

СТРОЕНИЕ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА И БЛИЗЛЕЖАЩИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПО ДИСПЕРСИИ ГРУППОВЫХ СКОРОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

Дроздина С.Я.¹, Шапиро Н.М.², Гордеев Е.И.^{1,3}, Дроздин Д.В.¹, Чебров В.Н.¹

¹ Камчатский филиал, Геофизическая служба РАН, г. Петропавловск-Камчатский, dsv@emsd.ru; ddv@emsd.ru; chebr@emsd.ru

² Институт физики Земли, г. Париж, Франция, nshapiro@ipgr.jussieu.fr

³ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gordeev@kscnet.ru

Введение

Используя дисперсию поверхностных волн, удалось получить строение земной коры и верхней мантии (до глубин 100 км) для таких глобальных структур, как Командорская котловина, Охотоморский блок, Берингоморский блок, Камчатка и континентальная часть Северо-Американской тектонической плиты.

Методика исследований

Дисперсионные кривые групповых скоростей основных мод волн Рэлея и Лява вычислялись по записям Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. ($M_w=7.6$) и его сильнейших афтершоков а также по записям Курильских землетрясений, зарегистрированных в течение периода с октября 2006 г. по апрель 2009 г., сильнейшие из них 15 ноября 2006 ($M_w=8.3$) и 13 января 2007 ($M_w=8.1$). Использовались данные широкополосных сейсмических станций сети Камчатского филиала ГС РАН и мировой сети IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology <http://www.iris.edu>). Всего в работе участвовало 9 событий из района Олюторского землетрясения и 24 события, зарегистрированные на средних Курилах. На рисунке 1 представлены карты эпицентров землетрясений, местоположение используемых широкополосных станций и трассы распространения волн.

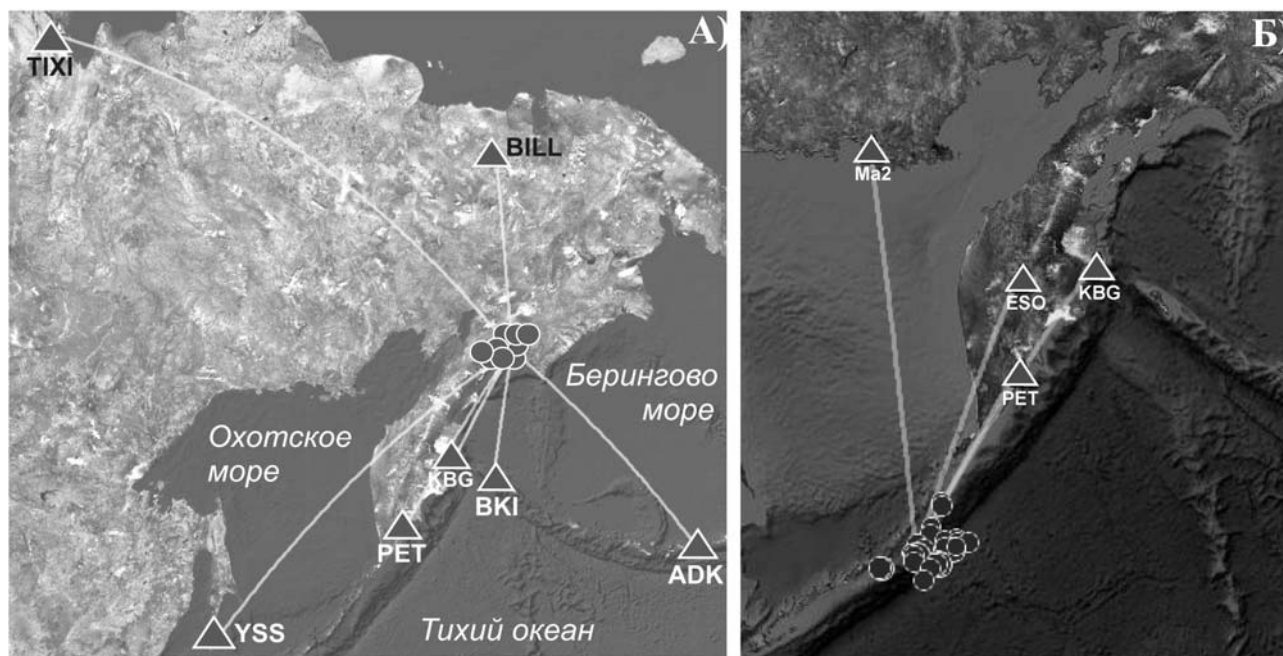


Рис. 1. Карты района исследований. А) Положение эпицентров Олюторского землетрясения и его сильнейших афтершоков. Б) Положение эпицентров Курильских землетрясений. Треугольниками обозначены широкополосные станции, белыми линиями – трассы распространения волн.

Групповые скорости вычислялись методом спектрально-временного анализа [1-3]. Для волн Рэлея на вертикальной компоненте, для волн Лява использовались записи поверхностных волн на горизонтальных компонентах. Учитывая поляризацию волн Лява, необходимо было перейти от

системы координат N-S, E-W к системе с радиальной и трансверсальной компонентой. Групповые скорости волн Лява вычислялись методом спектрально-временного анализа на трансверсальной компоненте. Для каждой трассы был получен набор дисперсионных кривых, которые далее усреднялись. Скоростной разрез поперечных волн был выполнен с помощью инверсии дисперсионных кривых методом Монте-Карло [4]. В работе использовались две программы. В первой разрез строился совместно по двум типам волн: по данным волн Рэлея и по данным волн Лява и предполагалось, что среда является изотропной. Вторая программа позволяет вводить радиальную анизотропию. Сейсмическая анизотропия – это зависимость скорости распространения волн от их поляризации и направления распространения. Наличие анизотропии в верхней мантии обусловлено присутствием в ней сильно анизотропных кристаллов оливина, высокоскоростная ось которых выстраивается в направлении деформации (например, при образовании литосферы в зоне океанического хребта) [6]. Поперечная волна имеет две независимые поляризации. Одна названа SV – для волн со смещением в вертикальной плоскости, другая – SH – горизонтально поляризованная поперечная волна со смещением в плоскости параллельной земной поверхности. Если одна из двух компонент S-волны совпадает с направлением ориентации кристаллов оливина, скорость ее будет больше по сравнению с другой компонентой – наблюдается анизотропия. В начальной модели было задано 6 слоев: 3 слоя в коре и три слоя в мантии. Для второй программы в файл начальной модели вводилась возможная величина анизотропии, т.е. отличие скоростей SV (скорости, восстановленные по данным волн Рэлея) от скоростей SH (скорости, восстановленные по данным волн Лява). Значения мощности слоев и скоростей в них взяты из модели, полученной для Камчатки в работе [5]. В процессе инверсии изменялись скорости поперечных волн и глубина слоев. Отношение V_p/V_s не менялось, и было принято 1.73. Для каждой трассы было просчитано около 40 000 моделей и найдено 2000 моделей, удовлетворяющих наблюдаемым данным. Таким образом, были определены средние значения скоростей поперечных волн в каждом слое и глубина границ слоев.

Результаты

Полуостров Камчатка. Строение земной коры и верхней мантии для полуострова Камчатка было получено по следующим трассам: эпицентр Олюторского землетрясения – РЕТ, средние Курилы – РЕТ, средние Курилы – ESO, средние Курилы – KBG. На рисунке 2 приведены результаты одновременной инверсии по двум типам волн – Рэлея и Лява для трассы Олюторское землетрясение – РЕТ.

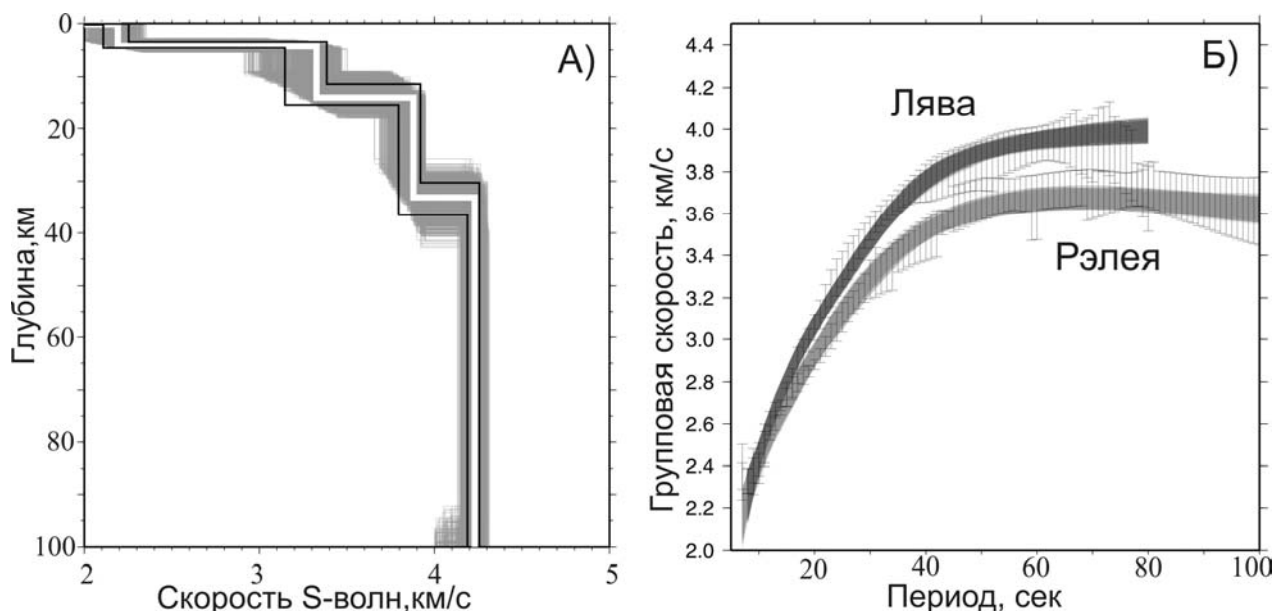


Рис. 2. Трасса Олюторское землетрясение – РЕТ. А) Скоростная модель поперечных волн. Серым цветом показаны 2000 моделей, удовлетворяющих наблюдаемым данным, жирной белой линией выделена модель близкая к средней. Б) Средние дисперсионные кривые для волн Лява и Рэлея. Сплошными линиями отмечены дисперсионные кривые, полученные в результате инверсии.

Для всех трасс, пересекающих полуостров, мы получили близкие значения мощности коры и скоростей поперечных волн в верхней мантии. Толщина коры колеблется от 27 км до 33 км и только

по трассе средние Курилы – РЕТ - 22 км. Скорости в верхней мантии (до 100 км) составляют 4.2-4.4 км/с.

Положение эпицентра Олюторского землетрясения и расположение сейсмических станций КВГ и РЕТ, позволило сделать следующее: мы из трассы Олюторское –РЕТ вычли трассу Олюторское – КВГ, получив, таким образом, трассу КВГ –РЕТ. Инверсия волн Рэлея для трассы Олюторское – КВГ (северная часть Камчатки), показывает наличие тонкой коры (около 15 км) и относительно медленной верхней мантии. Тогда как для трассы КВГ –РЕТ (центральная Камчатка) получили толстую кору (около 30 км) и относительно высокие скорости на глубинах ниже 30 км из-за присутствия зоны субдукции, рисунок 3.

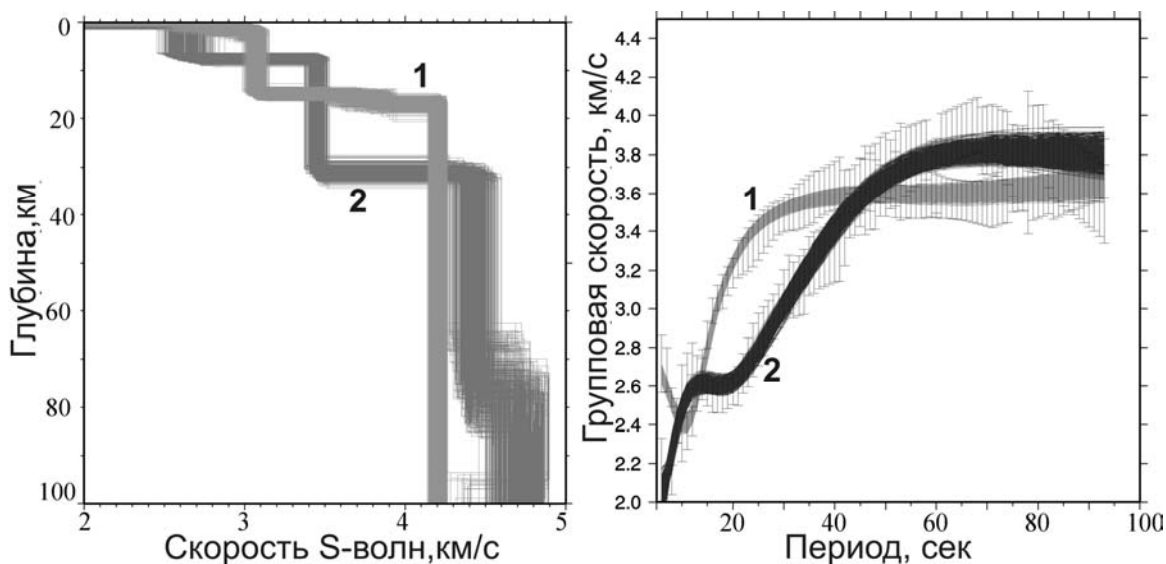


Рис. 3. Инверсия волн Рэлея для трассы Олюторское – КВГ (северная часть Камчатки) – 1. Инверсия волн Рэлея для трассы КВГ- РЕТ (центральная Камчатка) – 2.

Северо-Американская плита. На рисунке 4 А) показаны скоростные структуры по трассам, пересекающим Северо-Американскую плиту: Олюторское – ТИХИ (кривая 1), Олюторское – БИЛЛ (кривая 2). Толщина коры для обеих трасс почти одинакова - 32-33 км. Скорость в верхней мантии – 4.1-4.2 км/с.

Командорская котловина. Строение земной коры и верхней мантии до глубины 60 км по трассе, пересекающей Командорскую котловину (Олюторское – ВКИ) представлено на рисунке 4 Б).

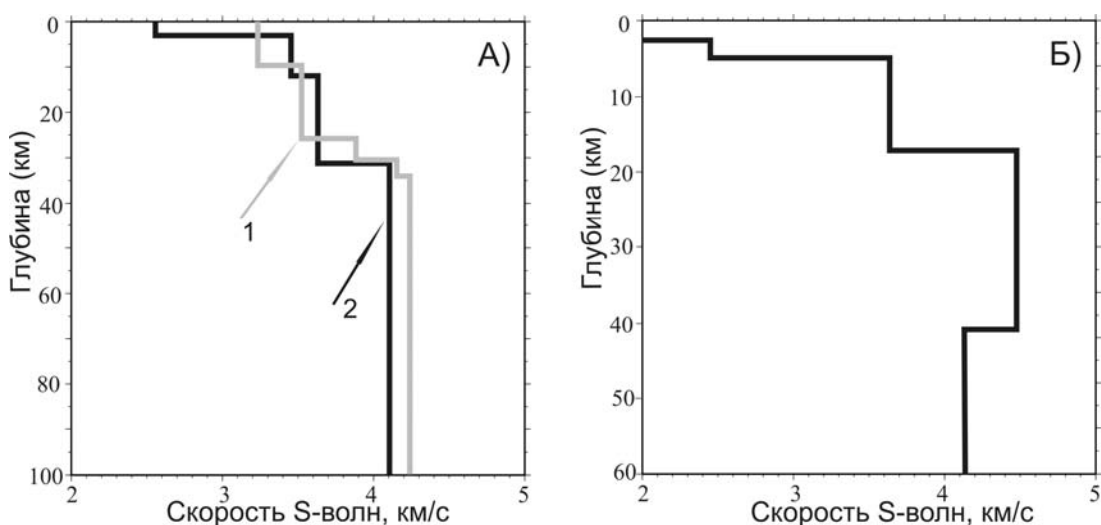


Рис. 4. А) Строение земной коры и верхней мантии по скоростям поперечных сейсмических волн для Северо-Американской плиты по трассам на Тикси (1) и Билибино (2). Б) Строение земной коры и верхней мантии по скоростям поперечных сейсмических волн для Командорской котловины.

Толщина коры составляет 17 км. Повышение скорости в диапазоне глубин 17-40 км (скорость 4.5 м/с) соответствует жесткой литосфере, а понижение скоростей до 4.1 км/сек глубже 40 км, может быть

вызвано разогретой вязкой литосферой. Толщина коры и скоростная структура Командорской котловины соответствует океанической коре.

Охотское и Берингово море. На рисунке 5 А) показана скоростная структура по трассам, пересекающим Охотское море (Олюторское –YSS и средние Курилы – МА2). Строение земной коры и верхней мантии по скоростям поперечных сейсмических волн для Берингова моря представлено на рисунке 5 Б). Толщина земной коры для этих структур практически одинакова и составляет 22-27 км, что соответствует переходному типу земной коры от океанической к континентальной. В диапазоне глубин 25-60 км скорость поперечных сейсмических волн 4.4 км/с. На глубинах более 60 км, по трассе средние Курилы – МА2 более 80 км, наблюдается понижение значений скоростей до 4.2-4.3 км/с, что, возможно, означает наличие разогретого вещества в верхней мантии.

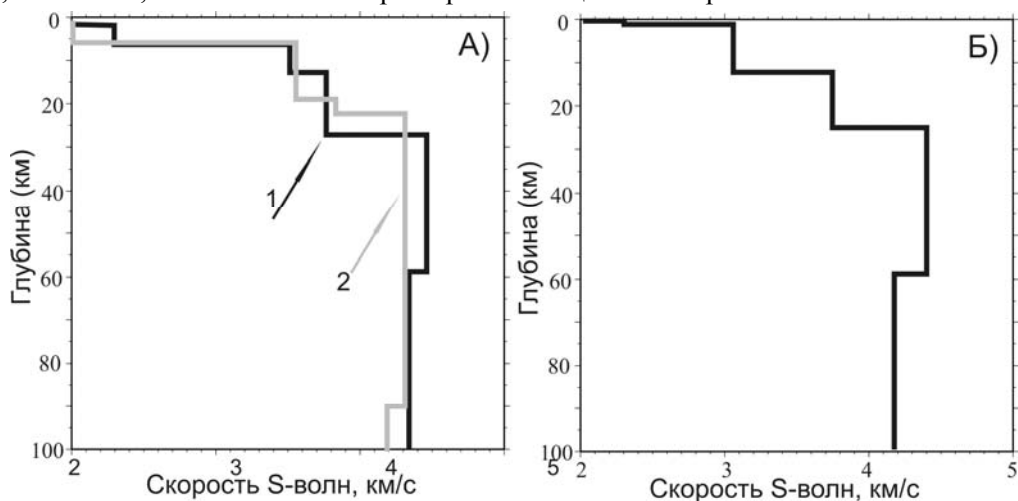


Рис. 5. А) Строение земной коры и верхней мантии по скоростям поперечных сейсмических волн для Охотского моря по трассам на Южно-Сахалинск (1) и Магадан (2). Б) Строение земной коры и верхней мантии по скоростям поперечных сейсмических волн для Берингова моря.

Анизотропная инверсия.

Одновременная инверсия волн Рэлея и Лява для разных трасс показывает изменение радиальной анизотропии. Например, радиальная анизотропия не наблюдается ($V_{sv}=V_{sh}$) по трассам Олюторское – РЕТ, Курилы – РЕТ, Курилы – ES0, Курилы – KBG. На рисунке 6 показан пример анизотропной инверсии для трассы Олюторское – РЕТ. Значительная часть пути по этим направлениям проходит вдоль зоны субдукции. По другим трассам Олюторское – BILL, Олюторское – ТХИ, Курилы –МА2, Олюторское – YSS, Олюторское – ВКИ мы получили, что скорости, полученные в результате инверсии волн Лява больше, чем скорости, полученные в результате инверсии волн Рэлея ($V_{sv}<V_{sh}$), рисунок 7 и рисунок 8.

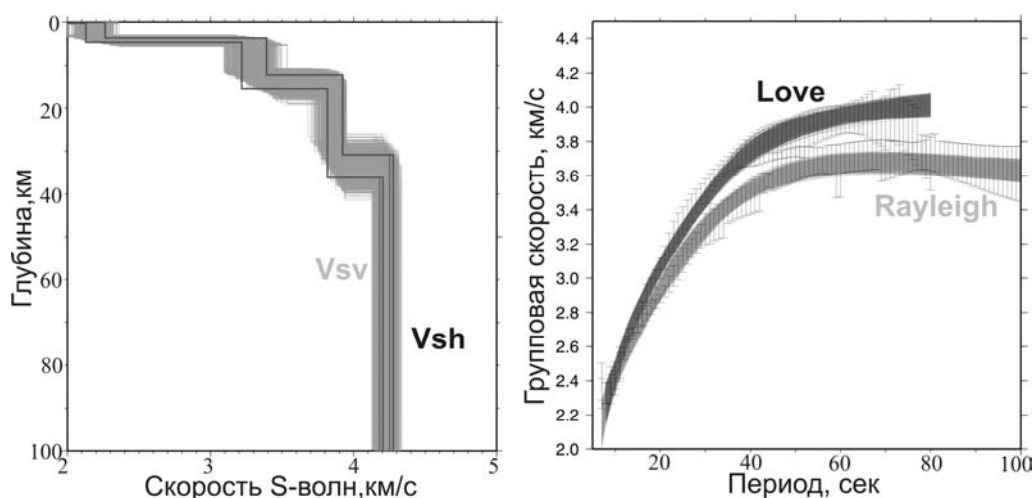


Рис. 6. Анизотропная инверсия для трассы Олюторское – РЕТ.

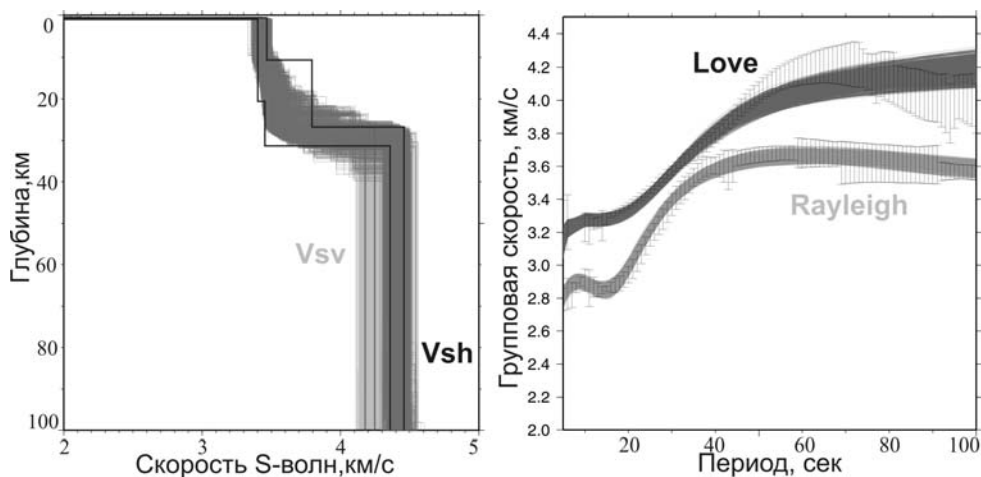


Рис. 7. Анизотропная инверсия для трассы Олюторское – ТИХИ

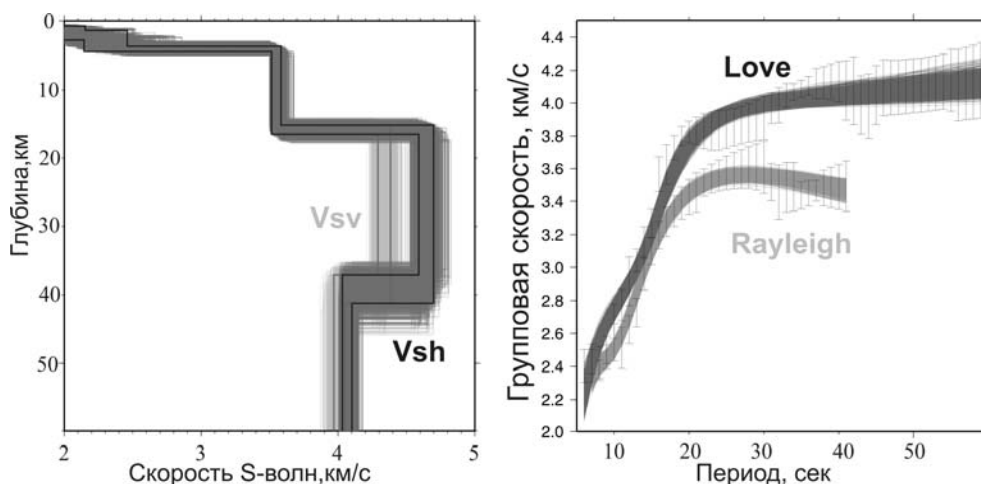


Рис. 8. Анизотропная инверсия для трассы Олюторское – ВКИ.

Заключение. Используя записи поверхностных волн на широкополосных станциях, удалось получить скоростную структуру среды до глубин 100 км, для следующих тектонических структур: п-ов Камчатка, Командорская котловина, Охотоморский блок, Берингийский блок и континентальная часть Северо-Американской тектонической плиты. Скоростное строение Охотоморского и Берингийского блоков соответствует переходному типу земной коры от океанической к континентальной. Толщина коры и скоростная структура Командорской котловины соответствует океанической коре. Отмечается разница в скоростном строении для Северной и центральной части Камчатки. Север Камчатки – тонкая кора и относительно медленные скорости в верхней мантии. Под восточным побережьем Камчатки южнее Камчатского мыса - толстая кора и относительно высокие скорости на глубинах более 30 км из-за присутствия зоны субдукции.

Радиальная анизотропия не наблюдается для трасс, проходящих вдоль зоны субдукции.

Список литературы.

1. Dziewonski, A.M., S. Bloch and N. Landisman. A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 1969, 59, pp. 427-444.
2. Herrmann, R.B., *Computer Programs in Seismology, Volume IV: Surface Waves Inversion*, Saint Luis University, Missouri, 1987.
3. Levshin, A.L., T.B. Yanovskaja, A.V. Lander, B.G. Bukchin, M.P. Barmin, L.I. Ratnikova, and E.N. Its. Surface waves in vertically inhomogeneous media, in *Seismic Surface Waves in a Laterally Inhomogeneous Earth*, Edited by V.I. Keilis-Borok, Kluwer Academic Publisher, 1989, pp. 131-182.
4. Shapiro N. M., M. Campillo, A. Paul, S. K. Singh, D. Jongmans, and F. J. Sánchez-Sesma. Surface wave propagation across the Mexican Volcanic Belt and the origin of the long-period seismic wave amplification in the valley of Mexico, *Geophys. J. Int.*, 1997, 128, pp. 151-166.
5. Shapiro, N.M., A.V. Gorbатов, E. I. Gordeev, and J. Dominguez. Average shear-wave velocity structure of the Kamchatka peninsula from the dispersion of surface waves, *Earth Planets Space*, 2000, 52, pp. 573-577.
6. Silver, P.G., Chan, W.W., 1991. Shear wave splitting and subcontinental mantle deformation. *J. Geophys. Res.* 96 (B10), 16429-16454.