

УДК 550.341:550.311

## О МОЗАИЧНОСТИ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ЯДРА ЗЕМЛИ

© 2004 г. Академик В. В. Адушкин, В. М. Овчинников

Поступило 27.02.2004 г.

1. Наши представления о строении и динамике внутреннего ядра Земли стремительно меняются начиная с 1985 г., когда было установлено, что сейсмическая фаза РКР(DF) распространяется вдоль меридиональных (часто называемых полярными) трасс с большей скоростью, чем вдоль экваториальных трасс, примерно на 3%. Получены данные о дифференциальном вращении внутреннего ядра, существование которого приводит к представлению о границе между внутренним и внешним ядром, по крайней мере в реологическом плане, как переходной зоны [1].

В работах [2, 3] по изучению свойств отраженных волн РКiKP на расстоянии около  $6^\circ$  показано, что фаза РКiKP (волна, отраженная от границы между внешним и внутренним ядром) имеет сложный спектральный состав, позволяющий утверждать о присутствии в основании внешнего ядра тонкого переходного слоя. Этот результат не согласуется со сложившимся представлением о границе между внешним и внутренним ядром, опирающемся на результаты работы [4], как о резкой границе.

В сообщении приводятся сейсмические данные, показывающие, что структура этой границы по своим отражающим свойствам имеет мозаичный характер.

2. В соответствии со стандартной моделью PREM (IASP91, ak135) амплитуда фазы РКiKP меняется с эпицентральной расстоянием и наиболее существенной особенностью является инвертирование фазы на расстояниях от  $72^\circ$  до  $92^\circ$ . Основным фактором, определяющим инвертирование фазы, является скорость поперечных волн во внутреннем ядре. При этом вблизи эпицентральных расстояний  $72^\circ$  и  $92^\circ$  коэффициент отражения близок к нулю. При регистрации сейсмических волн вблизи этих расстояний можно получить информацию об отклонении или соответствии свойств отраженных волн характеристикам стандартных моделей Земли.

Мы использовали в работе сейсмограммы взрывов, проведенных на испытательном полигоне в штате Невада и зарегистрированных системой группирования “Крест” [5], расположенной на расстоянии  $89^\circ.5$  от полигона, а также сейсмограммы взрывов, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне и зарегистрированных станцией NWA0 в Австралии, на расстоянии около  $89^\circ.2$ . Чувствительность группы “Крест” составляла 0.3 нм/цифровой отсчет, а станции NWA0 – 0.000497 нм/цифровой отсчет. На рис. 1 показана зависимость амплитуды фазы РКiKP от расстояния для модели PREM. Видно, что в области около  $82^\circ$  амплитуда фазы РКiKP в 10 раз меньше амплитуд на расстояниях до  $5^\circ$ . На малых расстояниях получено, что  $A \approx 3\text{--}5$  нм [2] для взрывов с магнитудой  $m_b = 5.9\text{--}6.1$ . Таким образом, на расстояниях около  $90^\circ$  в соответствии с рассматриваемой стандартной моделью Земли следует ожидать, что амплитуда фазы РКiKP составит не более 0.5 нм. Такой сигнал на одиночном канале обнаружить нереально, так как уровень помех на выбранных станциях в 2–5 раз превосходит про-

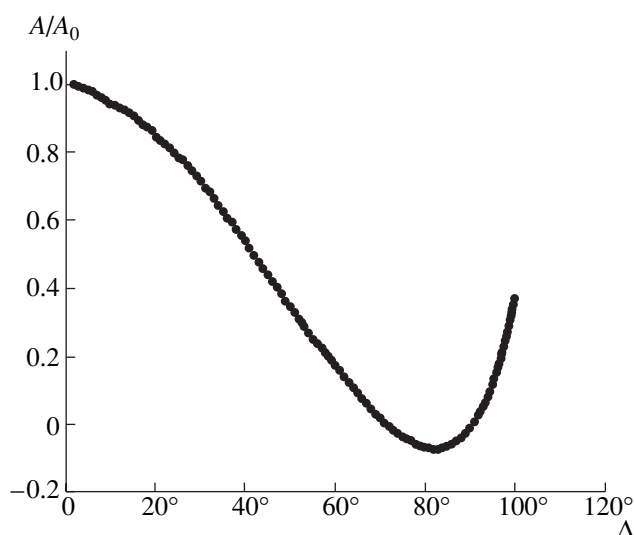


Рис. 1. Зависимость относительной амплитуды фазы РКiKP от эпицентрального расстояния для модели PREM.

Институт динамики геосфер  
Российской Академии наук, Москва

**Таблица 1.** Параметры взрывов, на сейсмограммах которых обнаружена фаза РKiKP

Дата, год.мес.день	Время в очаге ч:мин:с	Широта, градусы с.ш	Долгота, градусы з.д.	$m_b$
76.02.12	14:45:00.2	37.2714	116.4884	6.4
76.03.09	14:00:00.1	37.3100	116.3642	6.0

**Таблица 2.** Параметры взрывов, зарегистрированных станцией NWA0; результаты измерения времени вступления, амплитуды и периода фазы РKiKP

Дата, год.мес.день	Время в оча- ге, ч:мин:с	Широта, градусы с. ш.	Долгота, градусы в.д.	$m_b$	Время вступле- ния, ч:мин:с	Амплитуда, нм	Период, с
81.09.13	02:17:16.3	49.92	79.911	6.08	2:35:14.30	1.96	0.64
81.12.27	03:43:14.1	49.13	78.792	6.08	4:01:10.37	2.63	0.63
84.03.29	05:19:08.2	49.992	78.949	5.9	5:37:04.12	1.49	0.67

гнозируемую амплитуду фазы РKiKP (например, среднеквадратичный уровень шума на одиночном канале станции группирования “Крест” составляет около 3 нм в частотном диапазоне 0.9–3 Гц).

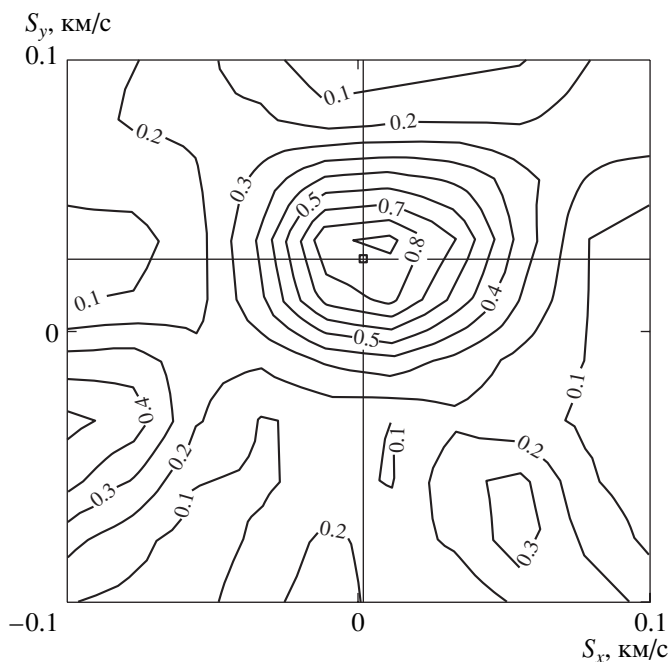
3. Данные станции группирования “Крест” позволяют провести частотно-волновой ( $f-k$ ) анализ и улучшить соотношение сигнал–шум для некогерентных помех примерно в 3–4 раза, а в случае когерентных помех, азимут либо скорость которых отличается от направления прихода и кажущейся скорости фазы РKiKP, это соотношение может

достигать большей величины. Методом  $f-k$ -анализа были обработаны сейсмограммы 8 мощных взрывов с магнитудой 5.8–6.4, проведенных на полигоне в штате Невада с 1976 по 1982 г. Только на сейсмограммах двух взрывов была обнаружена фаза РKiKP. Параметры этих взрывов приведены в табл. 1.

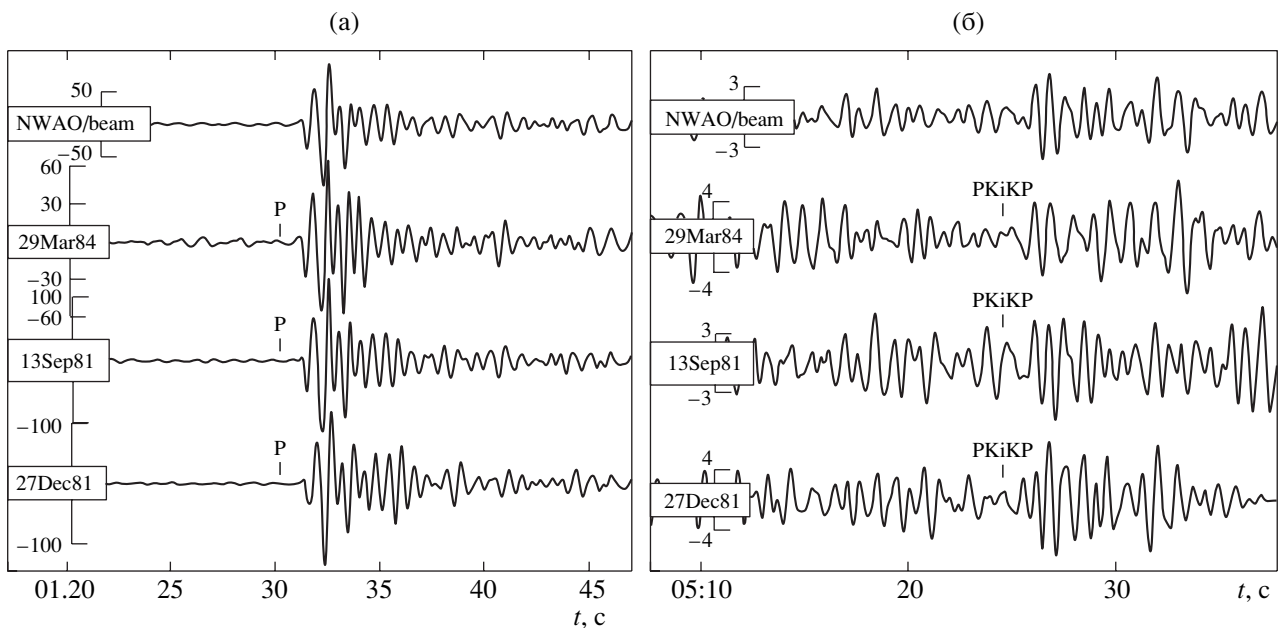
Результаты обработки методом  $f-k$ -анализа взрыва 12 февраля 1976 г. показаны на рис. 2. На нем отчетливо виден максимум, которому соответствуют величина обратной кажущейся скорости (slowness)  $s = 0.017$  с/км и азимут со станции на источник  $az = 14^\circ.5$ , что хорошо согласуется с прогнозируемыми параметрами, показанными на рис. 2 большим крестом. Проекция точки отражения на поверхность Земли имеет координаты  $82^\circ$  с.ш. и  $137^\circ$  з.д. В качестве времени вступления фазы принималась левая граница временного окна  $f-k$ -анализа, когда появляется максимум, показанный на рис. 2. При дальнейшем смещении положения временного окна максимум сохранялся в течение 0.5 с. Амплитуда обнаруженной фазы РKiKP составила 1 нм. Если привести это значение амплитуды к магнитуде 6.0, получим, что амплитуда должна составлять около 0.4 нм.

На записях взрывов с магнитудой 5.8 и 5.9 фазу РKiKP обнаружить не удалось. Видимо, амплитуда фазы не превосходила 0.3 нм – предела чувствительности одиночного канала группы. Таким образом, данные станции группирования “Крест” показывают, что они не противоречат характеру изменения амплитуды, представленному на рис. 1.

4. На станции NWA0 нам удалось отыскать только три сейсмограммы взрывов, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, длительность которых включала времена вступления фазы РKiKP. Параметры взрывов приведены в табл. 2. Обработка данных состояла только в применении полосовой фильтрации с граничными час-



**Рис. 2.** Спектр мощности в плоскости волновых чисел  $S_x$ ,  $S_y$ . Максимуму спектра соответствуют азимут со станции на эпицентр  $14^\circ.5$  и кажущаяся скорость фазы РKiKP 60 км/с. Квадратом отмечено положение фазы РKiKP в соответствии с моделью PREM.



**Рис. 3.** Фрагменты сейсмограмм взрывов на Семипалатинском полигоне, зарегистрированные станцией NWAO в Австралии: а – фрагмент с фазой P; б – фрагмент с фазой PKiKP. Верхняя трасса (NWAO/beam) – результат суммирования трех нижних трасс.

тотами 1 и 5 Гц и крутизной спада характеристики фильтра по 3-й степени. Результаты показаны на рис. 3. Из него хорошо видно, что вступления фазы PKiKP отчетливо видны на всех трех сейсмограммах и хорошо синхронизированы по времени вступления. Вступления фазы доминируют по амплитуде как на временах, предшествующих вступлению, так и на последующих временах. Таким образом, данные станции NWAO позволяют уверенно утверждать о присутствии фазы PKiKP. Проекция точки отражения на поверхность Земли имеет координаты  $8^{\circ}.9$  с.ш. и  $101^{\circ}.1$  в.д.

Так как измеренные значения амплитуды на станции NWAO существенно отличаются от амплитуд, полученных на группе “Крест”, мы заключаем, что в области отражения фазы PKiKP на трассе Семипалатинск–NWAO свойства отражающей границы значительно отличаются от свойств области отражения на трассе Невада–“Крест”. Подтверждением наших выводов о мозаичном характере отражения служат также данные работы [6], где исследовались времена пробега фазы PKiKP, точки отражения которой в основном проецируются на Юго-Восточную Азию. В этой работе приведены данные о временах пробега фазы PKiKP, причем значительная часть (49%) землетрясений имела  $m_b < 5$ . Мы полагаем, что обнаружение волн PKiKP от довольно слабых землетрясений связано в основном со свойствами отражающей границы, а не с применением, как полагают авторы, данных сейсмических групп и методов групповой обработки.

Таким образом, представленные экспериментальные данные указывают на мозаичность отражающих свойств на границе между внешним и внутренним ядром Земли, обусловленную либо неровностями рельефа, создаваемого восходящими и нисходящими конвективными потоками вещества во внешнем ядре, либо более высокой температурой областей внутреннего ядра Земли, где наблюдаются аномально большие амплитуды отраженных волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда гражданских исследований и развития (CRDF), грант RG2–2352–MO–02, и Российского фонда фундаментальных исследований, проект 02–05–65002.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aristeidis O., Creager K.C.* // *Geophys. Res. Let.* 2001. V. 28. № 22. P. 4331–4334.
2. *Адушкин В.В., Ан В.А., Овчинников В.М. и др.* // *ДАН.* 1997. Т. 354. № 3. С. 382–385.
3. *Авсюк Ю.Н., Адушкин В.В., Овчинников В.М.* // *Физика Земли.* 2001. № 8. С. 64–75.
4. *Адушкин В.В., Ан В.А., Овчинников В.М.* // *Физика Земли.* 2000. № 12. С. 3–26.
5. *Engall E.L., Flinn E.F., Masse R.P.* // *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1974. V. 39. P. 457–463.
6. *Cooper K.D., Pyle M.L., Franks J.L.* // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108. № B3. P. ESE 12-1–12-15.