Нзвестия АН Арм. ССР, Науки о Земле, ХХХІІІ, № 6, 28-42, 1980

УДК 550.347.62(479)

### Б. Ц. ЕРЕМЯН, Д. Н. СИХАРУЛИДЗЕ, Н. П ТУТБЕРИДЗЕ

# ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ДИСПЕРСИОННЫЕ ВОЛНЫ *PL* II ВОПРОСЫ ЗЕМНОП КОРЫ МАЛОГО КАВКАЗА

Рассматривается формирование высокоскоростных просачивающихся дисперсионных воли типа *PL* на различных эпицентральных расстояниях. Проанализированы и выявлены свойства воли *PL* основных тонов и обертонов, сформированных в различных слоях земной коры и в целом в коре и верхней мантии. Исследована дисперсия групповых и фазовых скоростей воли *PL* с целью определения строения земной коры Малого Кавказа. Сопоставлены результаты о строении земной коры этогоо района, полученные по волнам Лява. Релея и *PL*,

Объемные волны при распространении в слоистых средах претерпевают отражения и преломления от поверхности раздела слоев, благодаря чему на пути распространения воли наблюдаются явления интерференции. На основе интерференционных явлений формируются различные типы дисперсионных поверхностных волн. Ими являются нормальные поверхностные волны Релея и Лява основных тонов и обертонов. Исследование особенностей дисперсии групповых и фазовых скоростей этих волн дает возможность изучить внутреннее строение Земли. Экспериментальная дисперсия этих волн была успешно использована для изучения строения земной коры и верхней мантии Кавказа и сопредельных территорий [1, 4]. В результате интерференции объемных воли формируются также и высокоскоростные просачивающиеся дисперсионные волны типа РІ. Возникновение этих воли связывается с интерференционным явлением продольных и обменных волн. При однослойной модели, когда скорости продольных волн слоя и полупространства удоблетворяют условию а1 < с < а2. для фазовой скорости с воли PL выполняется неравенство в2 < с < а2. Ввиду того, что скорость воли PL больше скорости воли в нижней среде, надо полагать, что формирование этих воли должно произойти, в первую очередь, в результате интерференции многократно отраженных за предельным углом волн Р и обменных волн [4, 5, 7, 8]. Нормальные поверхностные волны Релея и Лява полностью захвачены в волноводе слой-полупространство.

В отличие от этих типов волн, *PL* волны частично захвачены в эту систему и рассеивают свою энергию в полупространстве в виде поперечных волн SV (просачивающаяся мода). Это происходит вследствие того, что волны *PL*, сформированные в волноводе, имеют

фазовую скорость большую, чем поперечные волны в полупространстве. В зависимости от увеличения расстояния просачивание энергии в полупространство за счет поперечных воли уменьшается.

Волны *PL* являются волнами релеевского типа, с той разницей, что в формировании этих воли не участвуют поперечные волны, отраженные углом, больше критического. Они распространяются с более высокой скоростью, чем релеевские поверхностные волны и затухают быстрее в завиеммости от расстояния. Ввиду того, что в процессе формирования волн *PL* в основном принимают участие продольные волны, они, в отличие от нормальных поверхностных воли более чувствительны к скоростной структуре сжатия, чем к сдвиговой. Совместное использование дисперсни скоростей нормальных поверхностных воли и воли *PL* дает возможность более детально изучить строение коры и верхней мантии Земли.

Для интерпретации наблюдений дисперсии скоростей воли PL используются теоретические дисперсионные кривые, полученные приближенными методами Оливера-Майора и Су-Дормана [7, 8]. Теория просачивающейся моды объясняет дисперсию воли PL введением комплексных корней. Главным преимуществом метода Су-Дормана является то, что он дает дополнительную информацию о движении частиц и об относительных амплитудах прогнозируемых вступлений, как функций фазовой скорости и периода. Доказано, что решения с помощью этих методов согласуются с комплексными корнями, когда мнимые части корней очень малы. Отсюда вытекает, что помимо геометрического расхождення и поглощення, мнимая часть комплексных корней вызывает еще и затухание волн. Оливер и Майор указали путь приближенного нахождения дисперсионной кривой просачивающейся моды. Удобный метод вычисления теоретической дисперсии групповых и фазовых скоростей приведен в работе [4, 5]. Полученные по этому методу теоретические дисперсионные кривые используются нами при интерпретации наблюденной дисперсии скоростей.

### Анализ наблюдений

Исследовались волны *PL*, наблюденные на различных эпицентральных расстояниях. С целью выяснения возможности нахождения эпицентров землетрясений по волнам *PL* обработаны записи землетрясений (табл. 1).

Азимут на эпицентр определяется как направление, совпадающее с направлением смещений в данной волне. Использовались четкие записи волн *PL* (рис. 1). Сопоставление определенных координат эпицентров землетрясений по объемным волнам и волнам *PL* дают в пределах погрешности одни и те же значения (табл. 1).

Волны PL, подобно волнам Релея, имеют вертикальное и горизонтальное смещения. Исследование характера движения частиц при прохождении данных воли показывает, что они поляризованы в вертикальной плоскости и имеют вертикальную и горизонтальную компоненты

смещения вдоль распространения. Движение частиц в основном ретроградно-эллиптическое. Подобно нормальным волнам, наблюдаются разные группы волн PL. Минимальные расстояния, на которых могут наблюдаться волны PL,

$$\Delta = \frac{(2H - h)a_1}{1 \ \overline{a_2^2 - a_1^2}}$$

Анализ записей групп волн PL, сформированных на различных эпицентральных расстояниях, показывает, что они являются волнами нормальной дисперсии и их групповые и фазовые скорости больше скоростей нормальных поверхностных волн соответствующих групп. Изуче-



Haruvebon 19 00 1962 -LANA AND AN UNITED PLANTIN, JUNI MALINI

Рис. 1. Запись воли PL

Таблица І

Результаты определения элементов землетрясений по материалам сейсмической станции 4 «Ереваи»

				K	оординаты	э ицентр	Domona	Азимут на			
Ne n/n		Дата м.		<b>ПО ВО</b>	лнам	по волнам		ральное	атнатние		
	ч.		r.	₽ <sup>0</sup> N	1. <mark>0</mark> 1.E	φ0 * Λ	LO E	расстояние 2	<b>r</b> _P^0	a <sup>0</sup> <sub>PL</sub>	
12345678910	05 28 19 27 31 11 09 25 12 02	09 04 09 01 12 03 11 05 03 01	53 58 62 63 63 64 68 74 77	41,6 38,8 39,9 40,8 38,6 42,4 39,8 40,7 35,4 39,5	47.7 44,4 44,2 49,8 45,5 44,9 48,5 42,2 44,1 43,7	41,0 38,8 39,7 <b>&lt;0,7</b> 38,5 42,5 38,5 40,6 38,3 39,4	47,2 44,0 44,0 49,6 45,5 45,5 45,0 48,5 42,6 43,9 43,4	265 181 138 333 190 247 444 103 190 100	46 213 316 53 123 28 146 323 211 231	15 214 315 52 122 26 148 324 212 230	

ние зависимости для различных групп пормальных поверхностных волн показывает, что интенсивные колебания наблюдаются на тех участках записи, которым на дисперсионных кривых соответствуют экстремумы. Для различных групп пормальных поверхностных волн с наибольшими амплитудами на записях выявляется фаза Эйри. Для волн *PL* эта фаза не наблюдается. В работах [4, 5, 7, 8] указывается, что процесс формирования волн Релея и волн *PL* следует рассматривать как единое волновое явление, возникшее на основе интерференции волн *P*, *SV*, а также обменных волн. Устанавливаемая этими волнами интерференционная картина содержит колебания, принадлежащие волнам Релея и волнам *PL*. Теоретические дисперсионные кривые групповых скоростей волн *PL*, построенные для однослойной модели, не имеют минимума. Тем самым может быть объяснено отсутствие колебаний, соответствующих фазе Эйри на записях волн *PL* [4, 5, 7, 8].

Как правило, при всех зарегистрированных землетрясениях основ- • ная часть записи принадлежит нормальным поверхностным волнам. Волны PL не всегда отмечаются на сейсмограммах.

Анализ экспериментальных материалов показывает, что интенсивность появления волн PL обусловлена характером очага землетрясений и зависит от направленности излучения энергии. Это вытекает из того, что волны PL наблюдаются не на всех сейсмических станциях, расположенных вокруг эпицентров землетрясений. Самые интенсивные колебания в волнах наблюдаются при землетрясениях, когда в очагах имеется движение типа сброса или взброса (табл. 2). Вероятно, это происходит потому, что при таких типах очагов более интенсивно излучаются волны P и SV. Формирование этих волн, кроме характера очага землетрясения, обусловлено особенностями строения среды, и они быстро затухают с возрастанием расстояния. Поэтому наблюдательный материал по этой волне гораздо меньше, чем материалы нормальных поверхностных волн. Следует отметить, что помимо других условий, при формировании волн PL особую роль играет также глубина очага землетрясений. Использованные нами для исследования записи основного тона волн PL сформированы при поверхностных очагах землетрясений (табл. 2, 3) [5]. Все гипоцентры землетрясений, приведенные в табл. 2, 3, имеют глубину h < 25 к.н. В земной коре четко сформированные обертоны наблюдаются при более глубоких очагах h > 30 км (табл. 5).

На основе анализа экспериментальных материалов выявлены следующие свойства воли PL:

I. Волны *PL* наблюдаются между вступлениями головных *P* и *S*. На близких эпицентральных расстояниях их запись может продолжаться до вступления воли Penes. Разность времен пробега первого длинно-периодного колебания воли *PL* и *P* зависит от эпицентрального расстояния. В частности, с возрастанием эпицентрального расстояния увеличивается разность времен пробега этих фаз.

2. Сформированные в слоистых средах волны PL обусловлены особенностями очагов землетряссний. Четко сформулированные волны PL

наблюдаются при таких типах очагов землетрясении, когда имеется сброс или взброс. На различных азимутах с эпицентра волны PL наблюдаются с разными интенсивностями.

3. На всех исследуемых записях воли PL не наблюдается фаза Энри. Интенсивно вступают начальные колебания воли PL.

4. Траектория движения частиц в волнах PL, подобно волнам Релея, представляет собой ретроградные эллинем.

Таблица 2

		Влемя в	Коорд	инаты		Вил подвижки
_N₂ π/n	Дата Ч. М. Г-	очаге Ч. М. С.	ę0	$\lambda^0$	M	
1 2 3 4 5 6 7 8 9	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{r} 41,0\\ 41,3\\ 41,2\\ 41,1\\ 41,3\\ 41,3\\ 41,3\\ 41,3\\ 41,1\\ 41,1\\ 41,1\\ 41,2 \end{array} $	44,3 44,0 43,8 43,7 43,9 44,0 43,9 43,6 43,6 43,8	3.5	
10 11 12 13 14 15 16 17	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	41.1 41.2 41.3 41.0 41.2 41.5 41.5 41.4 41.3	43,9 43,9 44,1 44,0 44,0 44,2 44,0 44,0 44,0	3,5 4,0	
18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 31 32 33 34	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	41.2 $41.3$ $41.3$ $41.3$ $41.5$ $41.5$ $41.4$ $41.3$ $41.4$ $41.3$ $41.4$ $41.3$ $41.4$ $41.3$ $41.3$ $41.3$ $41.3$ $41.3$ $41.3$	$\begin{array}{r} 44,0\\ 44,0\\ 43,9\\ 44,1\\ 43,6\\ 43,9\\ 42,2\\ 43,4\\ 43,3\\ 44,1\\ 44,0\\ 43,5\\ 43,7\\ 44,0\\ 43,9\\ 44,0\\ 43,9\\ 44,0\\ 43,97\end{array}$	4,4 4,4 4,4 4,0 5,1 4,5 4,5 4,5 3,6 3,5 4,0 2,8 3,3 3,3 3,3	<ul> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Baópoc</li> <li>Baópoc</li> <li>Baópoc</li> <li>Baópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Baópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Baópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Baópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> <li>Cópoc</li> </ul>

Землетрясения Джавахетского нагорья (глубина очага h < 25 км)

5. Наблюдаются различные группы воли PL основных тонов и обертонов, сформированных в различных слоях земной коры и в целом в коре и верхней мантии. Дисперсия в этих группах воли нормальная.

6. С увеличением эпицентрального расстояния в волнах PL наблюдается более быстрое убывание амплитуд по сравнению с нормальными поверхностными волнами.

7. По амплитудам волн *PL* можно определить достаточно точно эпицентр землетрясения, если на пути распространения волн не имеется горизонтально-неоднородное строение.

8. Интенсивные колебания основного тона волн PL наблюдаются при поверхностных очагах землетрясений; с увеличением глубины очага их интенсивность уменьшается, а обертонов—возрастает.

## Групповые и фазовые скорости различных групп волн

Большинство сейсмических станций Кавказа оснащены длиннопериодными сейсмографами, позволяющими регистрировать различные группы волн PL, сформированных в различных слоях земной коры и в целом в земной коре. Для исследования использованы материалы сейсмических станций, расположенных на территории Малого Кавказа: «Ереван», «Ленинакан», «Тбилиси», «Степанаван», «Горис», «Кировабад», «Нахичеван», «Бакуриани».

Таблица 3

й 1/П	Дата м. ч. г.	Дата Время в очате 2 3		ина-	M	Сейсмостанция, расстояние (к.м)	
	2			<u>λ</u> α 5	b	7	
12345678901123415678901123456789011234567890112345678901123456789011234567890112345678901123456789031333455678903133334556789031333345567890313333455678901123455678903133334556789011234556789011234556789011234556789011234556789011234556789011234556789011234556789011234556789011333345567890112345567890113333455678901133334556789011333345567890113333455678901133334556789011333345567890113333455678901133334556789011333345567890113333345567890113333345567890113333345567890113333345567890113333345567890113333345567890113333334556789000000000000000000000000000000000000	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	14 $34$ $20$ $18$ $54$ $05$ $07$ $20$ $32$ $07$ $35$ $21$ $15$ $46$ $36$ $18$ $41$ $50$ $22$ $34$ $46$ $13$ $52$ $32$ $19$ $01$ $08$ $05$ $52$ $37$ $04$ $36$ $33$ $18$ $29$ $40$ $17$ $10$ $00$ $07$ $01$ $06$ $20$ $07$ $42$ $17$ $14$ $41$ $08$ $02$ $38$ $14$ $22$ $40$ $13$ $50$ $16$ $11$ $22$ $30$ $08$ $24$ $00$ $13$ $57$ $51$ $14$ $20$ $06$ $18$ $(0$ $56$ $11$ $55$ $25$ $14$ $53$ $09$ $02$ $15$ $05$ $12$ $15$ $33$ $14$ $13$ $56$ $14$ $03$ $45$ $17$ $19$ $02$ $04$ $36$ $40$ $15$ $18$ $08$ $00$ $04$ $44$ $18$ $41$ $16$	39.1 39.2 40,4 39.1 39.7 50,0 37,0 39.1 41.0 27.5 29,0 38.8 39.5 30,0 38.5 30,0 38.5 38.8 34.0 34.5 38.3 32.0 36.5 38.3 38.5 39.2	$\begin{array}{c} 44,6\\ 41.7\\ 43.3\\ 44,4\\ 42,0\\ 36,0\\ 50,0\\ 44,1\\ 30,0\\ 54,0\\ 52,0\\ 44,4\\ 41.3\\ 51,0\\ 44,7\\ 44.6\\ 48,5\\ 59,5\\ 45,3\\ 49,0\\ 51.5\\ 43,7\\ 41.0\\ 44,1\\ 44,2\\ 44.9\\ 41,0\\ 41,5\\ 44,9\\ 41,0\\ 44,1\\ 44,2\\ 44.5\\ 45,5\\ 45,5\\ 45,5\\ 41,6\\ 41,5\\$	4,5 4,6 4,6	Γμc (155)         Eps (265)         Eps (106)         Eps (120)         Eps (229)         Eps (727)         Fpc (878)         Kp6 (879)         ixw (470)         Eps (121)         Fpc (1398)         Kp6 (1365)         Eps (1221)         Fpc (1398)         Kp6 (1365)         Eps (1663)         Fpc (1500)         Kp6 (1619)         Eps (1663)         Fpc (1272)         Kp6 (1388)         Eps (1653)         Fpc (1272)         Kp6 (1388)         Eps (155)         Fpc (183)         Hxu (99)         Eps (1262)         Kp6 (1258)         Hxu (190)         Eps (155)         Eps (155)         Eps (1015)         Fpc (855)         Eps (102)         Hxu (130)         Kp6 (225)         Hxu (130)         Kp6 (225)         Hxu (130)         Kp6 (225)         Hxu (130)         T6л (207)         Eps (341)         T6л (511)         Eps (190)	

Землетрясения Турции и Ирана (глубина очага 25 км)

1	2	3	4	5	6	7
38 39 40 41 42 43 44 45 45 45 45 47 48 49 50	20       08       1966         27       09       1966         26       12       1965         17       05       1967         25       05       1968         17       02       1970         14       03       1970         17       03       1970         17       03       1970         17       03       1970         17       03       1970         17       03       1970         12       03       1973         05       11       1973         12       03       1974         02       01       1977         06       04       1977	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	39,7 38,7 38,8 38,6 40,7 38,5 38,6 38,5 38,6 38,7 37,9 37,6 38,4 39,5 31,6	44,1 44,5 40,9 44,2 42,2 43,3 44,8 43,3 44,8 43,3 42,8 42,7 44,1 43,7 50,5	4,4 4,6 5,1 5,2 4,9 4,7 6,1	Тбл (439) Ерв (150) Ерв (330) Ерв (203) Дшт (260) Дшт (416) Тбл (347) Тбл (340) Ерв (27с) Лнн (313) Стп (352) Ерв (327) Лнн (375) Стп (408) Ерв (190) Лнн (255) Стп (275) Ерв (199) Ерв (1099) Грс (966) Крб (108)

Были отобраны качественные материалы этих станций, полученные в 1952—1977 гг. На используемых сейсмограммах выявлены группы воли *PL*. характеризующихся различными особенностями дисперсии скоростей. Результаты исследования по отдельным группам воли *PL* приводятся ниже. Определение групповых скоростей осуществлялось по формуле:

$$U(T_1)=\frac{\Delta}{t_1-t_0},$$

где t<sub>1</sub> — время прихода колебания, а t<sub>0</sub> — время в очаге. Когда станции относительно эпицентра находятся в створе, фазовые скорости для данного периода определяются отношением разности эпицентральных расстояний к разности времен вступления одинаковых фаз на сейсмических станциях:

$$C = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1},$$

Фазовые скорости внутри треугольников, в вершинах которых раслоложены сейсмические станции, определяются следующим образом. Предположим, что направление движения волнового фронта, который распространяется с фазовой скоростью *с*, образует со стороной треугольника I—II какой-то угол  $\varphi$ . Обозначим время появления волнового фронта на станциях 1, 2, 3 соответственно через  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ . Время пробега волны с I по II обозначим через  $t_{12}$ ,  $t_{13}$  соответственно. При таких условиях фазовую скорость можно вычислить по формуле:

$$C = \frac{\sin\beta}{\sqrt{\left(\frac{t_{12}}{d_{12}}\right)^2 + \left(\frac{t_{13}}{d_{13}}\right)^2 - 2\left(\frac{t_{12}}{d_{12}}\right)\left(\frac{t_{13}}{d_{13}}\right)\cos\beta}}$$

где d<sub>12</sub> и d<sub>13</sub>— расстояния между сейсмическими станциями I и II, I и III. β—угол между отрезками d<sub>12</sub> и d<sub>13</sub>.

При определении дисперсии скоростей принимались во внимание поправки, вызванные фазовым сдвигом инструмента. Ошибки при оп-

ределении скоростей могут иметь систематический характор при: 1) вычислении фазовых характеристик приборов; 2) неточном определении времени вступления вершин и впадии соответствующих колебаний; 3) определении поправки времени и др. [1, 4]. Эти ошибки могут быть незначительными, если имеются четкие записи волн *PL* на однотипных идентифицированных приборах.

1. Волны PL, сформированные в осадочном комплексе Определены групповые скорости вдоль некоторых профилей распространения группы волн PL, сформированных в осадочном комплексе Малого Кавказа. При Джавахетских землетрясениях на сейсмических станциях «Ереван». «Тбилиси» волны PL появляются сразу после вступления волн P или с опозданием на 1—3 сек. Периоды волн PL для этой эпицентральной зоны землетрясений на станции «Тбилиси» T=3, 5—10 сек. групповые скорости U=2,8-4,7 км/сек. Соответственно на сейсмостанции «Ереван» T=4-11 сек; U=2,7-4,8 км/сек (рис. 2). На рис. 2 дается сопо-



Рис. 2. Группоные скорости PL воли, сформированных в осадочном комплексе: а) Джавахетское нагорьс—«Тонлиси»; б) Джавахетское нагорье— «Еренан»

ставление экспериментальных данных дисперсии с теоретическими для трассы эпицентральная зона Джавахетского нагорья— сейсмические станции «Тбилиси» и «Ереваи». Наблюдена дисперсия волн L, для этих же трасс [4]. Мощность седиментного комплекса, определенная по обоитм типам волн, L, и PL. одна и та же.

Определены групповые скорости волн PL на трассе близлежащие эпицентры землетрясений Турции и Прана— сейсмические станции «Ереван», «Нахичеван», «Горис», «Кировабад» с эпицентральными расстояниями  $\triangle < 300 \ \kappa$ м. На сейсмограммах этих землетрясений наблюденные значения периодов в волнах *PL* меняются в пределах 4+12 *сек*. Соответствующие групповые скорости 2,6+4,8 *км/сек*. Наблюденная дисперсия групповых скоростей на упомянутых сейсмических станциях в пределах погрешности одна и та же, поэтому ее значения нанесены вместе на рис. 3. Исследована дисперсия групповых скоростей по нор-



Рис. 3. групповые скоронти PL волн, сформированных в осадочном комплексе Турция, Иран (h < 200 км) — сейсмостанции «Ереван», «Кировабад», «Нахичеван».

мальным поверхностным волнам [4]. Результаты определения мощно-

сти осадочного комплекса, полученные по волнам PL и L на рассмотренных трассах в пределах точности совпадают.

2. Волны PL, сформированные в верхних слоях земной коры. Эта группа волн PL сформирована на сравнительно больших эпицентральных расстояниях, чем I группа волн,  $\Delta = 300-1000$  км. Группа волн наблюдена при землетрясениях Кавказа, Ирана и Малой Азии и своими дисперсионными свойствами отличается от остальных групп волн; наблюденный диапазон периодов в этом случае шире, чем в I группе, T = 10-24 сек. Соответствующие прупповые скорости меняются -U = 3,0-5,0 км/сек. Значения групповых скоростей, определенные по отдельным трассам до сейсмических станций «Ереван», «Горис», «Нахичеван», «Кировабад», «Ленинакан» не меняются в больших пределах. Сопоставление экспериментальной дисперсии с теоретической дается на рис. 4. Хорошее сопоставление экспериментальной дисперсии с теоретической получается при  $h = 17 \pm 3$  км.

По этой группе волн определены фазовые скорости внутри треугольника расположения сейсмических станций «Кировабад», «Ереван», «Горис». Сопоставление экспериментальной дисперсии с теоретической приводится на рис. 5. Полученные данные об общей мощности в верхних слоях земной коры (осалочного комплекса и гранитного слоя) в этом районе согласуются с данными, полученными по волнам L, и L,

3. Волны PL, сформированные в земной коре. При интерпретации экспериментальных данных дисперсии скоростей использованы теоретические дисперсионные кривые, построенные для однослойной модели земной коры. При создании теоретической модели использовались данные о физических параметрах строения земной коры изучаемого района [1-4, 6]. Для территории Малого Кавказа по дисперсии скоростей основного тона и обертона нормальных поверхностных воли получены следующие модели строения земной коры [1, 4].



Рис. 4. Групповые скорости РL воли, сформированных в верхних слоях земной

коры (осадочный и пранитный).



Рнс. 5. Фазовые скорости PL волн, сформированных в верхних слоях земной коры (осадочный и гранитный).

Из этой модели получена однослойная модель путем осреднения упругих параметров сред. Для однослойной модели имеем следующие значения скоростей поперечных и продольных волн и плотностей соот-

ветственно:  $a_1 = 3,35$  км/сек,  $a_2 = 4,60$  км/сек,  $a_1 = 5,80$  км/сек,  $a_2 = 8,00$ км/сек,  $\rho = 2,69$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_2 = 3,3$  г/см<sup>3</sup>.

При некоторых сильных землетрясениях (М 6) Арктики и восточной части Азиатского континента на Кавказских сейсмических станциях наблюдается сформированный в земной коре первый обертон волн PL Эти волны на указанных сейсмических станциях зарегистрированы четко, с большими амплитудами, несмотря на то, что утечка энергии в

Таблица 4

Модель упругих параметров земной коры и подкорового субстрата для Малого Кавказа

Мошность слоя,	Скорость попереч-	Скорость продоль-	Плотность, г с.из
к.ч	ных волн, кли сек	ных волн, к.м. сек	
3-6 14 10 19	2,19 3,21 3,56 3,86 4,60	3,79 5.65 6,16 6,86 8,00	2,50 2,63 2,70 2,85 3,30

подкоровом субстрате Земли должна вызвать большое затухание волн. В отличие от этого основной тон волн *PL* выявляется гораздо слабее, из-за чего трудно их исследовать. Эпицентральные расстояния рассмотренных землетрясений, на которых наблюдены волны *PL*<sub>м,</sub>, больше 4000 км. Дисперсионные особенности волн *PL*<sub>м</sub>, указывают на то, что на таких эпицентральных расстояниях они сформированы в земной коре. На-

блюденный диапазон периодов волн меняется в пределах T = 6 - 18 сек. Колебания волн  $PL_{w}$ , выявляются как на вертикальной, так и на горизонтальной компонентах и частица в них совершает движение по ретроградным эллипсам, имеющим разные наклоны относительно плоскости распространения волн  $PL_{w}$ . Сдвиг фаз между вертикальной и горизонтальной компонентами записи волн  $PL_{w}$ , подобно волнам Релея, составляет  $\frac{\Pi}{2}$ .

Как было выявлено в работе [8], началом вступления различных групп обертонов нормальных поверхностных волн является вступление головных поперечных волн. В этом случае началом вступления групп обертонов волн *PL* является вступление головных продольных волн. По методу первых вступлений различных групп обертонов волн *PL* можно построить разрез скоростей продольных волн. Очевидно, обертоны нормальных поверхностных волн можно назвать поперечными обертонами, а обертоны волн *PL*— продольными. Изучение особых типов обертонов дисперсионных интерференционных поверхностных воли дает надежную гарантию точного построения скоростного разреза земной коры и верхней мантин продольных и поперечных воли изучаемого региона. Волны  $PL_{\mu}$  имеют фазовые скорости выше, чем скорости поперечных воли в подкоровом субстрате. Значение групповых скоростей этой группы обертона меняется в пределах  $U=6,0-8,0~\kappa m/ce\kappa$ . Наблюденная дисперсия воли  $PL_{\mu}$  использовалась для определения фазовой скорости на восточной территории Малого Кавказа с целью определения строения земной коры в этом регионе. Для исследования использовались записи сейсмических станций «Ереван», «Тбилиси», «Ленинакан», «Степанаван», «Горис», «Нахичеван», «Бакуриани». Этими сейсмическами станциями покрыта изучаемая территория Малого Кавказа. Фазовые скорости между сейсмическими станциями определены внутри территории треугольников расположения сейсмических станций.

Экспериментальные данные фазовых скоростей обертона волн PL, , наблюденные при землетрясениях (табл. 5), сравнены с теоретическими. Кривые теоретической фазовой скорости базируются на модели, приведенной в табл. 4.

Таблица 5

Ne	1 are		Время в		B	Коорд	инаты	Глубина очага		
пп		A d l E			учаге	2	Ϋ́O	20	ћ в к.м	
1	04	0.2	1071	15	22	30	0.80	48 6B	120	
2	20	02	1072	na	-00	58	33 60	140.88	30-35	7.3
4	04	02	1472	07	48	19	15 910	157 2B	50	6.6
1	28	05	1072		55	28	9,960	116 860	40	6.4
5	28	06	1079	00	49	32	27.60	33.7B	10	5.5
6	08	00	1972	11	34	13	71.10	9.83		6.2
7	31	01	1973	50	55	55	28.3C	139.3B	515	
8	04	03	1973	17	57	47	54.9C	161.3B	50	6.2
g	03	07	1973	16	59	32	58.4C	138.51		6,1
10	01	08	1973	01	31	28	14.2K)	167.1B	170	
11	17	10	1973	03	16	18	36.4C	71.1B	220	
12	02	01	1974	10	42	28	22,610	6,83	80	7,0
13	10	05	1974	19	25	19	28,4C	TO, 4B		6,7
14	62	07	1974	23	26	28	29,210	176,33		7,1
15	03	07	1974	23	25	16	- 29,3KO	176,03	80	6,2
16	04	07	1974	19	30	37	45.1C	93,9B		6,9
17	08	07	1974	05	45	38	36,7C	141,1B		6,5
18	29	07	1974	03	15	15	46,9C	152,4B		6,5
19	16	10	1974	05	45	17	53,3C	30,93		6,9
20	29	10	1971	03	14	17	7,210	128,5B	150	
21	29	11	1974	:22	05	22	30,7C	138,4B	420	
22	03	12	1974	03	()6	36	4,9Ю	130,0B		6,3
23	04	12	1974	03	07	51	0.60	97,7B	50	0,7

Данные о землетрясениях

Из рис. 6 видно, что самое лучшее сопоставление экспериментальной дисперсии с теоретической получается при  $H = 47 \pm 3 \ \kappa M$ .

Исследована дисперсия фазовых скоростеи воли Лява и Релея для Малого Кавказа [1, 4].

Сопоставление результатов о строении земной коры этого района, полученных по волнам L<sub>R</sub>, L<sub>O</sub> и PL, дает хорошее согласие.



Рис. 6. Фазовые скорости первого обертона воли PL, сформированных в земной коре.

### Заключение

На основе синфазного наложения многократно отраженных от границ слоев волн P и SV формируется интерференционное явление. Это єдиное установившееся явление включает в себя возникновение волн Релея и PL. Высокоскоростные просачивающиеся волны PL являются частью общего интерференционного явления, сформированного отраженными за критическими углами волн P и обменных. Сравнительно низ-

коскоростные волны Релея, составляющие это явление, сформированы волнами P и SV. Волны Релея и PL представляют собой однотипные волны. Различие в них заключается в том, что волны Релея полностью захвачены в волноводе слой—полупространство и более чувствительны к волнам сдвига; а волны PL частично захвачены в эту систему и рассеивают свою энергию в полупространстве в виде волн SV и более чувствительны к волнам сжатия. Совместное исследование волн PL,  $L_0$  и  $L_p$  дает возможность более детального изучения среды.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР

Поступила 8. VIII. 1980.

Բ. 8. ԵՐԵՄՅԱՆ, Դ. Ի. ՍԻԽԱՐՈՒԼԻՉԵ. Ն. Պ. ԹՈՒԹԲԵՐԻՉԵ

PL-ԲԱՐՁՐ ԱՐԱԴՈՒԹՅԱՆ ԴԻՍՊԵՐՍԻՈՆ ԱԼԻՔՆԵՐԸ ԵՎ ՓՈՔՐ ԿՈՎԿԱՍԻ ԵՐԿՐԱԿԵՂԵՎԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՀԱՐՑԵՐԸ

Ս. մ փ ո փ ո ւ մ

P և SV ալիքների սահմանային շերտերից միաֆազ տեղաբաշխման բաղմաթիվ անդրադարձումներից ձևավորվում է ինտերֆերենցիոն երևույթը։ Այս

միակ սահմանված երևույնն ընդգրկում է իր մեջ Ռելեյի և PL-ալիջների աշ ռաջացումը։ Բարձր արագունյան ներծծվող PL-ալիջները համարվում են ընդհանուր ինտերֆերենցիոն երևույնի մի մասը և ձևավորվում են փոխադարձ և անդրադարձված (վերջնագծային) կրիտիկական անկյան ալիջներից՝ P-իցւ

Համեմատաբար ցածր արագության Ուների ալիքները, որոնք կաղմում են այդ երևույթի բաղադրիլ մասը, ձևավորված են P և SV-ալիքներով։

Ռելեյի և PL-ալիքներն իրենցից ներկայացնում են նույնանման ալիքներ։ Տարբերությունը կայանում է նրանում, որ Ռելեյի ալիքները լրիվ ընդգրկում են ալիքատարի շերտի կիսատարածությունը և ավելի զդայուն են տեղաշարժվում ալիքների նկատմամբ, իսկ PL-ալիքները մասամբ են ընդգրկվում այդ սիստեմի մեջ և ցրում են իրենց էներգիան այղ կիսատարածության մեջ SV-ալիքների ձևով, ընդ որում՝ ավելի զգայուն են սեղմման ալիքների նկատմամբ։

PL, Lo, L<sub>R</sub>-ալիքների համատեղ ուսումնասիրությունը։ հնալավորություն է տալիս ավելի մանրազնին բացահայտելու միջավայրի էությունը։

### B. TS. YEREMIAN, D. I. SIKHARULIDZE, N. P. TUTBERIDZE

## HIGH-VELOCITY DISPERSION PL-WAVES AND THE PROBLEMS OF MINOR CAUCASUS EARTH'S CRUST STRUCTURE

### Abstract

An interference phenomenon is formed on the basis of a synphasic superposition of P-and SV-waves multiple reflected from the boundaries

of the layers. This united stable phenomenon includes the Rayleigh and PL-waves generation. High-velocity leaking PL-waves are a part of a general interference phenomenon formed by exchanged and P-waves which are critical angle reflected waves. Comparatively low-velocity Rayleigh waves which compose this phenomenon are formed by P-and SV-waves.

Rayleigh and PL-waves are of the same type. The difference between them is that the Rayleigh waves are completely taken into the waveguide layer half-space and are more sensitive to shear waves; PLwaves are partly taken into this system and scatter their energy in the half-space as SV-waves do and are more sensitive to compressional waves.

The PL,  $L_Q$ -and  $L_R$ -waves joint investigation gives the opportunity of a more detailed study of the medium.

#### литература

1. Баграмян А. Х. Строение земной коры в различных регионах Кавказа. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1974.

2. Носелиани М. С. Строение осадочного комплекса кристаллического фундамента Грузии по геофизическим данным. Изд. АН Гр. ССР, Тбилиси, 1969.

- Э Мурусидзе Г. Я. Строение земной коры и верхней мантии Грузии и сопредельных территорий по сейсмическим волнам. Изд. АН Гр. ССР, Тбилиси, 1977.
- 4. Сихирулидзе Д. И. Строение Земли по поверхностным волнам. Изд «Мецинереба», Тбилиси, 1978.
- 5. Сихарулидзе Д. И., Тутберидзе Н. П., Гоголадзе Т. Н. Волны типа PL и результаты их исследования. Изд. «Мецинереба», Тбилиси, 1977.
- 6. Твалтвадзе Г. К. Строение земной коры в Грузии по сейсмическим данным и построение систем теоретических годографов. Изд. АН Гр. ССР, Тбилиси, 1960.
- 8. Oliver J. Major M. Leaking modes and the PL phase. Bull. Selsm. Soc. Amer. 50 1960.
- 9. Su S. S. and Dorman J. The Use of Leaking Modes in seismogram Interpretation and in Studies of Crust-Mantle Structure. Bull Seism Soc. Amer., 55, 1965.

42: