

Ю. А. КОЛЕСНИКОВ, Л. Н. МАЛИНОВСКАЯ
ОБ ИМПУЛЬСНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ

(Представлено академиком М. А. Садовским 15 IX 1971)

В заметке описана импульсная сейсмическая волна, обнаруженная на записях за 1968—1971 гг. широкополосных сейсмографов группы станций Нарын, Фрунзе, Талгар, образующих на местности равносторонний треугольник со сторонами ~ 200 км.

1. Система регистрации. Идентичными широкополосными сейсмическими каналами регистрируются три составляющих перемещения почвы (рис. 1, 1). Кроме того, вертикальная составляющая записывается каналом повышенной чувствительности и заглубленным каналом (рис. 1, 2, 3, соответственно). Сейсмические тракты состоят из сейсмографов СКД-0 с собственным периодом 12 сек., постоянной затухания 4 (для канала повышенной чувствительности 18 сек. и 0,4), двухкаскадных фотоусилителей, работающих в режиме глубоких отрицательных обратных связей и фильтров. Амплитудные характеристики каналов линейны в пределах $\pm 5\%$ для выходных напряжений от 5 до $6,5 \cdot 10^3$ мв. Принятые меры для уменьшения тепловых и микробарических шумов. Аппаратурные шумы на выходе сейсмических каналов не превышают 5 мв по всей области рабочих частот. Уровень микросейсм на выходе каналов 1 не более 50 мв. Средний уровень микросейсм по каналу 2 составляет 200 мв на частоте 0,05 гц и не превышает 50 мв на остальных частотах.

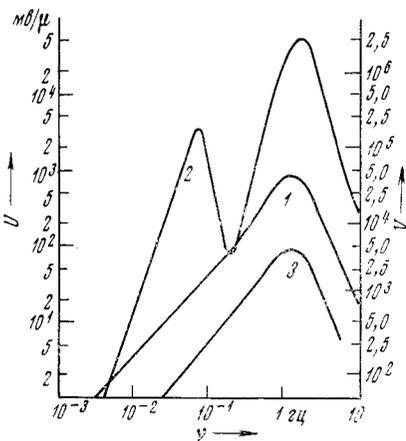


Рис. 1. Частотные характеристики сейсмических каналов: 1 — компонента Z, СЮ, ВЗ; 2, 3 — компонента Z. U — чувствительность сейсмического тракта, V — «увеличение» магнитной регистрации

Применена импульсная калибровка сейсмических каналов одновременной подачей П-импульсов тока заданной амплитуды и длительности в катушки сейсмометров.

Сейсмические сигналы записываются на магнитную ленту в цифровой форме и перописцем. Динамический диапазон цифровой регистрации 60 дб; количество измерения на один канал 33 в секунду; цена младшего разряда преобразователя аналог — цифра 4 мв. Контроль цифровой записи осуществляется обратным преобразованием в аналоговую форму при перезаписи магнитных лент.

2. Импульсная волна обнаружена на записях 115 землетрясений (около 10% от всех зарегистрированных на «треугольнике» землетрясений) в диапазоне магнитуд 2—8 и интервале эпицентральных расстояний от нескольких до 16 000 км.

Форма записи волны похожа на длиннопериодную часть импульсной реакции сейсмических каналов. Примеры записи волны и соответствующие импульсные реакции сейсмических каналов показаны на рис. 2. На всех приведенных записях максимальные амплитуды колебаний, в том числе предшествующих импульсной волне *St*, не выходят за пределы линейности амплитудных характеристик каналов. Как видно из этих примеров, импульсной волне могут предшествовать колебания различного частотного состава: от высокочастотных для местных землетрясений (рис. 2а) до длиннопериодных в случае удаленных землетрясений (рис. 2б).

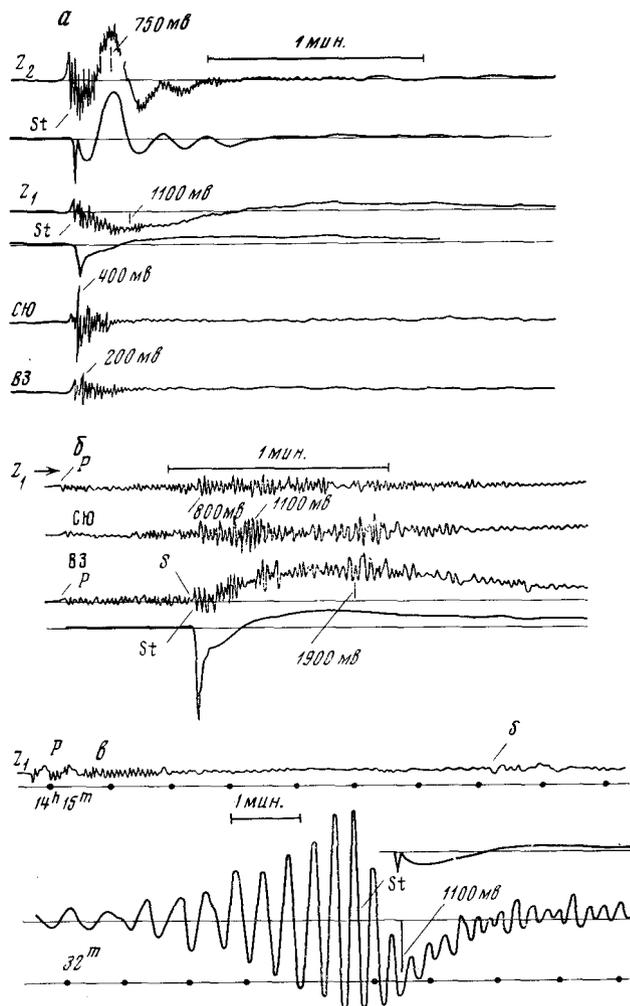


Рис. 2. а — местное землетрясение 17 VII 1970 г., $M = 1,5$; б — землетрясение 8 IV 1971 г., $M = 5,0$; $\Delta = 370$ км; в — запись вертикальным сейсмографом удаленного землетрясения 24 V 1968 г., $M = 6,5$, $\Delta = 5500$ км

Импульсная волна записывается вертикальными и горизонтальными сейсмографами. Она может присутствовать либо одновременно на записях всех составляющих, либо, в предельном случае, на записи какой-либо одной составляющей (рис. 2 а, б).

Связь этой волны с наклонами почвы маловероятна, так как чувствительность вертикальных сейсмографов к наклонам на несколько порядков ниже чувствительности горизонтальных сейсмографов.

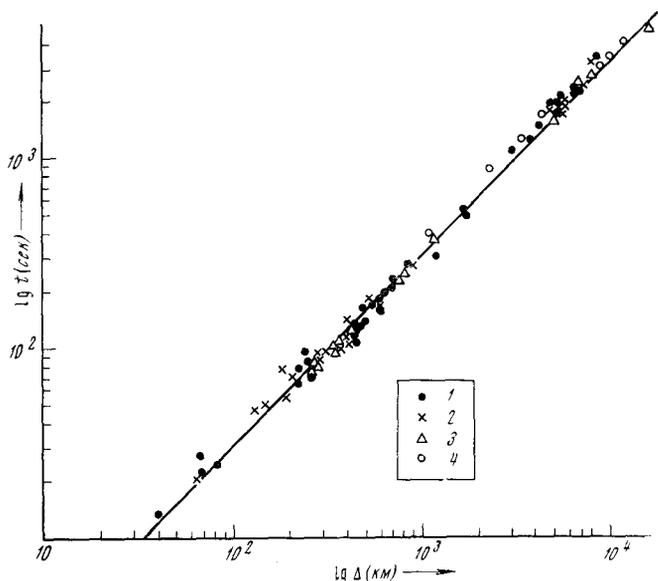


Рис. 3. Зависимость времени t пробега импульсной волны St от расстояния Δ : 1 — ст. Фрунзе, 2 — Нары, 3 — Талгар; 4 — максимальная фаза волны Рэля (¹)

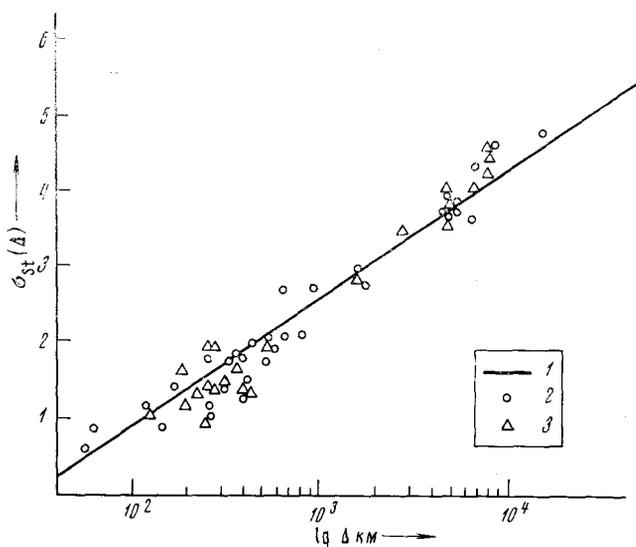


Рис. 4. Калибровочная кривая импульсной волны St (1), вертикальная (2) и горизонтальные компоненты (3)

Кажущаяся скорость распространения импульсной волны равна $3,0 \pm 0,4$ км/сек во всем интервале наблюдаемых эпицентральных расстояний. Скорости распространения по записям различных компонент совпадают в пределах ошибок измерений. Полученный для импульсной волны годограф аппроксимируется прямой $\lg t = \lg \Delta - (0,48 \pm 0,06)$, он близок к годографу максимальной фазы волны Рэля (рис. 3).

Амплитуда импульсной волны зависит от магнитуды M и эпицентрального расстояния Δ землетрясения. Чтобы охарактеризовать изменение амплитуды с расстоянием, построена зависимость

$$\sigma_{St}(\Delta) = M_{LH} - \lg A_{\max},$$

где M_{LH} — магнитуда землетрясения по данным Единой сейсмической службы СССР; A_{\max} — максимальная измеренная амплитуда импульсной волны (мв)

$$A_{\max} = \begin{cases} A_{\max z} & \text{для вертикальной компоненты,} \\ \sqrt{A_{\max \text{ СЮ}}^2 + A_{\max \text{ ВЗ}}^2} & \text{для горизонтальной компоненты.} \end{cases}$$

Погрешность измерения амплитуд, включая разброс частотных характеристик сейсмических каналов, не превышает $\pm 50\%$.

Полученная зависимость $\sigma_{st}(\Delta)$ (рис. 4), которую можно рассматривать как калибровочную функцию импульсной волны, выражается эмпирической формулой $\sigma_{st} = 1,7 \lg \Delta - 2,6$. Она параллельна (в логарифмическом масштабе) стандартной калибровочной кривой $\sigma_{LH}(\Delta)$ поверхностных волн (2) и не согласуется с калибровочными кривыми объемных волн Б. Гутенберга, Ч. Рихтера (3) или И. Ванека и И. Штельцера (4).

Разброс точек относительно осредненной кривой $\sigma_{st}(\Delta)$ не превышает $\pm 0,6 M$. Экспериментальные значения $\sigma_{st}(\Delta)$ по записям разных станций на малых эпицентральных расстояниях разбросаны сильнее, чем на больших расстояниях.

Импульсная фаза наблюдалась ранее на записях длиннопериодных сейсмометров с гальванометрической регистрацией (5), а также деформографов (6, 7).

Полученные нами характеристики импульсной фазы показывают, что она представляет волну перемещений почвы и что ее происхождение нельзя объяснить наклонами почвы или нелинейными процессами в аппаратуре, как в (5). Можно предположить, что эта волна возникает в процессе распространения остаточных перемещений почвы, для некоторых землетрясений, когда имеет место перераспределение поля статистических упругих деформаций. Распространение остаточных перемещений почвы для сосредоточенной силы в однородном упругом полупространстве рассмотрено в (8-10). Возможность регистрации остаточных перемещений на телесеismicких расстояниях показана расчетами остаточных полей в (11).

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
10 IX 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. М. Архангельская, Бюлл. Совета по сейсмологии, № 6 (1957). ² И. Ванек, А. Затопек и др., Изв. АН СССР, сер. геофизич., № 2 (1962). ³ Gutenberg, C. F. Richter, Ann. Geophys., 9 (1956). ⁴ J. Vanek, J. Stelzner, Ann. Geophys., 13 (1960). ⁵ H. Berckheimer, Bull. Seism. Soc. Am., 54, № 3, 973 (1964). ⁶ H. Benioff, Bull. Seism. Soc. Am., 53, 893 (1963). ⁷ C. J. Wideman, M. W. Major, Bull. Seism. Soc. Am., 57, № 6, 1429 (1967). ⁸ C. L. Pekeris, Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 41, № 9, 629 (1955). ⁹ C. L. Pekeris, ibid., 41, № 9, 469 (1955). ¹⁰ C. L. Pekeris, H. Lifson, J. Acoust. Soc. Am., 29, № 11, 1233 (1957). ¹¹ F. Press, J. Geophys. Res., 70, № 10 (1965).