

Т. Б. Яновская, К. Р. Акчурин

АНИЗОТРОПИЯ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА ПО ДАННЫМ ФАЗОВЫХ И ГРУППОВЫХ СКОРОСТЕЙ ВОЛН РЭЛЕЯ И ЛЯВА

Введение

Исследования строения Земли на основе анализа поверхностных и объемных волн показывают, что мантия Земли является анизотропной. По данным поверхностных волн обнаруживается как вертикальная, так и азимутальная анизотропия скоростей сейсмических волн. Вертикальная анизотропия проявляется в различии скоростей волн SV и SH, получаемых путем интерпретации дисперсионных кривых волн Рэля и Лява. Еще в 80-х гг. прошлого столетия было показано, что дисперсионные кривые групповых скоростей волн Рэля и Лява невозможно объяснить одним и тем же скоростным разрезом. Средняя для Земли анизотропия (относительная разница скоростей SH- и SV-волн) является одним из параметров стандартной модели Земли PREM [1]. Она составляет ~ 4% на глубинах до 200 км в среднем, для Земли в целом.

Анизотропия различна в разных областях земного шара, и она может характеризовать свойства вещества наряду со значениями скоростей, а также историю развития той или иной тектонической структуры и современные геодинамические процессы.

В данной работе исследована анизотропия верхней мантии региона Центральной Азии, включая Сибирскую платформу. Ранее на основе данных о дисперсии групповых скоростей волн Лява и Рэля было построено трехмерное распределение скоростей поперечных волн SV и SH в этом регионе [2], которое следует рассматривать как предварительное, поскольку использование для этой цели только групповых скоростей приводит к неединственности решения [3] из-за существенной нелинейности задачи обращения дисперсионной кривой групповой скорости в скоростной разрез поперечных волн. По полученным разрезам был оценен средний коэффициент анизотропии в трех интервалах глубин: от границы Мохо до 100 км, от 100 до 200 км и от 200 до 300 км. В настоящей работе аналогичное исследование выполнено на основе совместной интерпретации данных фазовых и групповых скоростей волн Рэля и Лява, что позволяет считать полученные результаты более надежными.

В. М. Кожевниковым и О. А. Соловей были получены дисперсионные кривые фазовой скорости на межстанционных трассах по данным от удаленных землетрясений, эпицентры которых находились на одной дуге большого круга с парой станций. Для волн Рэля такие данные были получены для 43 межстанционных трасс, а для волн Лява — для 36. Добавление этих данных существенно снижает неоднозначность решения для скоростных разрезов и соответственно для оценки латерального распределения коэффициента анизотропии. В работе [3] на основе данных о дисперсии групповых скоростей волн Рэля на ~4000 трассах и фазовых скоростей на 43 трассах были

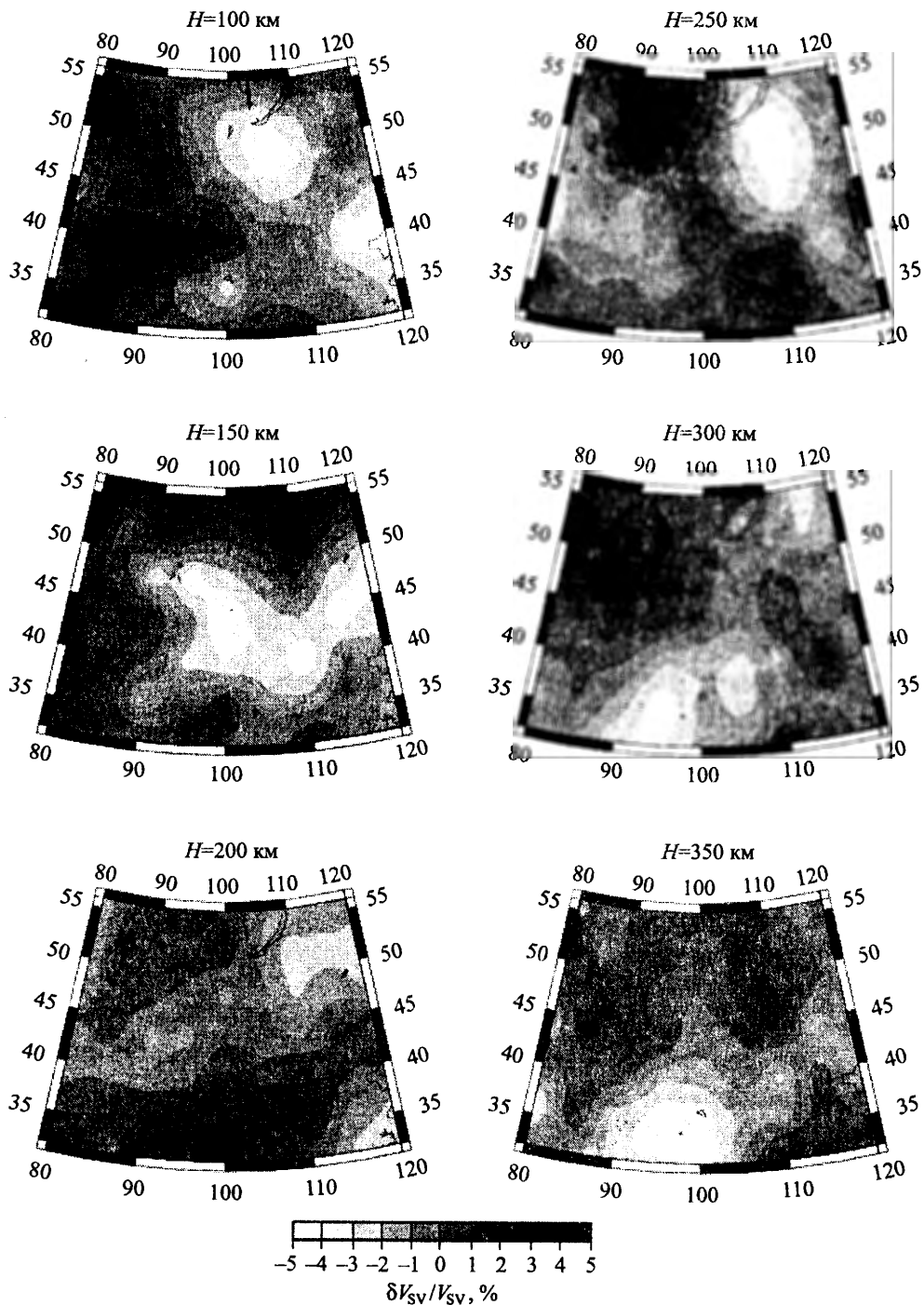


Рис. 1. Латеральные вариации скорости волн SV

построены трехмерные распределения скорости волн SV в регионе, ограниченном долготами $80\text{--}120^\circ$ E и широтами $30\text{--}55^\circ$ N. В настоящей работе эти результаты, а также данные о фазовых скоростях волн Лява, использованы для уточнения скоростного разреза волн SH и соответственно для оценки вертикальной анизотропии в данном регионе.

1. Исходные данные

Исходными данными для настоящего исследования являлись:

- латеральные распределения вариаций скорости волн SV, полученные в [3] (рис. 1), относительно среднего для территории скоростного разреза (рис. 3);
- латеральные распределения скоростей волн Лява в интервале периодов 10–150, полученные в [2] по данным о групповых скоростях на ~ 1500 трассах эпицентр-станция, предоставленные В. М. Кожевниковым, и на ~ 2000 трассах, предоставленные нам Центром томографических исследований (CIEI, Боулдер, Колорадо);

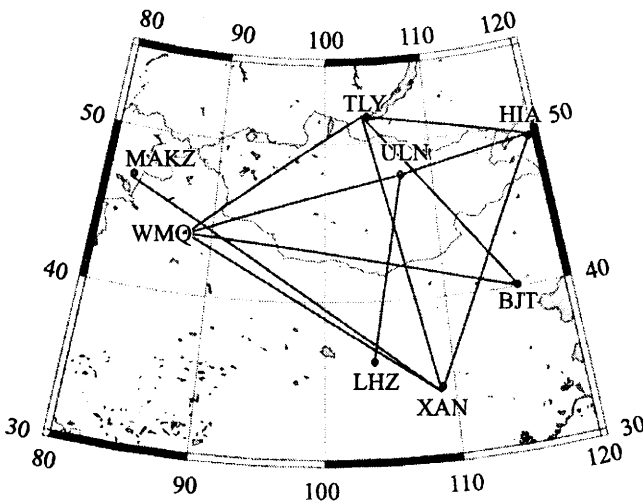


Рис. 2. Схема трасс между станциями, вдоль которых определены фазовые скорости волн Лява

- полученные В. М. Кожевниковым и О. А. Соловей межстанционные дисперсионные кривые фазовой скорости волн Лява на трассах, пересекающих исследуемый регион. Хотя фазовые скорости были определены на 36 трассах, для анализа использовались только 11 (рис. 2), поскольку эти трассы полностью попадали внутрь исследуемого района $80^\circ < \lambda < 120^\circ$, $30^\circ < \varphi < 55^\circ$, для которого были получены латеральные распределения скоростей волн SV, изображенные на рис. 1.

2. Методика

В работе [3] восстановление скоростных разрезов волн SV выполнялось в два этапа. На первом этапе определялись средние скоростные разрезы вдоль тех 43 трасс, на которых были измерены фазовые скорости. При этом производилась совместная инверсия дисперсионных кривых фазовых и групповых скоростей. Это приводило к единственности решения. По значениям средних вдоль трасс скоростей SV методом двумерной томографии определялись на последовательных глубинах латеральные вариации скорости SV, что позволило оценить приблизительные (хотя и очень сглаженные) скоростные разрезы в отдельных точках территории. Но за счет того, что эти разрезы были получены с учетом фазовых скоростей, они оказывались по абсолютным значениям скоростей достаточно близкими к истинным. Использование их в качестве начальных приближений для инверсии локальных дисперсионных кривых групповых скоростей приводило к результату, который из множества разрезов, отвечающих одной и той же кривой групповой скорости, мог бы считаться истинным.

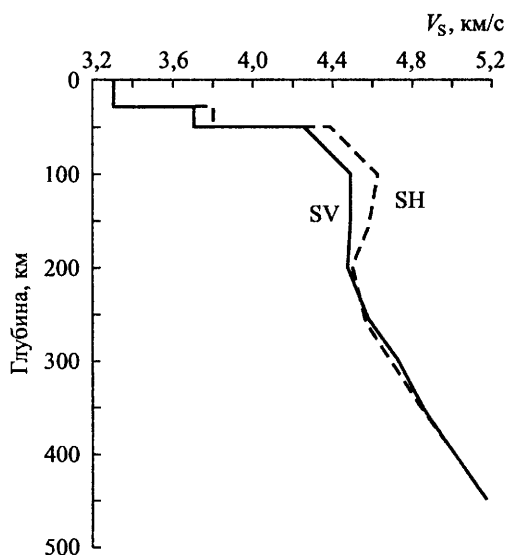


Рис. 3. Средние для исследуемой территории скоростные разрезы волн SV и SH

К сожалению, в случае волн Лява такой способ уже не мог быть применим из-за очень малого числа трасс, по которым были определены фазовые скорости. Но, поскольку скоростные разрезы волн SV и SH различаются не очень сильно, можно было при инверсии локальных групповых скоростей, полученных в результате двумерной томографии, значения скоростей волн SV использовать в качестве начальных приближений для определения скоростных разрезов волн SH в соответствующих точках. На первом этапе была произведена одномерная инверсия средней по всей области дисперсионной кривой групповой скорости волны Лява и получен средний для территории скоростной разрез волн SH. На рис. 3 он приведен в сравнении со средним скоростным разрезом волн SV. Как и следовало ожидать, на глубинах 30–200 км скорости волн SH превышают скорости волн SV.

Вариации групповых скоростей волн Лява относительно средней дисперсионной кривой для всей территории приведены в работе [2], что позволяло определить локальные дисперсионные кривые. Эти дисперсионные кривые уже обращались в локальные скоростные разрезы SH при использовании скоростных разрезов волн SV в качестве начальных приближений. Учет же фазовых скоростей волн Лява по трассам, приведенным на рис. 2, производился опосредованно — путем определения для полученных разрезов волн SH фазовых скоростей в точках трасс, вычисления средних по трассам дисперсионных кривых и сравнения их с наблюдаемыми.

3. Результаты

Карты вариации скоростей SH относительно среднего разреза на тех же глубинах, что и скоростей SV, приведены на рис. 4. Из сравнения с рис. 1 видно, что, в общем, характер вариаций волн SV и SH идентичен. Но вследствие того, что эти вариации определяются относительно разных средних скоростных разрезов (см. рис. 3), скорости волн SV и SH оказываются различными, т. е. имеет место анизотропия.

Реалистичность полученных латеральных распределений скорости волны SH была подтверждена расчетами средних дисперсионных кривых фазовой скорости по трассам, показанным на рис. 2. По скоростным разрезам в отдельных точках были рассчитаны дисперсионные кривые фазовой скорости. По этим данным дисперсионные кривые в точках каждой трассы определялись путем билинейной интерполяции, а затем интегрированием по трассе вычислялась средняя дисперсионная кривая. Ее уже можно было сравнивать с полученной из наблюдений дисперсионной кривой. На рис. 5 приведены наблюдаемые и вычисленные дисперсионные кривые фазовой скорости на нескольких трассах.

По данным, приведенным на рис. 1,3,4, можно было построить и латеральное распределение коэффициента анизотропии на разных глубинах. Коэффициент анизотропии α определяется как относительная разность скоростей волн SH и SV по отношению к средней скорости:

$$\alpha = \frac{V_{SH} - V_{SV}}{\bar{V}},$$

где

$$\bar{V} = \frac{V_{SH} + V_{SV}}{2}.$$

Поскольку скоростные разрезы SV и SH содержат погрешности определения, разности этих скоростей будет достаточно высока. Поэтому мы вычисляли распределение коэффициента анизотропии не на фиксированных глубинах, а в некотором интервале глубин путем их усреднения. Усреднение производилось в интервале глубин 50 км, так что значение коэффициента анизотропии, отнесенное, например, к глубине 100 км, представляет собой результат усреднения в интервале 75–125 км.

Латеральное распределение коэффициента анизотропии приведено на рис. 6. Видно, что максимальная анизотропия наблюдается на глубинах 100–150 км, где она достигает 5%. Кроме того, максимальные значения коэффициента анизотропии на всех глубинах приходятся на центральную часть исследуемой области, ограниченную приблизительно 40–50° по широте и 90–100° по долготе.

Заключение

Полученные в настоящей работе данные об анизотропии верхней мантии Центральной Азии качественно согласуются с полученными в [2], но являются существенно более детальными. В частности, обнаружено, что максимальная анизотропия относится к глубине 100 км, а на глубине 200 км она оказывается локализованной в довольно ограниченной зоне, соответствующей северо-восточной окраине Тибета. Вывод [2] о том, что максимальная анизотропия соответствует пониженным значениям скорости поперечных волн, оказывается несостоятельным: сравнение рис. 6 с распределениями

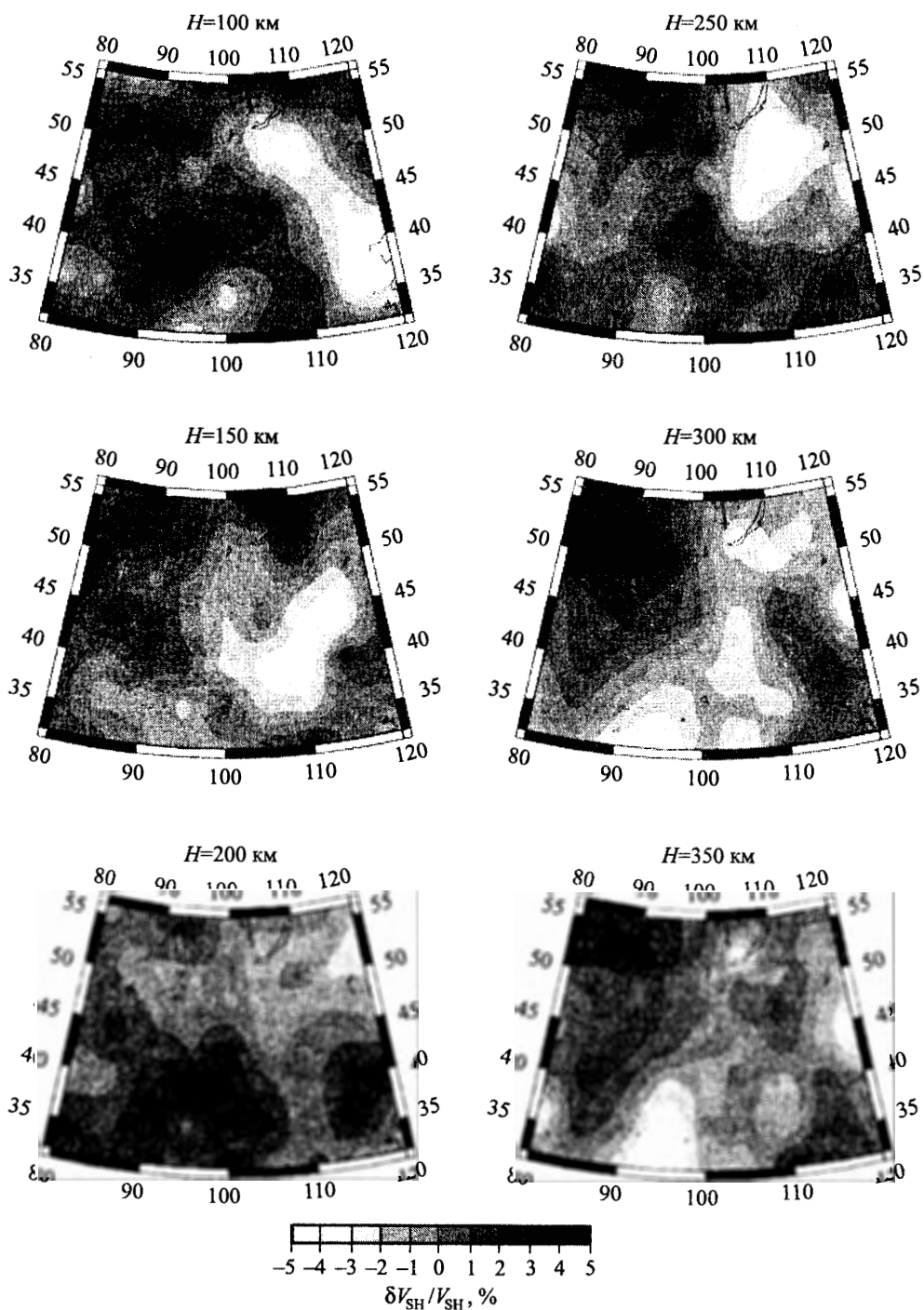


Рис. 4. Латеральные вариации скорости волн SH

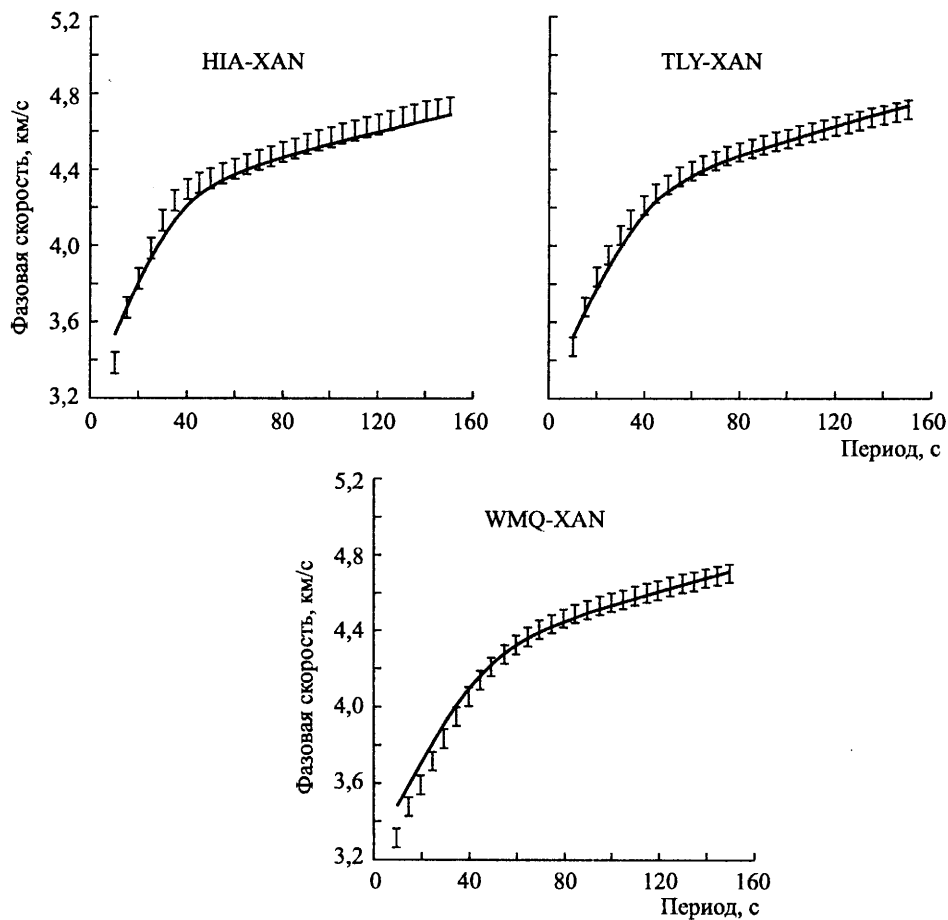


Рис. 5. Вычисленные для полученной скоростной структуры волн SH средние фазовые скорости на трех межстанционных трассах и наблюдаемые, указанные пределами погрешностей

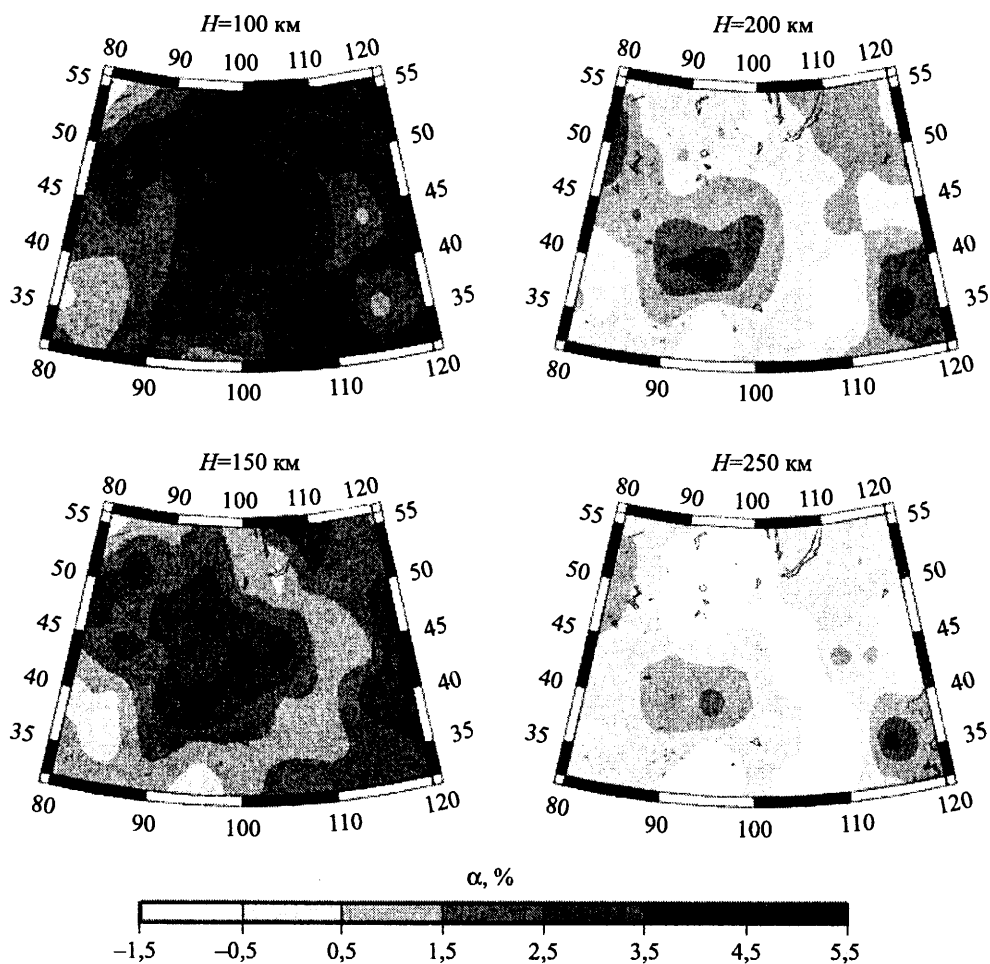


Рис. 6. Латеральные вариации коэффициента анизотропии

скоростей SV- и SH-волн (см. рис. 1 и 4) свидетельствует об отсутствии какой-либо корреляции коэффициента анизотропии и значений скорости.

Работа поддержана грантом РФФИ 08-05-00355.

Указатель литературы

1. *Dziewonski A. M., Anderson D. L.* Preliminary reference Earth model // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1981. V. 24. P. 297–356.
2. *Яновская Т. Б., Кожеевников В. М.* Анизотропия верхней мантии Азиатского континента по групповым скоростям волн Рэлея и Лява // *Геология и геофизика.* 2006. Т. 47. № 5. С. 622–629.
3. *Яновская Т. Б., Кожеевников В. М., Соловей О. А., Акчурич К. Р.* Строение верхней мантии в Азии по фазовым и групповым скоростям рэлеевских волн // *Физика Земли.* № 8. 2008. С. 22–31.