

А. А. ТРЕСКОВ

ОТРАЖЕНИЕ ВОЛН ОТ ПОДОШВЫ КОРЫ ПРИ ГЛУБИННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 7 VIII 1947)

1. Глубинные землетрясения, изучение которых охватывает всего 15—20 лет, оказались крайне интересными для геологов, так как тектонические процессы, происходящие в земной коре, имеют тесную связь с „глубинными разломами“.

Характерная особенность сейсмограммы глубинного землетрясения— это фазы, связанные с отражением волны вблизи эпицентра. Этими фазами, преимущественно фазой p^p (отраженные продольные волны), и пользуются для определения глубины фокуса, причем все таблицы, применяемые при обработке, составлены в предположении, что отражение волн происходит от дневной поверхности, хотя универсальную приложимость такой гипотезы можно подвергнуть сомнению.

Действительно, имеются достаточные основания утверждать, что обменные волны (PS , PSS) возникают при отражении от поверхности Мохоровичика (граница сиал—сима) и вполне возможно достаточно эффективное отражение у этой границы и для других волн.

Исследование сейсмограммы ряда глубинных землетрясений действительно обнаружило наряду с волнами, отраженными от дневной поверхности, также и фазы, связанные с отражением от основания сиала, которые, как будет показано ниже, позволяют определить глубину залегания этой границы.

2. Прежде чем сообщить некоторые результаты, полученные нами при обработке глубинных землетрясений, необходимо изложить хотя бы в общих чертах применяемые нами методы обработки.

Чтобы не связывать себя таблицами отраженных фаз, рассчитанными в предположении отражения от дневной поверхности, мы используем формулу Сонон'а, которую записываем в следующем виде:

$$T_p = t_p + \frac{p^{p-p}}{2},$$

где t_p — время пробега продольных волн от очага до станции, а T_p — время пробега при том же эпицентральной расстоянии, но с очагом, расположенным на отражающей поверхности.

Время пробега t_p мы находим по разности $S - P$, пользуясь нормальным годографом (столбец 0,00 таблиц Джеффрейса и Буллена), считая, что определенному значению разности $S - P$ отвечает также и определенное значение t_p . Этот прием, дающий точное решение задачи при конгруэнтности лучей, сопряженных с продольными и поперечными волнами, практически применим и в реальных условиях.

Кроме того, в случае необходимости легко внести в вычисленное время пробега соответствующую поправку.

После определения t_p , по формуле Сонон'а вычисляется T_p , а затем находится (по столбцу surface) эпицентральное расстояние Δ . Зная последнее и время пробега t_p , легко найти и глубину фокуса.

Если на сейсмограммах обнаружены также и фазы, сопряженные с отражением от основания сигнала (их мы обозначаем символами p^{p^*} и s^{s^*}), то можно определить и глубину залегания отражающей поверхности.

По формуле Сонон'а $T_p^* = t_p + \frac{p^{p^*} - p}{2}$, где T_p^* — время пробега при фактическом (уже известном) эпицентральном расстоянии, но с фокусом на поверхности Мохоровичика, глубина H которой легко определяется по таблицам Джеффриса как соответствующая при данном эпицентральном расстоянии времени пробега T_p^* .

3. Зная времена пробега t_p для ряда станций, можно найти положение эпицентра и глубину фокуса независимо от отраженных фаз. Для этого, по значениям t_p и моментам фазы P на различных станциях определяется время очага t_0 , чем, во-первых, контролируется согласованность в наблюдениях станций, а, во-вторых, по среднему значению t_0 уточняются времена пробега и по ним устанавливаются эпицентральные расстояния при различных значениях глубины фокуса.

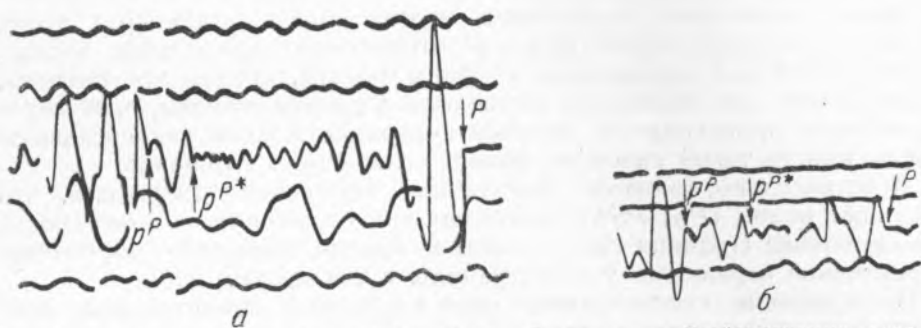


Рис. 1. *a* — Тирренское море, 13 IV 1938 г. Свердловская сейсмограмма, слаг. Z; *б* — Гиндукуш, 24 VI 1938 г. Пулковская сейсмограмма, слаг. Z

Далее по двум станциям, наиболее удобным для этой цели, находясь при ряде значений h положения эпицентра и вычисляются расстояния Δ' от эпицентра до станций.

За меру несогласованности в показаниях рассматриваемой группы станций мы принимаем ширину интервала, в котором варьирует разность $\Delta - \Delta'$, причем действительная глубина фокуса отвечает минимуму указанной меры несогласованности. Такой метод обработки несомненно рационален ввиду своей независимости от отраженных фаз, а полученные с его помощью результаты служат прекрасным контролем правильности интерпретации последних.

4. В качестве примеров, иллюстрирующих вышеизложенные методы обработки, приведем данные о трех глубинных землетрясениях: 18 II 1947 г. в районе Японии, 13 IV 1938 г. в Тирренском море и 24 VI 1946 г. в море Банда.

Для первого из них результаты обработки иркутских сейсмограмм по отраженным фазам изложенным выше методом таковы: $\Delta = 30^{\circ}, 4$; $h = 0,060$; $H = 33$ км.

По данным станции Москва: по продольным волнам $\Delta = 68^{\circ}, 3$; $h = 0,060$; по поперечным волнам $\Delta = 68^{\circ}, 2$; $h = 0,057$.

Обработка методом, независимым от отраженных фаз, по совокупности станций Иркутск, Андижан, Самарканд, Свердловск, Москва, Сочи дает:

$$t_0 = 13^h 30^m 23^s; \quad h = 0,06,$$

и координаты эпицентра: $\varphi_e = 31^\circ,9 \text{ N}$; $\lambda_e = 136^\circ,1 \text{ E}$.

Расстояние этой точки от Иркутска составляет $30^\circ,7$ и от Москвы $68^\circ,5$, т. е. результаты обработки обоими методами находятся в хорошем согласии друг с другом.

Для землетрясения 13 IV 1938 г. в Тирренском море фазы P , p^{P*} , p^P и S наиболее четко записаны станцией Свердловск.

Обработка свердловских сейсмограмм по отраженным фазам дает:

$$\Delta = 33^\circ,8, \quad h = 0,035; \quad H = 33 \text{ км},$$

а обработка методом, независимым от отраженных фаз, по станциям Москва, Пулково, Баку, Свердловск, Ташкент, Иркутск, Владивосток, Uccle, Kew, Georgetown и Florissant (при определении времени очага были использованы также региональные станции Средней Азии) приводит к следующим результатам:

$$t_0 = 2^h 45^m 50^s; \quad h = 0,035; \quad \varphi_e = 39^\circ,5 \text{ N}; \quad \lambda_e = 15^\circ,3 \text{ E}.$$

О согласованности наблюдений станций можно судить по табл. 1.

Т а б л и ц а 1

| | Мск | Плк | Бк | Свр | Тшк | Ирк | Влд | Uccle | Kew | Georgt. | Floriss. |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|---------|----------|
| Δ , эпиц. расстояние, определ. по времени пробега | 21,9 | 22,2 | 26,4 | 34,4 | 40,5 | 59,2 | 79,2 | 13,7 | 16,1 | 68,1 | 76,3 |
| Δ' , расстояние, от вышеуказанного эпицентра | 21,9 | 22,4 | 26,4 | 34,0 | 40,5 | 59,2 | 79,5 | 13,6 | 16,1 | 68,0 | 76,3 |
| $\Delta - \Delta'$ | 0,0 | -0,2 | 0,0 | +0,4 | 0,0 | 0,0 | -0,3 | +0,1 | 0,0 | +0,1 | 0,0 |

Весьма резкая фаза p^{P*} на свердловской сейсмограмме была ранее интерпретирована как фаза p^P , что повлекло за собой значительное снижение глубины очага.

В обоих приведенных выше примерах глубина поверхности Мохоровичика составляла 33 км, т. е. точно соответствовала уровню 0,00 по Джеффрису. Иная картина обнаруживается при землетрясении 24 VI 1946 г.

Обработка по отраженным фазам для Иркутска в этом случае дает:

$$\Delta = 63^\circ,3; \quad h = 0,019; \quad H = 60-66 \text{ км},$$

т. е. толщина сигнала оказывается двойной.

По московским данным: $\Delta = 97^\circ,0$; $h = 0,019$, а обработка, независимая от отраженных фаз, по станциям Иркутск, Сталинабад, Ташкент, Свердловск, Баку, Грозный, Ленинанкан, Москва приводит к глубине $h = 0,02$, причем

$$t_0 = 23^h 54^m 54^s; \quad \varphi_e = 7^\circ,0 \text{ S}; \quad \lambda_e = 130^\circ,2 \text{ E}.$$

Расстояния от точки с этими координатами до Иркутска и Москвы составляют $63^{\circ},3$ и $97^{\circ},3$, в прекрасном согласии с результатами обработки по отраженным фазам.

5. До настоящего времени глубина залегания поверхности Мохоричика определялась по данным, относящимся к землетрясениям из близких очагов, в связи с наличием так называемых индивидуальных волн, обнаруживающихся при небольших эпицентральных расстояниях. Аналогичный метод больших взрывов, связанный с большими организационными мероприятиями, естественно не имеет широкого применения. Таким образом, имевшиеся в распоряжении сейсмологов методы обладают недостатком территориальной ограниченности, и особенно интересная задача определения толщины сиала в районах эпицентров глубинных землетрясений во многих случаях не могла быть ими решена. Методика, связанная с использованием фаз p^{P*} и s^{S*} , значительно расширяет возможности для решения этой задачи.

Сейсмическая станция «Иркутск»
Геофизического института
Академии Наук СССР

Поступило
7 VIII 1947