

УДК 551.34

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА И ОСТРОВА ХОККАЙДО

© 2010 г. М.Н. Лунева

*Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

Многолетний мониторинг параметров расщепленных  $S$ -волн от слабых местных землетрясений в области южной Камчатки и восточного Хоккайдо позволил статистически оценить анизотропию среды и выделить области различной динамики и реологии. Результаты исследований свидетельствуют о неоднородном распределении анизотропных свойств по глубине и вдоль простирания Курило-Камчатской дуги, блочном строении среды по реологическим свойствам, а также чувствительности параметров расщепленных  $S$ -волн к изменению деформированного состояния среды.

**Ключевые слова:** сейсмическая анизотропия, расщепление  $S$ -волн, местные землетрясения, Камчатка, Хоккайдо.

Изучение сейсмической анизотропии позволяет получать информацию о структуре Земли и характере деформирования геоматериала. Природа анизотропии обусловлена упорядоченным строением среды на различных масштабных уровнях и проявляется в изменении ее физических свойств в зависимости от направления. Большинство экспериментальных работ по сейсмической анизотропии направлены на изучение скоростной анизотропии, поляризации, времен прихода, амплитуды сейсмических волн в рамках упругой модели анизотропных сред. При этом наиболее информативен метод, позволяющий изучать эффект расщепления поперечных волн – распространение в анизотропной среде двух поперечных волн с различной поляризацией и скоростью. Основные параметры расщепленных волн – азимут вектора поляризации быстрой  $S_1$ -волны ( $\varphi$ ) и разность времен прихода быстрой ( $S_1$ )- и медленной ( $S_2$ ) поперечных волн ( $t_{SS}$ ) – характеризуют симметрию и степень анизотропии среды. В сейсмологии при исследовании анизотропии используются волны от местных и удаленных землетрясений, значительно различающихся различающиеся частотными характеристиками и направлением лучей.

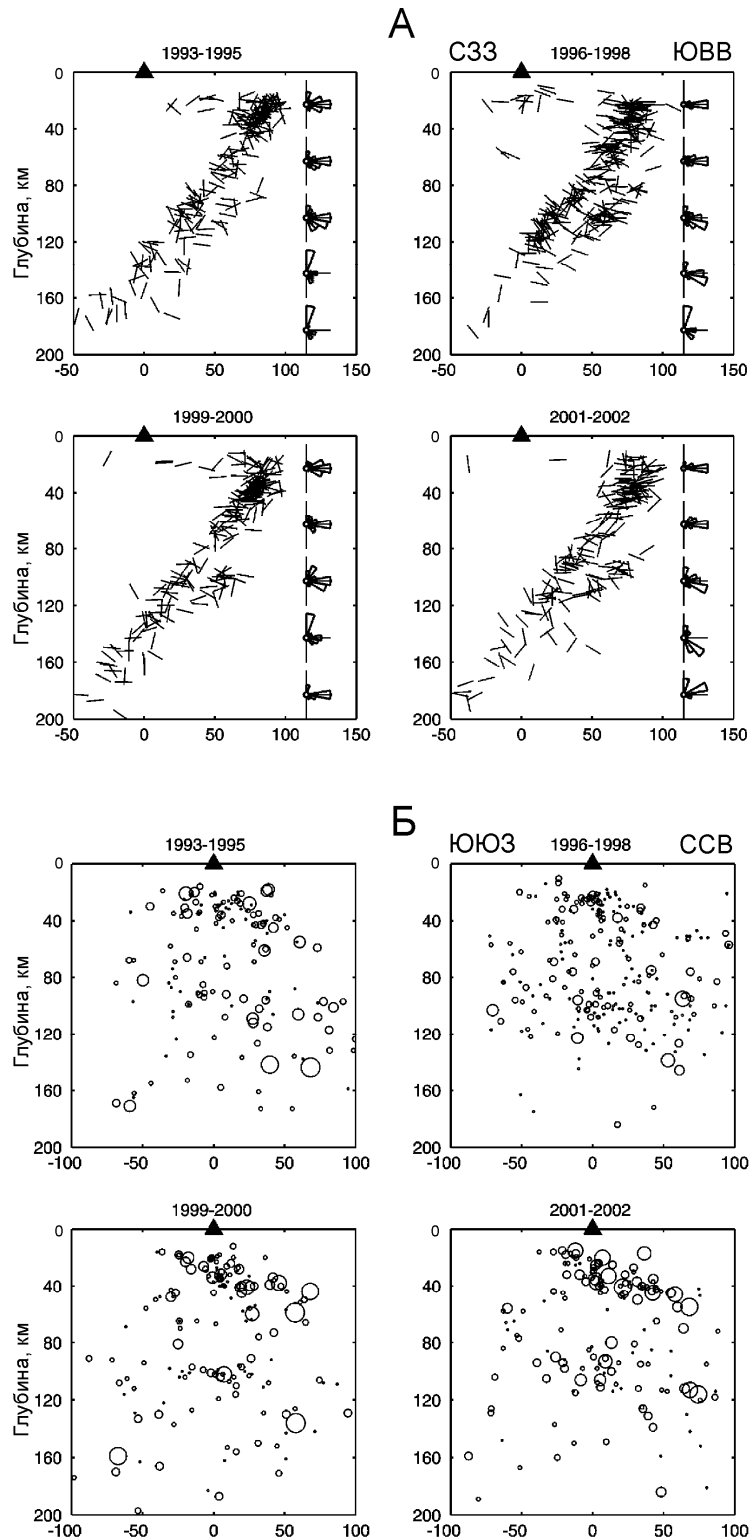
Природа анизотропии может быть как связанной с современными тектоническими процессами, так и унаследованной. Особенности распространения сейсмических волн в областях с разными анизотропными свойствами и историей развития приводят к трудностям в интерпретации данных. В областях субдукции сейсмическая анизотропия определяется анизотропией земной коры, мантийного клина и субдуцирующей плиты. По экспериментальным и теоретическим данным [Liu, Hudson, Pointer, 2000; Crampin, 2005] анизотропия земной коры описывается в рамках трещиновато-пористых моделей среды с преимущественной ориентацией трещин и порового пространства. Азимуты поляризации быстрой волны ориентируются перпендикулярно направлению минимального горизонтального сжатия. В динамически активных областях, где напряженное состояние в общем случае отлично от гидростатического, анизотропия среды индуцируется напряжением, тензор которого имеет симметрию трехосного эллипсоида. Азимуты поляризации  $S_1$ -волн согласуются с направлением регионального сжатия, а во флюидонасыщенных, разломных зонах они ориентированы вдоль разломов [Kaneshima, 1990; Liu, Crampin, Main, 1997; Crampin, 2005]. Анизотропия среды на средних глубинах описывается в рамках трансверсально-изотропной модели с горизонтальной осью симметрии (ГТИ).

В области мантийного клина природа анизотропии обусловлена течениями, возникшими при погружении и продвижении плиты. Анизотропия мантии описывается в рамках вязких нелинейных моделей среды ромбической симметрии с преимущественной ориентацией кристаллов оливина [Kaminski, Ribe, 2001, 2002; Jung, Karato, 2001; Katayama, Jung, Karato, 2004; Burgers, 2006; Kaminski, 2006; Conrad, Behn, Silver, 2007]. В зависимости от термодинамических условий, скорости деформаций и флюидонасыщенности мантии ориентация азимута поляризации быстрой волны может изменяться. Для сухой мантии  $a$ -ось кристаллов оливина ориентирована субпараллельно деформациям простого сдвига, линиям течения. В случае водосодержащей мантии или мантии с подплавлением эта ось перпендикулярна направлению течения в сдвиговой плоскости [Jung, Karato, 2001; Holtzman et al., 2003]. При водонасыщении мантии  $b$ -ось оливина ориентирована по течению. При наполнении включений расплавом  $c$ -ось с минимальной скоростью  $P$ -волны ориентирована по течению. В последнем случае степень анизотропии среды может быть существенно меньше.

Анизотропия и реологические свойства в субдуцирующей плите изучены мало, хотя они важны для понимания динамических процессов в области субдукции. При своем продвижении погружающаяся плита значительно деформируется, меняется ее геометрия и физико-химические свойства геоматериала. По имеющимся оценкам, выполненным с учетом выделяемой сейсмической энергии в субдуцирующей плите (сейсмофокальной зоне – СФЗ), скорости деформации достаточно высоки и сопоставимы со скоростью деформаций в астеносфере [Bevis, 1988; Fisher, Jordan, 1991; Holt, 1995; King, 2001]. По мере погружения в плите начинают доминировать неупругие процессы. Появление активных разломов (трещин) внутри плиты связано с процессами дегидратации или частичного плавления внутри плиты и окружающей мантии за счет миграции флюидов. Просачивание воды в мантию понижает ее вязкость и оказывает влияние на течения в мантийном клине [Cagnioncle et al., 2007]. При моделировании динамики процессов в зонах субдукции установлено, что форма плиты есть функция вязкости плиты и окружающей мантии.

Эффект расщепления  $S$ -волн был изучен по параметрам поперечных волн от местных слабых землетрясений, произошедших в районе южной Камчатки (события 1993–2002 гг.) и вблизи восточного Хоккайдо (события 1998–2003 гг.). При анализе первых использовались записи станции *PET IRIS*, вторых – записи шести японских станций. Глубина очагов Камчатских землетрясений – 300 км, на Хоккайдо – 120 км. Напомним, что в первый из анализируемых периодов произошло Кроноцкое землетрясение с  $M=7.8$  (05.12.1997 г.), а второй включает землетрясение Токачи-оки с  $M=8.0$  (25.09.2003 г.). Измерение параметров расщепленных  $S$ -волн проводилось в области доминирующих частот ( $\sim 2$ –10 Гц), которые рассматриваются как характеристические для объема среды (источник-приемник), формирующего сигнал.

В области станции *PET* в период 1993–2002 гг. доминируют направления поляризации быстрой  $S$ -волны  $\varphi = 90^\circ \pm 20^\circ$ , согласующиеся с направлением движения Тихоокеанской плиты, направлением сжатия в регионе и течения в мантийном клине. Наблюдается тенденция смещения доминирующих азимутов быстрой волны с увеличением глубины событий от восточного направления к юго-восточному и с ростом числа аномальных субмеридиональных азимутов. Азимуты быстрой волны с глубин более 120 км доминируют в интервалах  $80^\circ$ – $120^\circ$  и  $0^\circ$ – $20^\circ$ . Разность времен прихода  $S$ -волн в среднем меняется от 0.2 с (коровые события) и до 1 с (события на глубине 150–300 км). Максимальные значения коэффициента анизотропии до 5–8% фиксируются по событиям с очагами на глубине 90–150 км [Лунева, Лу, 2006].

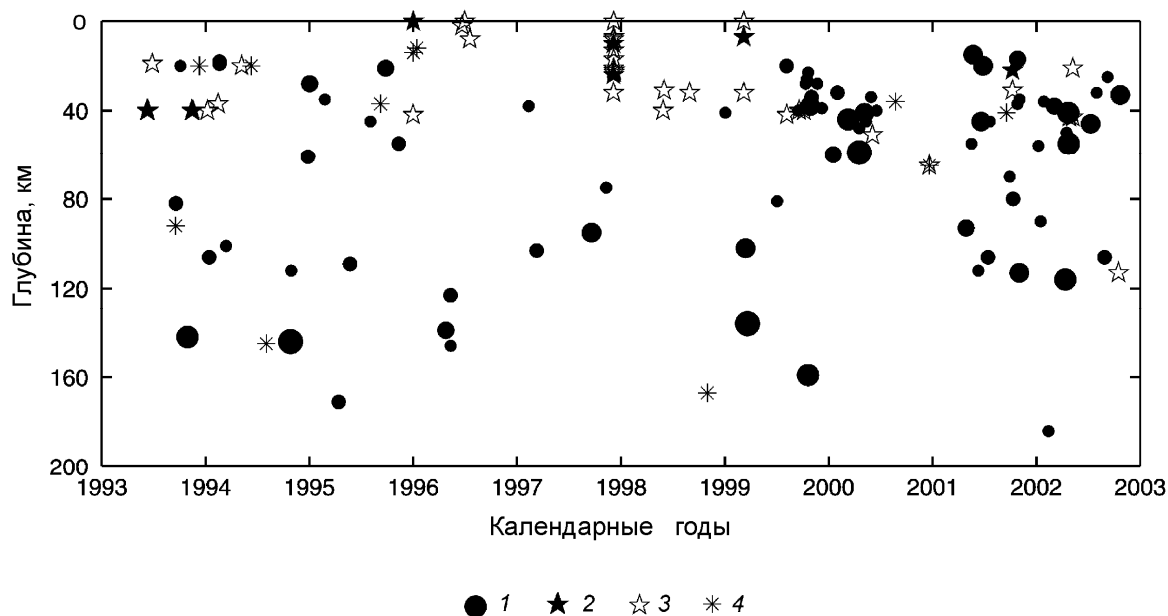


**Рис. 1.** Распределение азимутов поляризации быстрой  $S$ -волны (А) и разности нормализованных на гипоцентральное расстояние времен поперечных волн (Б) от землетрясений для четырех интервалов времени за период 1993–2002 гг. Данные отнесены к гипоцентрам землетрясений, спроецированным на разрезы вкост (А) и вдоль (Б) простирания глубоководного желоба. Азимут поляризации показан отрезком прямой, повернутым от вертикали на угол, равный значению азимута  $\varphi$ . Справа на А – розы-диаграммы азимутов быстрой  $S$ -волны для событий из пяти интервалов глубин: 0–40, 41–80, 81–120, 121–160, 161–200 км. На диаграммах Б диаметр кружка пропорционален величине  $\delta t_{SS}$  ( $\leq 21$  мс/км). Треугольник – станция *PET IRIS*

На основе анализа пространственного распределения азимутов поляризации быстрой волны ( $\phi$ ) и времен задержки  $S$ -волн, нормализованных на гипоцентральное расстояние ( $\delta t_{SS}$ ), по записям от местных землетрясений выделены четыре временных интервала 1993–1995, 1996–1998, 1999–2001 и 2002–2002 гг. (рис. 1, А). В период 1996–1998 гг., включающий стадии подготовки и релаксации Кроноцкого землетрясения (05.12.1997 г.,  $M=7.8$ ) наблюдается наибольшая степень упорядоченности в ориентации  $\phi$  с глубиной и доминированием  $\phi$  вдоль направления восток–юго-восток для событий с глубиной очага менее 120 км. Для событий с больших глубин из области вблизи верхней границы сейсмофокальной зоны азимуты  $\phi$  ориентируются преимущественно вдоль северных направлений, а из области вблизи нижней границы – вдоль восточных направлений. Неустойчивое поведение  $\phi$  во времени отмечается от событий с глубин 60–80 км и вдоль верхней границы СФЗ.

Время задержки  $S$ -волн отражает изменение напряженного состояния среды в пространстве и времени (рис. 1, Б). Выделенные области устойчивого и неустойчивого поведения параметров расщепленных волн согласуются с более жесткими зонами повышенными значениями скоростей  $P$ - и  $S$ -волн (пониженными значениями  $V_P/V_S$ ) и ослабленными зонами с пониженными скоростями (повышенными значениями  $V_P/V_S$ ) [Кузин и др., 2004].

На рис. 2 показано распределение повышенных значений  $\delta t_{SS}$  в зависимости от глубины событий и времени. В 1995–1996 гг. повышенные значения локализуются на глубине 20–60, 105–115 км, а максимальные – на глубине 130–145 км. Наименьшее количество число повышенных значений  $\delta t_{SS}$  зафиксировано в 1996–1998 гг. К моменту Кроноцкого землетрясения отмечается смещение  $\delta t_{SS}$  к меньшим глубинам – от 140 км до 80 км.



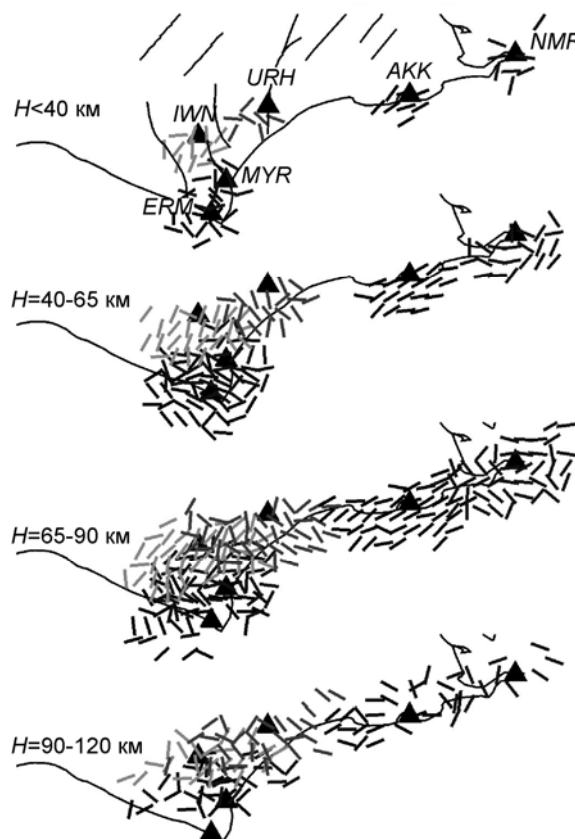
**Рис. 2.** Распределение повышенных нормализованных времен задержки  $S$ -волны ( $\delta t_{SS}$ ) по глубине гипоцентров событий и во времени.

1 – повышенные времена задержки (10–21 мс/км), размер кружков пропорционален значению  $\delta t_{SS}$ ; 2 – гипоцентры землетрясений с  $K \geq 14$ ; 3 – гипоцентры землетрясений с  $K \geq 13$  в радиусе 400 км от станции *PET*; 4 – гипоцентры землетрясений с  $K = 12-13$  внутри области исследования

В 1999–2002 гг. выделены два цикла миграции повышенных времен задержки  $S$ -волн вдоль северо-восточного направления с погружением в двух интервалах – от 20 км до 60 км и от 110 км до 160 км. Предполагается, что на контакте зон с контрастными скоростными свойствами происходит концентрация напряжений, локализация повышенных  $\delta t_{SS}$  и их миграция [Лунева, 2008а].

Области нестабильного поведения азимута  $\varphi$  и повышенных значений  $\delta t_{SS}$  (интервал глубин 60–90 км, верхняя граница СФЗ) могут быть связаны с увеличением роли пластических деформаций (медленных скольжений), обусловленных повышенным содержанием воды и ее миграцией в результате реакций дегидратации в верхней части плиты до глубин 250–300 км [Abers, 2000; Kawakatsu, Watada; 2007; Chen et al., 2007]. Ориентация доминирующих азимутов  $\varphi$  вдоль простирания глубоководного желоба в верхней области СФЗ от событий с глубины больше 120 км согласуется с направлением деформаций в режиме растяжения по данным фокальных механизмов и наклонной ориентацией оси симметрии в рамках модели трансверсально-изотропной среды, а также с возможным астеносферным торсионным мантийным течением вдоль плиты, обусловленным обрывом плиты в области сочленения с Алеутской дугой [Peyton, Levin, Park, 2001].

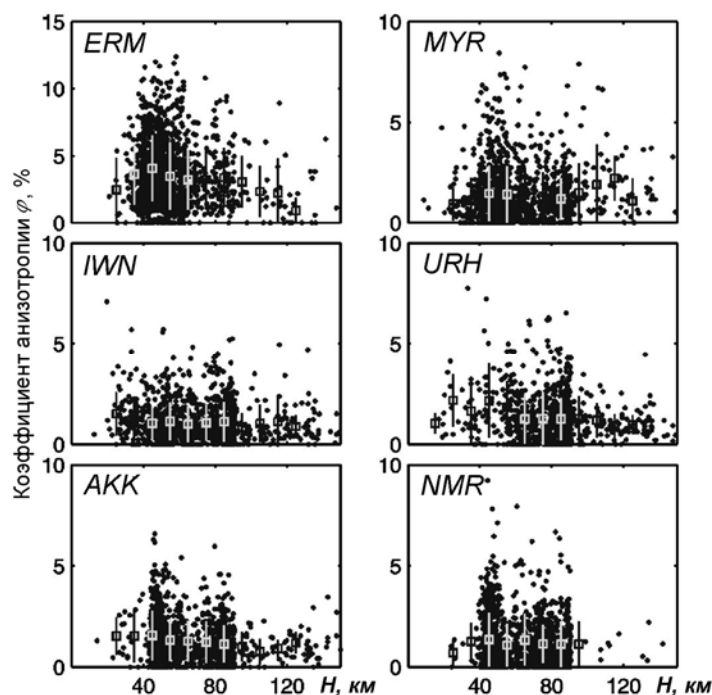
В районе о. Хоккайдо параметры  $\varphi$ ,  $\delta t_{SS}$  изменяются от станции к станции и по глубине, что в значительной степени связано со сложной морфологией поверхности сейсмофокальной зоны в области коллизии Японской и Курильской дуг (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение азимутов быстрой  $S$ -волны от событий, произошедших вдоль восточного о. Хоккайдо в 1998–2002 гг. с очагами в четырех глубинных интервалах. Азимуты быстрой волны в области каждой станции отнесены к гипоцентрам землетрясений, усреднены по сетке с шагом  $0.2^\circ$  и спроецированы на горизонтальную плоскость. На разрезе для  $H < 40$  км схематично отображены основные разломы (более длинные отрезки прямых)

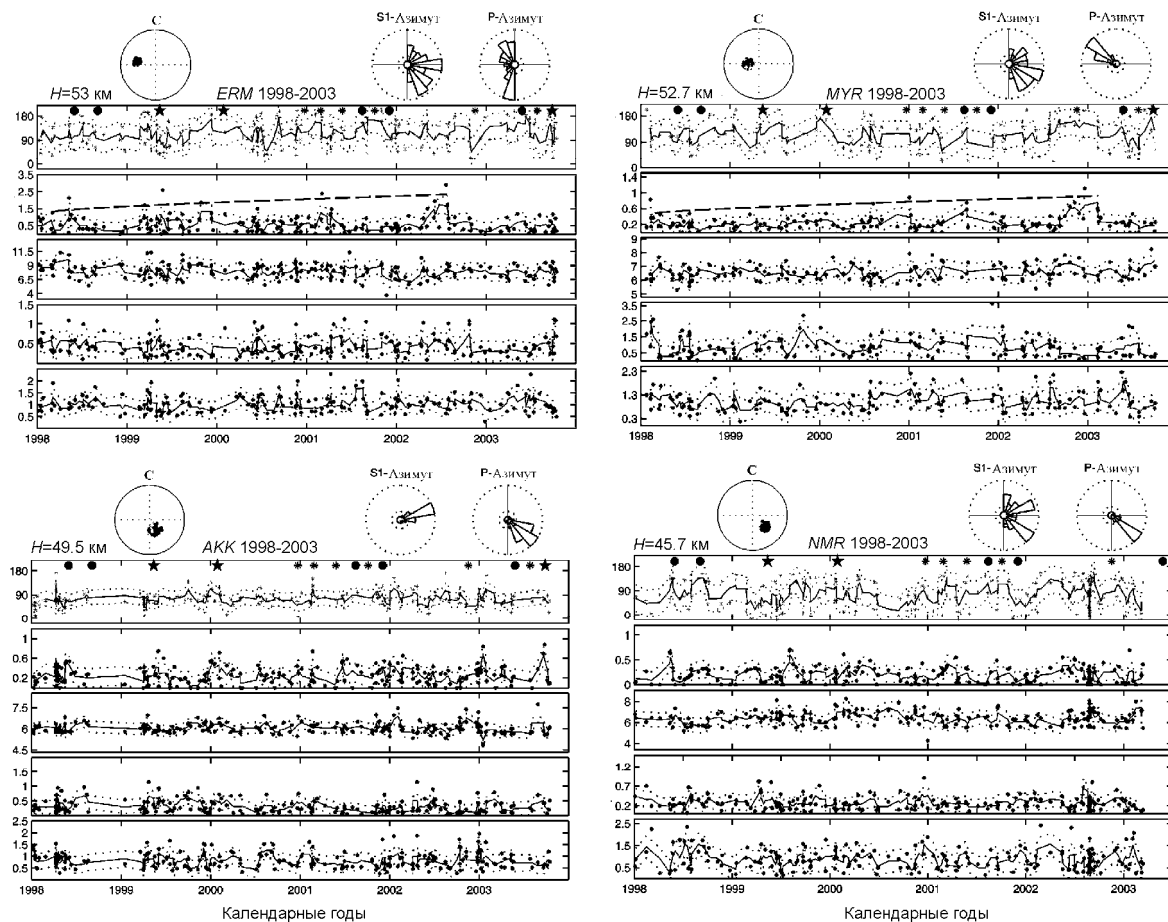
Доминирующие значения  $\varphi$  от событий с очагами на глубине более 100 км ориентированы совпадают с направлением погружения плиты в соответствии с геометрией верхней границы сейсмофокальной зоны. При меньшей глубине событий в юго-западной части равнины Токачи (станция *IWN*)  $\varphi$  группируются вдоль север–северо-восточных, а в восточной части (станция *URH*) – вдоль юго-восточных азимутов, которые перпендикулярны и параллельны направлению движения Тихоокеанской плиты, соответственно. Под равниной Кусиро (станция *AKK*)  $\varphi$  направлены на север–северо-восток и согласуются с направлением миграции фронта Курильской дуги вдоль Курильского желоба. Сложное распределение  $\varphi$  с изменением во времени наблюдается в области гор Хидака (станции *ERM*, *MYR*) и на полуострове Немуро (станция *NMR*): в первом случае выделяется сетка ортогональных направлений на север и восток, северо-восток и юго-восток, во втором доминируют азимуты  $\varphi$  юго-восточного, северо-восточного и восточного направлений.

Изменение коэффициента анизотропии с увеличением глубины очагов событий за тот же период представлены на рис. 4. Квадратами и вертикальными отрезками на нем показаны средние значения и стандартные отклонения. Максимальные коэффициенты анизотропии достигают значений 4–6.5% под равнинами, в области гор Хидака – 8–12%, под п-овом Немуро – 6–8%. Неустойчивость параметров *S*-волн отмечается для событий с очагами на глубине 40–70 км и вблизи верхней границы СФЗ.



**Рис. 4.** Изменение коэффициента анизотропии с увеличением глубины событий за период 1998–2002 гг. Квадраты и вертикальные линии показывают средние значения и стандартные отклонения

Детальное исследование временных изменений параметров волн проведено вдоль о. Хоккайдо для кластеров землетрясений с очагами, локализованными в интервале глубин 40–60 и 70–90 км (в верхней СФЗ) [Лулева, 2008б]. Для каждого кластера построены временные ряды следующих волновых параметров (рис. 5, сверху вниз) – азимуты поляризации *P*- и *S*<sub>1</sub>-волн; времена задержки между *S*-волнами ( $t_{SS}$ ), *P*- и *S*<sub>1</sub>-волнами ( $t_{PS}$ ); отношение амплитуд *P*- и *S*-волн ( $A_P / A_{S_{max}}$ ,  $A_{S_2} / A_{S_1}$ ). Статистические параметры



**Рис. 5.** Временные изменения волновых параметров от кластера событий в области четырех станций вдоль о. Хоккайдо за период 1998–2003 гг. Верхний ряд: полярная проекция положения события кластера относительно станции и средняя глубина событий, розы-диаграммы азимутов поляризации  $S_1$ - и  $P$ -волн. Знак звезды, круга и астериска фиксирует время происхождения сильных землетрясений ( $M \geq 6$ ) в области Хоккайдо, Хонсю и Курил, Охотского моря. Сплошной линией на рисунках представлены интерполированные и осредненные данные в скользящем временном окне. Точечные линии отображают 68%-й доверительный интервал. Пунктирные линии – тенденции изменения параметра со временем

$S$ -волн по кластерам событий хорошо согласуются со статистическими данными для всех событий за период 1998–2003 гг. в области станций. В среднем,  $S$ -волны от событий кластеров имеют близкие амплитуды и превышают в 2–3 раза амплитуду  $P$ -волн. Максимальные средние значения  $\bar{t}_{S1}/\bar{t}_P$  (до 1.76–1.82) фиксируются в области станций *MYR* ( $H = 52.7$  км) и *ERM*. Значительные различия значений  $\bar{t}_{S1}/\bar{t}_P$  и  $\bar{t}_{SS}$  вдоль ортогональных направлений отмечаются для кластеров в области станции *ERM*.

Наиболее значимым параметром, отражающим характер деформаций, является азимут  $\varphi$  быстрой  $S$ -волны. Выделено несколько типов поведения  $\varphi$  во времени и во взаимосвязи с другими параметрами:

- 1) стабильное поведение  $\varphi$  на уровне доминирующих значений  $\bar{\varphi}$ ;
- 2) импульсное anomalous изменение  $\varphi$  с отклонением до  $90^\circ$  за период от нескольких дней до 2–3 месяцев;
- 3) колебательное изменение  $\varphi$  в течение длительного периода (0.5–2 года);
- 4) одновременное появление  $\varphi$  различных направлений (рассеяние).

Импульсный тип поведения  $\varphi$  в периоды крупных землетрясений отмечен для кластеров кластеров под станцией *AKK*. Колебательный тип изменения  $\varphi$  с периодом 1.5–2 года характерен для области станции *NMR* (см. рис. 5). Значительные различия в поведении  $\varphi$  под станциями *AKK* и *NMR* согласуются с распределением главных осей напряжений по СМТ данным. В области станции *AKK* наблюдается незначительный разброс в распределении осей напряжений, а для области станции *NMR* характерно “блуждание” осей, размытый характер распределения. Для кластеров глубоких событий отмечены плавные изменения азимута  $\varphi$  с периодом около 1–2 года, на фоне которых проявляются его возмущения импульсного типа.

Временные изменения  $t_{SS}$  свидетельствуют об изменении напряженного состояния среды, которое может быть связано с изменением уровня напряжения, порового давления и флюидонасыщенности среды. Сейсмические исследования в разломных зонах и в фокальных зонах землетрясений свидетельствуют, что скорости *S*-волн, коэффициент Пуассона и  $\gamma = V_P/V_S$  более чувствительны к изменению флюидонасыщенности среды и изменяются в более широком по сравнению со скоростями *P*-волн диапазоне значений. По экспериментальным и теоретическим данным [Crampin, 2005] известно, что при увеличении содержания флюидов скорости *P*- и *S*-волн растут до определенного предела. При дальнейшем увеличении порового давления и приближении к гидростатическому состоянию наблюдается резкое изменение направления азимута  $\varphi$  (смена полярности) и падение  $t_{SS}$ . Аномальное уменьшение  $t_{SS}$  и смена полярности  $\varphi$  отмечено от восточных кластеров за год до землетрясения Токачи-оки в области станций *ERM*, *MYR* (см. рис. 5). Повышенные значения  $V_P/V_S$  для кластеров событий в области гор Хидака ( $\gamma \geq 1.75$ ) и п-ова Немуро ( $\gamma \approx 1.74$ ) вместе с неустойчивым поведением  $\varphi$  и  $t_{SS}$  указывают на то, что среда находится в механически ослабленном состоянии, режиме активного деформирования. Напротив, области под равнинами Токачи и Кусиро являются более жесткими и характеризуются более низкими ( $\leq 1.73$ ) значениями  $V_P/V_S$  и устойчивым поведением  $\varphi$ .

Значительные временные вариации волновых параметров наблюдаются от кластеров в области гор Хидака и на п-ове Немуро. Проявляется корреляция аномального поведения параметров *S*-волн от событий кластеров в области разных станций и их взаимосвязь со временем происхождения крупных землетрясений вокруг Хоккайдо. Наблюдаемые изменения в соотношении амплитуд *P*- и *S*-волн могут быть связаны с изменением типа фокального механизма, жесткости/вязкости среды в области кластеров землетрясений. Результаты измерения параметров расщепленных *S*-волн в различных диапазонах частот в области п-ова Немуро показали, что с увеличением частоты наблюдается смещение  $\varphi$  к направлению сжатия, уменьшение  $t_{SS}$  и  $V_P/V_S$  и увеличение степени затухания амплитуды волн. По отношению спектральных амплитуд *S*-волн выявлена анизотропия затухания – различие коэффициента затухания в зависимости от поляризации и направления распространения *S*-волн [Лунева, 2009].

### Выводы

Результаты исследований параметров *S*-волн от слабых местных землетрясений в области Камчатки и восточного Хоккайдо демонстрируют неоднородность распределения анизотропных свойств по глубине, вдоль островной дуги и чувствительность параметров  $\varphi$ ,  $\delta t_{SS}$  к реологическим свойствам среды. Временные вариации волновых параметров для кластеров землетрясений вдоль восточного Хоккайдо могут свидетельст-



воват об их взаимосвязи с изменением деформированного состояния среды, флюидодинамикой как в локальной области вблизи станций, так и в более широкой зоне субдукции.

Сопоставление доминирующих значений параметров  $\varphi$ ,  $\delta t_{SS}$  с данными, полученными по низкочастотным волнам *SKS*, *SKKS* [Peiton, Levin, Park, 2001; Long, Hilst, 2005] и волнам от местных глубоких землетрясений [Levin et al., 2004; Nakajima et al., 2006], показывает их согласованность, что свидетельствует и о согласованности в направленности деформаций в области субдуцирующей плиты и мантии на различных масштабных уровнях.

По характеру распределения анизотропных свойств в области Хоккайдо и Камчатки выделяются блоки со средними размерами 50–80 км, которые сопоставимы с длиной низкочастотных волн. Сейсмическая анизотропия высокочастотных волн отражает в большей степени упругую анизотропию.

Отмечается высокая степень линейности волновых колебаний, азимуты *S*-волн согласуются с ориентацией главных осей напряжений. Поведение волновых характеристик низкочастотных волн отвечает анизотропии вязкоупругой среды. С увеличением флюидонасыщенности, понижением вязкости среды проявляется анизотропия затухания волн, наблюдается зависимость затухания *S*-волн от направления распространения и типа поляризации.

## Литература

- Биргер Б.И. Реологическая анизотропия мантии и затухание сейсмических волн // Физика Земли. 2006. № 11. С.15–28.
- Кузин И.П., Левина В.И., Левченко Д. Г., О.Н. Соловьева О.Н., Фленов А.Б. О скоростях волн *P* и *S* в зоне Бенъофа Южной Камчатки // Физика Земли. 2004. № 2. С.3–14.
- Лунева М.Н. Пространственно-временные изменения параметров расщепленных волн от местных землетрясений под Южной Камчаткой // Вулканология и сейсмология. 2008а. № 3. С.62–73.
- Лунева М.Н. Временные вариации параметров расщепленных *S*-волн от слабых местных землетрясений близкой локализации под восточным Хоккайдо // Физика Земли. 2008б. № 8. С.3–17.
- Лунева М.Н. Сейсмическая анизотропия и частотная зависимость параметров волн от слабых землетрясений в Курильской зоне субдукции // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12, № 1. С.55–62.
- Лунева М.Н., Ли Д.М. Анизотропия среды и временные вариации азимута поляризации быстрой *S*-волны под Южной Камчаткой в период 1993–2002 гг. // Физика Земли. 2006. № 4. С.40–56.
- Abers G. Hydrated subducted crust at 100–250 km depth // Earth Planet. Sci. Lett. 2000. V. 176. P.323–330.
- Bevis M. Seismic slip and down-dip strain rates in Wadati-Benioff zones // Science. 1988. V. 240. P.1317–1319.
- Cagnioncle A.M., Parmentier E.M., Elkins-Tanton L.T. Effect of solid flow above a subduction slab on water distribution and melting at convergent plate boundaries // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. B09402.
- Chen M., Tromp J., Helmberger D., Kanamori H. Waveform modeling of the slab beneath Japan // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. B02305. doi:10.1029/2006JB004394.
- Conrad C.P., Behn M.D., Silver P.G. Global mantle flow and the development of seismic anisotropy: Differences between the oceanic and continental upper mantle // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. B07317.
- Crampin S. A review of shear wave splitting in the compliant crack-critical anisotropic Earth // Wave Motion. 2005. V. 41. P.59–77.
- Fisher K.M., Jordan T.H. Seismic strain rate and deep slab deformation in Tonga // J. Geophys. Res. 1991. V. 96, N B9. P.14429–14444.

- Holt W.E.* Flow fields within the Tonga slab determined from the moment tensors of deep earthquakes // *Geophys. Res. Lett.* 1995. V. 22. P.989–992.
- Holtzman B.K., Kohlstedt D.L., Zimmerman M.E., Heilich F., Hiraga T., Hustoft J.* Melt segregation and strain partitioning: Implications for seismic anisotropy and mantle flow // *Science*. 2003. V. 301. P. 1227–1230.
- Jung H., Karato S.* Water-induced fabric transition in olivine // *Science*. 2001. V. 293. P.1460–1463.
- Kaminski E., Ribe N.M.* A kinematic model for the recrystallization and texture development in olivine polycrystals // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2001. V. 189. P.253–267.
- Kaminski E., Ribe N.M.* Timescales for the evolution of seismic anisotropy in mantle flow // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2002. V. 3, N 8. P.1051.
- Kaminski E.* Interpretation of seismic anisotropy in term of mantle flow when melt is present // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33.
- Kaneshima S.* Origin of crustal anisotropy: shear wave splitting studies in Japan // *J. Geophys. Res.* 1990. V. 95, B7. P.11121–11133.
- Katayama I., Jung H., Karato S.* New type of olivine fabric from deformation experiments at modest water content and low stress // *Geology*. 2004. V. 32, N 12. P.1045–1048.
- Kawakatsu H., Watada S.* Seismic evidence for deep-water transportation in the mantle // *Science*. 2007. V. 316. P.1468–1471.
- King S.D.* Subduction zones: observations and geodynamic models // *Phys. Earth Planet. Int.* 2001. V. 127. P.9–24.
- Levin V., Droznin D., Park J., Gordeev E.* Detailed mapping of seismic anisotropy with local shear waves in southeastern Kamchatka // *Geophys. J. Int.* 2004. V. 158. P.1009–1023.
- Liu E., Hudson J.A., Pointer T.* Equivalent medium representation of fractured rock // *J. Geophys. Res.* 2000. V. 105, N 2. P.2881–3000.
- Liu Y., Crampin S., Main I.* Shear wave anisotropy: spatial and temporal variation in time delay at Parkfield, Central California // *Geophys. J. Int.* 1997. V. 130. P.771–785.
- Long M.D., Hilst R.D.* Upper mantle anisotropy beneath Japan from shear wave splitting // *Phys. Earth Planet. Int.* 2005. V. 151. P.206–222.
- Nakajima J., Shimizu J., Hori S., Hasegawa A.* Shear wave splitting beneath the southwestern Kurile arc and northwestern Japan arc: A new insight into mantle return flow // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33, N 5. L05305.
- Peiton V., Levin V., Park J.* Mantle flow at a slab edge: seismic anisotropy in the Kamchatka region // *Geophys. Res. Lett.* 2001. V. 28. P.379–382.

*Сведения об авторе*

**ЛУНЕВА Маргарита Николаевна** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт тектоники и геофизики ДВО РАН. 680000, г. Хабаровск, ул. Ким-Ю-Чена, д. 65. Тел.: (4212)227-189. Факс: (4212)227-684, (4212)227-189. E-mail: margo@itig.as.khb.ru

## SEISMIC ANISOTROPY DISTRIBUTION BENEATH KAMCHATKA AND HOKKAIDO SUBDUCTION ZONES

M.N. Luneva

*Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS, Khabarovsk, Russia*

**Abstract.** Long-term monitoring of shear wave splitting parameters of small local events beneath the South Kamchatka and Eastern Hokkaido has enabled to estimate statistically anisotropy of medium and distinguish areas of different rheology and dynamic behavior. The study results testify about heterogeneous distribution of anisotropic properties with depth and along the arc, block structure of the medium in relation to rheological properties and as well about split shear wave parameter sensitivities to the strain state changes.

**Keywords:** seismic anisotropy, shear wave splitting, local earthquakes, Kamchatka, Hokkaido.