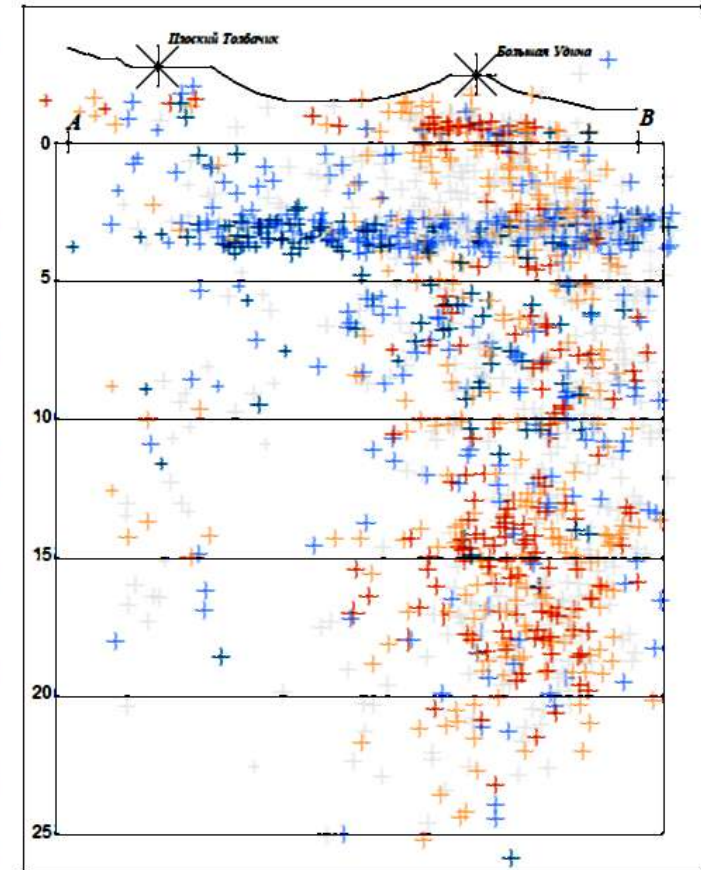
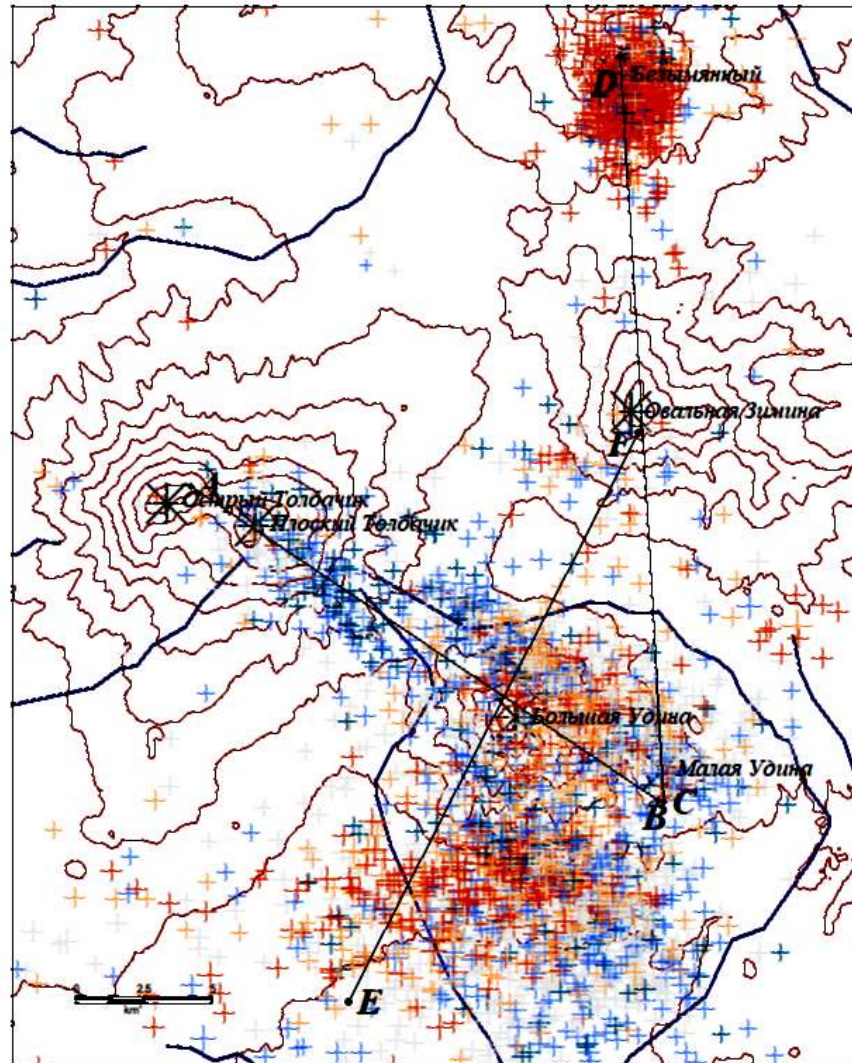
$\nu = N \langle a^3 \rangle$ - параметр трещиноватости

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{\lambda^{\text{eff}} + 2\mu^{\text{eff}}}{\mu^{\text{eff}}}}$$

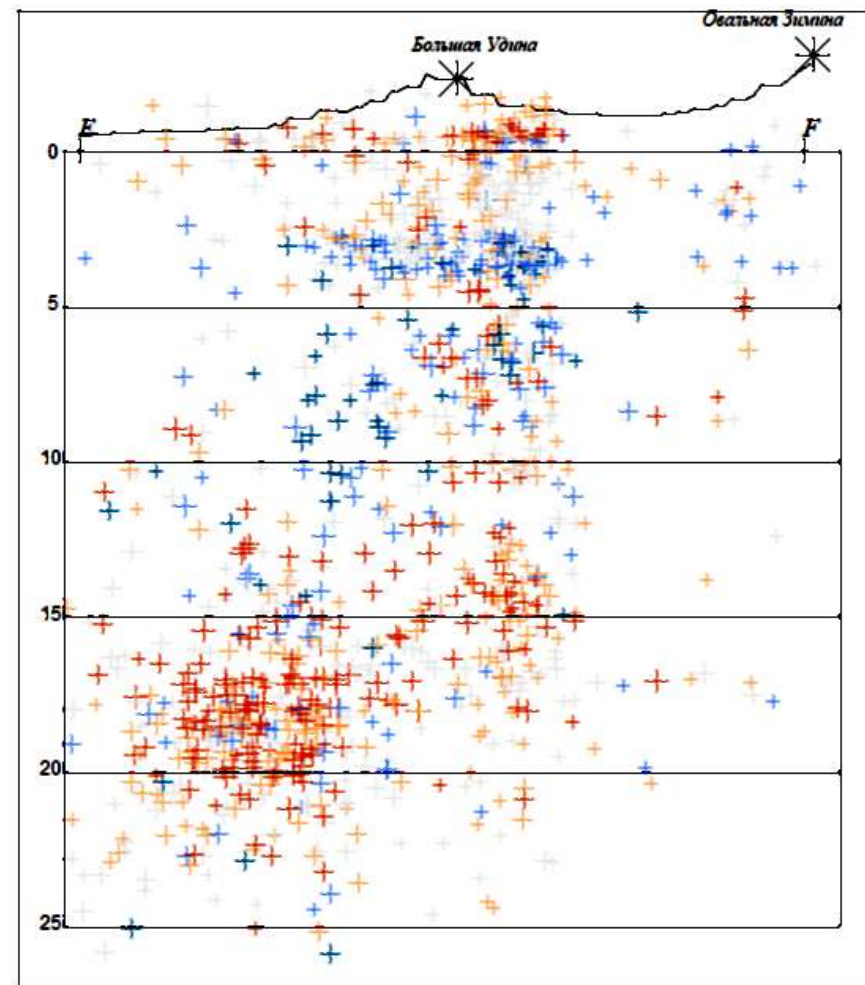
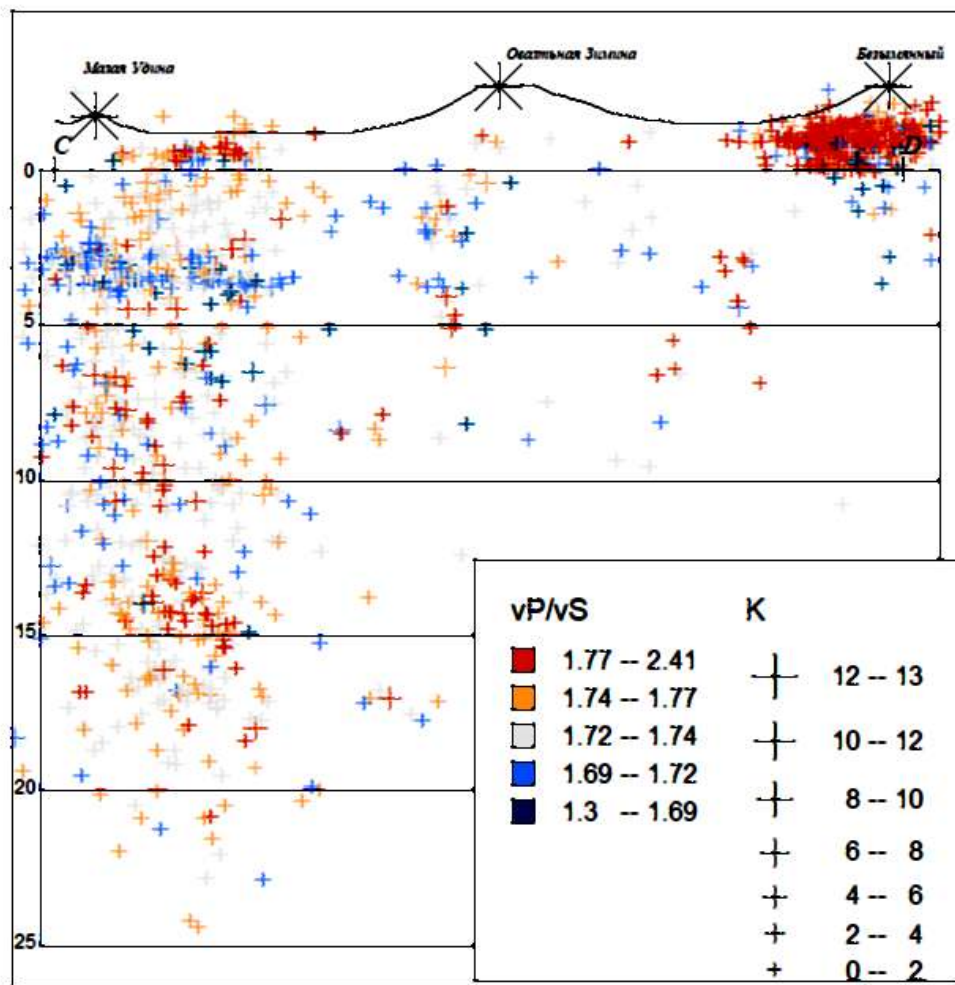


Зависимость отношения V_p/V_s при начальной концентрации трещин $\nu = 0.05$ от приращения параметра трещиноватости $\Delta \nu$ для раскрытых трещин (а) и закрытых трещин (б)

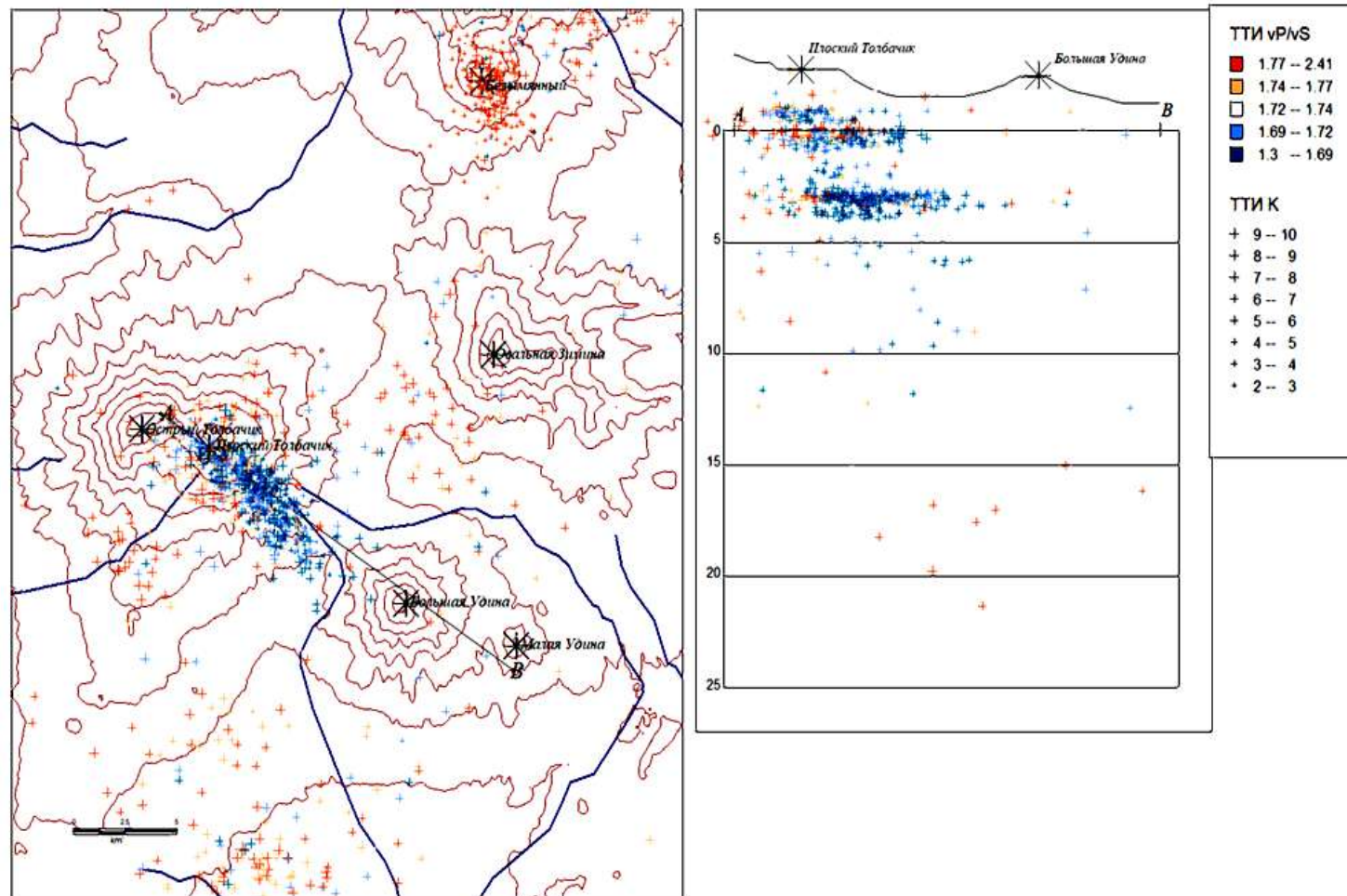
Карта и разрез положения гипоцентров землетрясений в южном сегменте Северной группы вулканов с окраской по значению параметра V_p/V_s в период с 1.10.2017 по 20.08.2019г



Положение гипоцентров землетрясений.
 Разрезы по профилям: CD- Удина - Овальная Зими́на –
 Безымянный; EF- Толуд -Б.Удина -Овальная Зими́на
 в период 1.10.2017- 20.08.2019г.



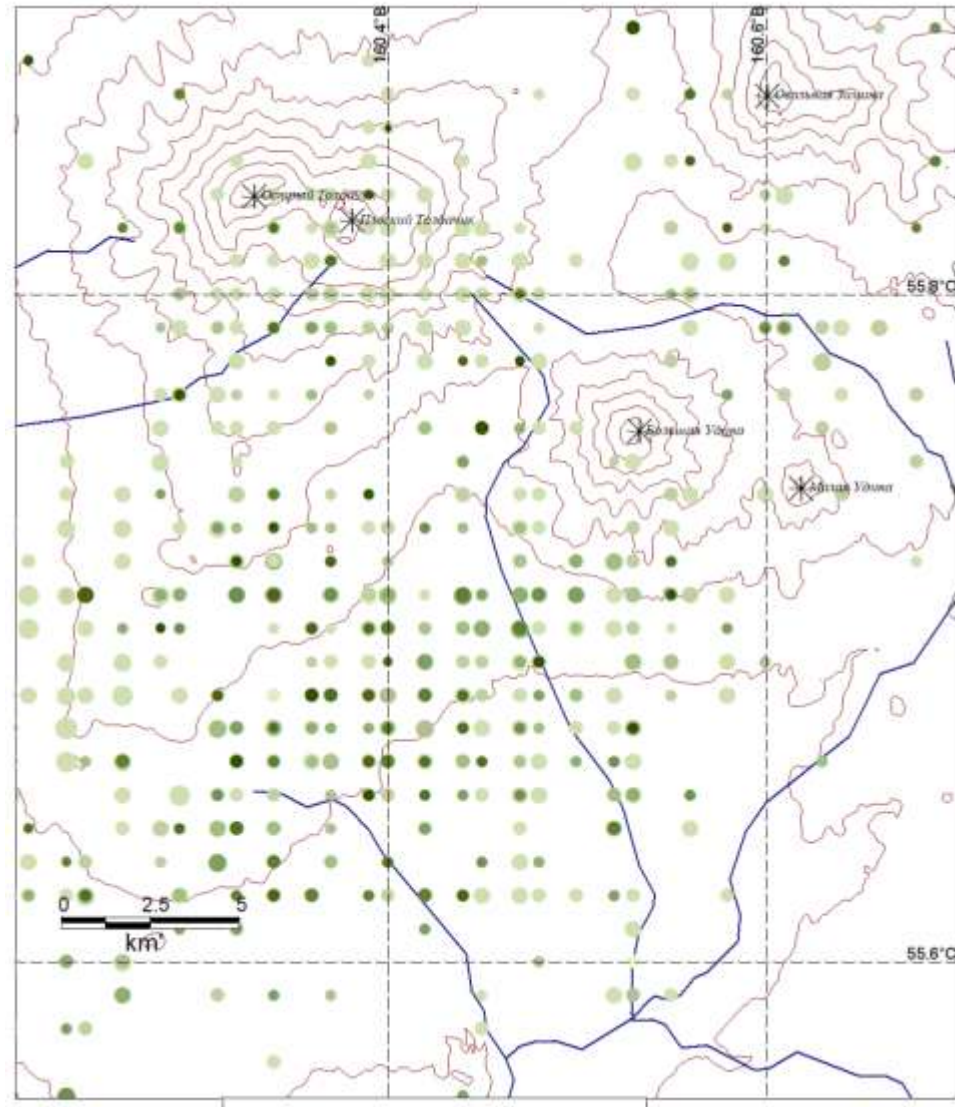
Карта и разрез по линии П. Толбачик и Б. и М. Удины в период извержения вулкана П. Толбачик в 2012–2013 гг.

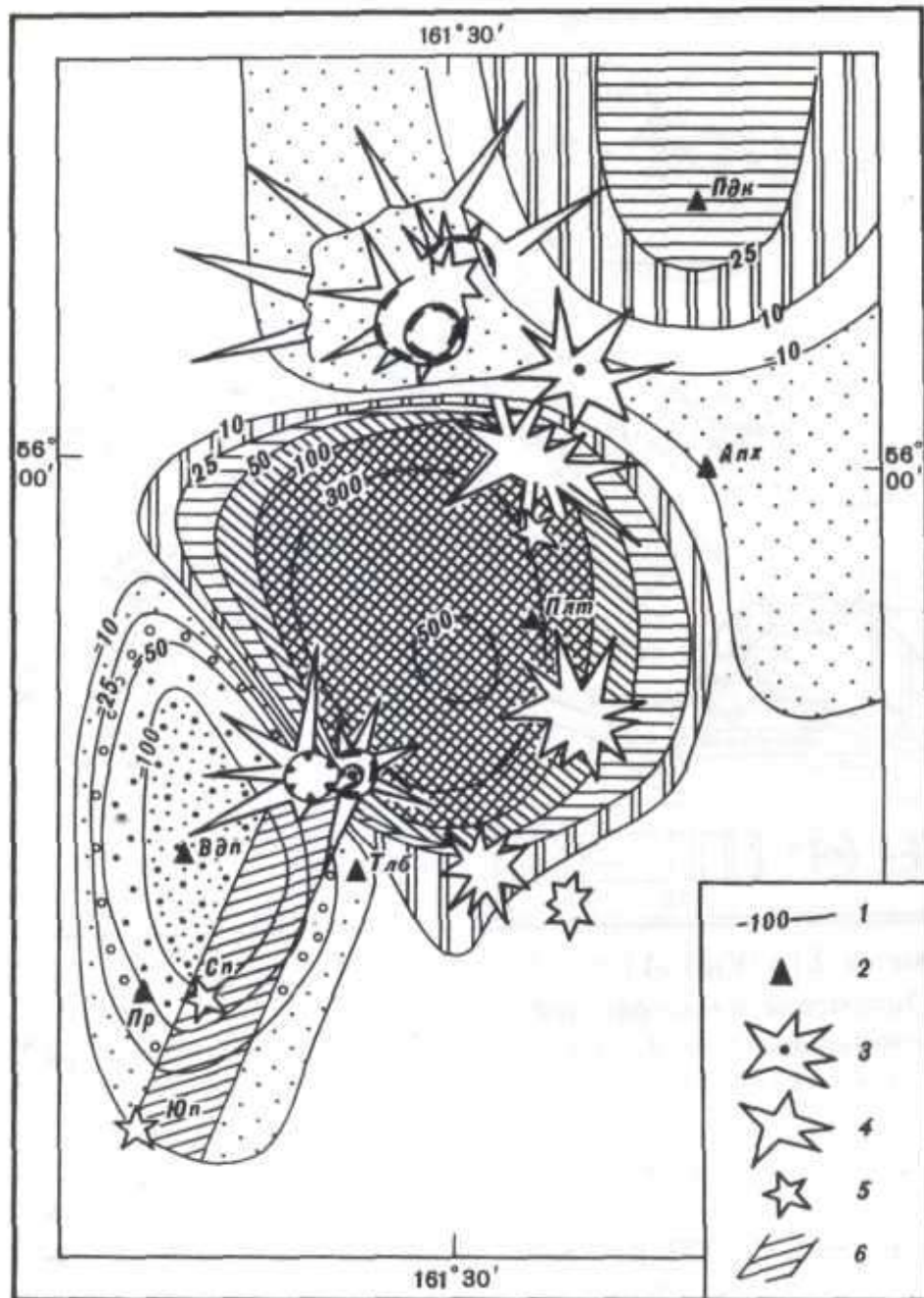


Активизация развивается весьма интенсивно в направлении на ЮВ от П. Толбачика в сторону Удины, значения параметра V_p/V_s в основном пониженные. концентрируются в виде слоя, на глубине 3–5 км.

Карта эпицентров вулканических землетрясений в период БТТИ 1974-1976гг.

Каталог Чубаровой О.С.



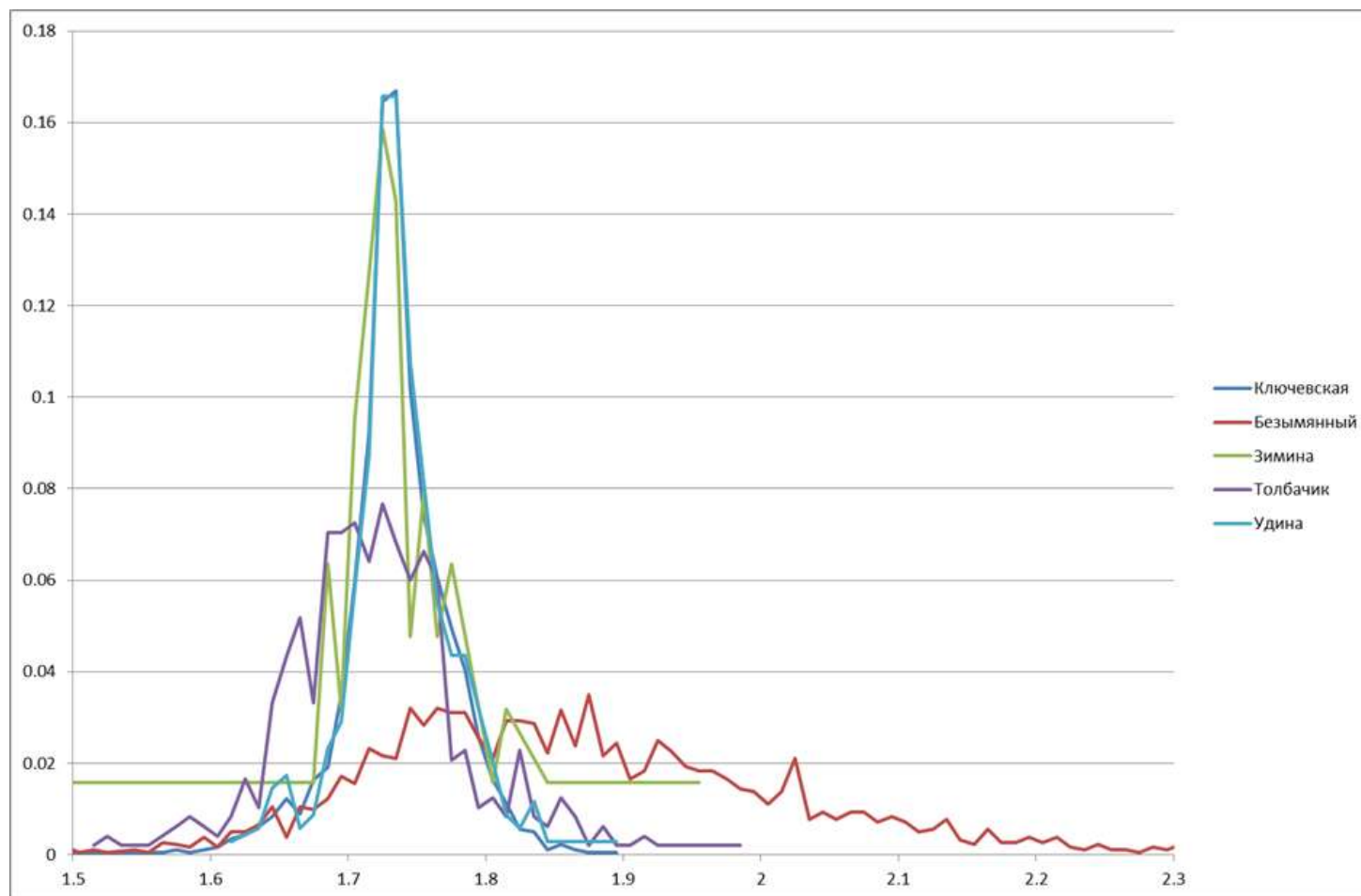


Поле параметра $\Sigma (\Delta Vp/Vs)$ в зоне развивающейся магматической трещины (район Большого Трещинного Толбачинского извержения на Камчатке).

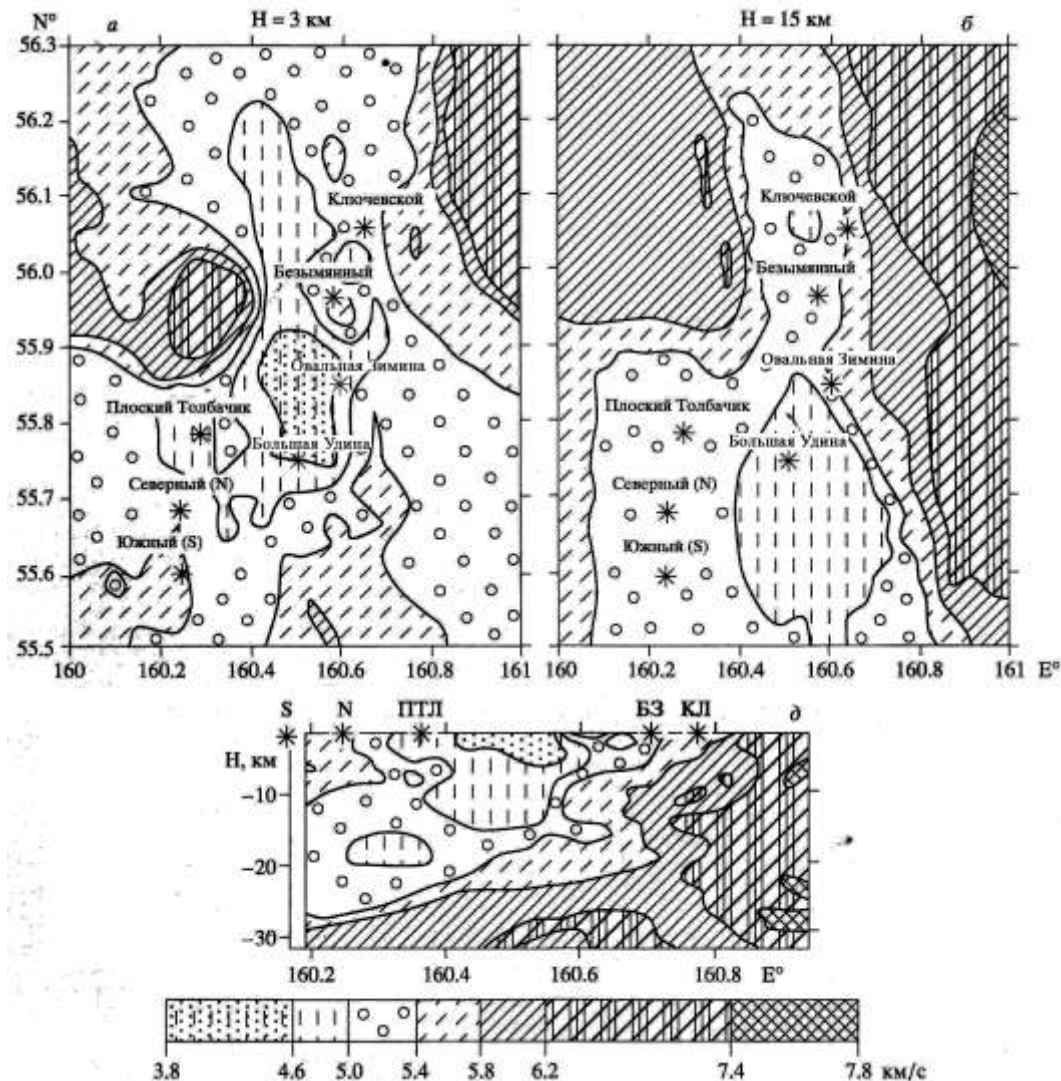
- 1 - изолинии параметра $\Sigma (\Delta Vp/Vs)$
- 2 - сейсмические станции:
- 3, 4 - действующие и потухшие вулканы;
- 5 - положение конусов прорывов;
- 6 — магматическая трещина

- Наблюдается факт различия средних значений величин параметра V_p/V_s между вулканами Ключевской, Безымянный, П. Толбачик, Б. и М. Удины и группой вулканов Зимины. Значения V_p/V_s близки к нормальным у вулканов Ключевского, Зиминых сопок и Б. Удины. У Безымянного кривая растянута от значений 1.7 до повышенных 2.0. У П. Толбачика кривая сдвинута в сторону пониженных значений (слайд. 9).
- По утверждению вулканологов [2,3], по составу магм эти вулканы различны. Отмечается, что среди вулканитов Ключевской группы по петрохимическим особенностям выделяются две серии пород. Первая – базальт-андезито-базальтовая (вулканы Толбачик, Плоские, Ключевская, Камень, ареальные образования). Вторая – базальт-дацитовая (вулканы Безымянный, Зимины, Большая и Малая Удины). Предполагается что процесс дифференциации при образовании магм в условиях мантия–поверхность и мантия–промежуточный очаг–поверхность различен и фиксируется средним составом петрохимических величин. Т.е. состав магм вулканов Безымянный, Зимины сопки и Удинские вулканы близки, состав андезитодацитовый.

Распределения параметра V_p/V_s для вулканов Северной группы



Карты-срезы поля скоростей Р - волн для глубин $H=3$ км (а), $H=15$ км (б). Интервалы скорости V_p показаны штриховкой.



Обсуждение результатов

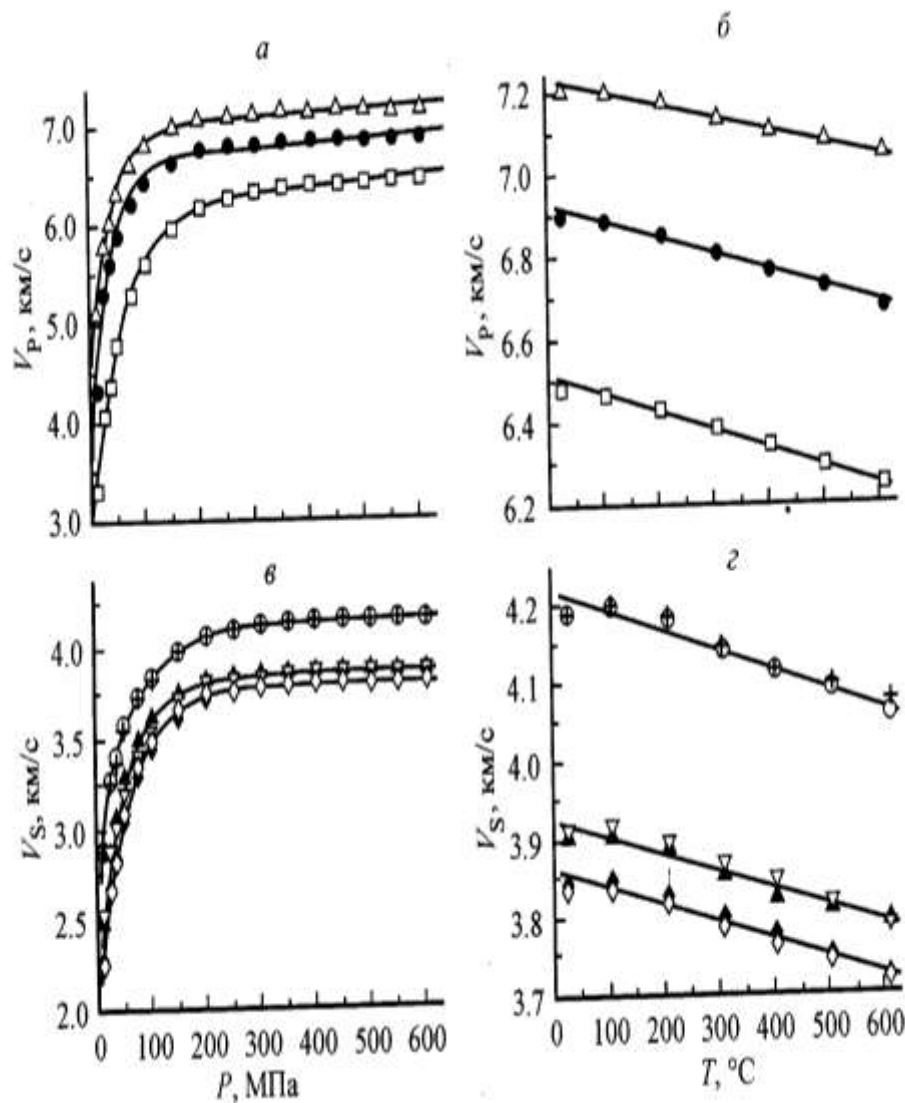
• Для различных отделов вулканических построек и периодов активности характерно свое поведение поля значений V_p/V_s . В промежуточных магматических очагах, под вулканом Ключевской на глубинах 8–10 км и под Плоским Толбачиком на глубинах 3–5 км, наблюдаются низкие значения V_p/V_s , что связано с состоянием вещества и температуры в этих областях и поступлением из коры и мантии новой порции магматического расплава и флюидно-газовой составляющей. Как правило, можно наблюдать значительно повышенные значения параметра (до 2.0 и выше) в постройке вулкана. Наиболее ярко это видно в постройке вулканов Ключевской, Безымянный (см. рис. 1). Это может быть связано с ростом скорости V_p и падением скорости V_s , вызванными уплотнением структуры магматической геологической среды в связи с повышением давления и температуры и по ряду других причин, в том числе из-за потери флюидно-газовой компоненты и заполнения пор и трещин водой. В подтверждение высказанного предположения можно привести результаты исследований, проведенных на образцах магматических пород в условиях повышения давления и температур [13]. Можно предположить, исходя из физических характеристик, наблюдаемых на образцах при высоких давлениях и температуре, что понижение значений параметра V_p/V_s здесь вызваны наличием в среде флюидно-газовой смеси, а также повышением температуры внутри объема. Влияние трещиноватости на значения параметра V_p/V_s в среде рассматривал И.А. Гарагаш [3,4]. При дилатансионном процессе растяжения – «растрескивании» среды – отношение V_p/V_s уменьшается. При сжатии (закрытии трещин) отношение V_p/V_s увеличивается. Различный характер изменения скоростей продольных и поперечных волн при насыщении пород жидкостью приводит к увеличению отношения V_p/V_s от 1.5–1.9 до 1.6–2.2. Соответственно возрастают модуль Юнга, модуль сдвига и коэффициент Пуассона. Исследования, выполненные на образцах, также свидетельствуют о значительном росте коэффициента Пуассона и слабом изменении модуля Юнга при переходе образца из газонасыщенного в водонасыщенное состояние [13]. Результаты проведенных на образцах экспериментов показали, что основной вклад в изменение скоростей сейсмических волн вносит температура [9].

Обсуждение результатов

продолжение

- По нашим представлениям, пониженные значения V_p/V_s свидетельствуют о возможном разогреве магматического вещества и наличии флюидов в этих областях. Повышенные значения свидетельствуют о недостаточном разогреве магмы для подъема по колонне в постройку вулкана Б. Удина, или постройки структур в Толудской зоне.
- По наблюдениям за параметром V_p/V_s в области активизации вулкана Б. Удина, можно утверждать, что в настоящее время разогрев магмы на глубине и поступление магматического вещества в постройку вулкана Б. Удина, видимо, недостаточен для нового извержения.
- Параметр V_p/V_s в периоды развития процесса вулканической активности не остается постоянным ни во времени, ни в пространстве. Значение параметра в этом случае определяется скорее температурой и физическим состоянием вещества, чем геодинамическим полем напряжений. Структурные элементы системы вулкана имеют свои, характерные для них значения отношения V_p/V_s . Значения эти меняются в соответствии с изменениями состояния магматического вещества в них, что может быть использовано при прогнозировании вулканических извержений. Магматическая питающая система, накопление, перемещение и возможно состояние магматического вещества, отражаются в поле отношения скоростей.

Зависимость скорости распространения продольных V_p (а, б) и поперечных V_s (в, г) волн от всестороннего давления и температур для образца, поднятого с глубин 8718м Кольской сверхглубокой скважины.



Скорости V_p и V_s растут при росте давления от 100 до 250 МПа; при дальнейшем росте скорости остаются примерно постоянными. Более заметное влияние на скорости упругих волн оказывает температура. С ростом температуры скорости упругих волн V_p и V_s уменьшаются, соответственно меняется отношение V_p/V_s^* .

*Структура и свойства, состояние пород...
Отв. Ред. Горбачевич Ф.Ф.. СПб Наука 2015

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Для различных отделов вулканических построек и периодов активности характерно свое поведение поля значений V_p/V_s . В промежуточных магматических очагах, под вулканом Ключевской на глубинах 8–10 км и под Плоским Толбачиком на глубинах 3–5 км, наблюдаются низкие значения V_p/V_s , что связано с состоянием вещества и температуры в этих областях и поступлением из коры и мантии новой порции магматического расплава и флюидно-газовой составляющей. Как правило, можно наблюдать значительно повышенные значения параметра (до 2.0 и выше) в постройке вулкана. Наиболее ярко это видно в постройке вулканов Ключевской, Безымянный (см. рис. 1).
- По нашим представлениям, пониженные значения V_p/V_s свидетельствуют о возможном разогреве магматического вещества и наличии флюидов в этих областях. Повышенные значения свидетельствуют о недостаточном разогреве магмы для подъема по колонне в постройку вулкана Б. Удина, или постройки структур в Толудской зоне.
- Магматическая питающая система, накопление, перемещение и возможно состояние магматического вещества, отражаются в поле отношения скоростей.
- Параметр V_p/V_s в периоды развития процесса вулканической активности не остается постоянным ни во времени, ни в пространстве. Значение параметра в этом случае определяется скорее составом, температурой и физическим состоянием вещества, чем геодинамическим полем напряжений.

Литература

1. *Гарагаш И.А., Хайдаров М.С.* Модель развития сейсмического процесса в зоне тектонического разлома перед сильным землетрясением // Сейсмологические исследования. 1989. № 11. С. 88–97.
2. *Ф.Ф. Горбачевич.* Структура, свойства, состояние пород и геодинамика в геопространстве Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) СПб.: Наука, 2015. 366 с.
3. *Б.В. Иванов.* Некоторые особенности вулканизма Ключевской группы вулканов в связи с ее глубинным строением// Вулканизм и геодинамика, М.. Наука, 1977 с.35-43
4. *Л.Б. Славина, И.А. Гарагаш, В.И. Горельчик, Б.В. Иванов, Г.А. Белянкин.* Скоростное строение и напряженно-деформированное состояние земной коры в районе Ключевской группы вулканов Камчатки.// Вулканология и сейсмология, №1,2001, с.49-59
5. *Л.Б. Славина, Т.Т. Тагизаде, В.И. Горельчик.* О возможности выявления зон активизации глубинных разломов по параметру V_p/V_s . // Доклады Академии наук СССР 1985. том 282, № 3
6. *С.А. Федотов.* Область зарождения и подъема магм, свойства питающих каналов и магматических очагов вулканов центрального типа // Действующие вулканы Камчатки, том 1, М. Наука, 1991, с.25-29
7. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика под редакцией Н.Б. Дортман. М. «Недра», 1984. С. 455