

Б. Г. РУЛЕВ

ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ДВОЙНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

(Представлено академиком М. А. Садовским 25 XII 1973)

На сейсмограммах землетрясений Гармского района в первых вступлениях, а также в наиболее интенсивной начальной части S -волн уже давно отмечалось существование колебаний с резко различающимися видимыми периодами (¹). В работе (²) длиннопериодная волна в первых вступлениях, возникающая при землетрясении наряду с обычной высокочастотной продольной волной, интерпретирована как вторая прямая продольная волна и высказано предположение, что своим существованием она обязана сложности очага землетрясения. Для длиннопериодных волн было принято обозначение P и S с индексом L , для высокочастотных оставлено обычное наименование P и S .

При анализе распределения знаков первых вступлений продольных волн P и P_L обнаружено их различие для одного и того же землетрясения, что приводит к существенно различному положению подальных плоскостей (рис. 1). То же подтверждает и различная направленность излучения по-

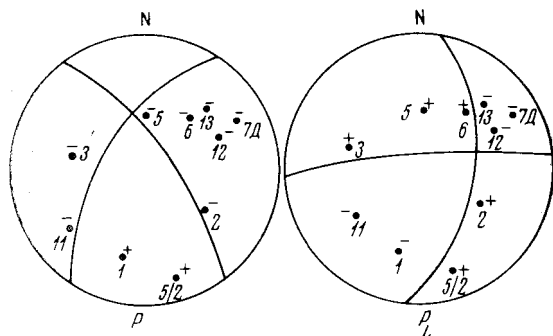


Рис. 1. Распределение знаков первых вступлений и подальные плоскости волн P и P_L

перечных волн S и S_L , представленная на рис. 2 для двух слабых землетрясений, где амплитуды на всех станциях приведены к одному расстоянию с учетом затухания волн. Это позволило сделать вывод о существовании двух источников сейсмических волн в очаге землетрясения, а не одного излучателя с различными спектральными составляющими. Высокочастотные волны P и S не могут быть высшими гармониками спектра единственного источника или возникать от неровностей разрыва при сдвиге по нему в силу их значительной интенсивности. Для подавляющего большинства обработанных землетрясений (более тысячи) энергия высокочастотных волн превосходила энергию низкочастотных волн.

Модель очага землетрясения с двойным источником сейсмических волн следует из представления о возникновении разрыва при сдвиге как сложном хрупком разрушении среды (³⁻⁵). На рис. 3 иллюстрируется этот процесс и связанные с ним моменты излучения упругой энергии. По линии наибольших дифференцированных движений двух соседних блоков земной

коры, а следовательно, и линии наибольших напряжений при достижении главными растягивающими напряжениями предельных значений на разрыв вначале появляются кулисообразные трещины отрыва (рис. 3а). Исследования сейсмоакустических импульсов повторных толков Ташкентско-

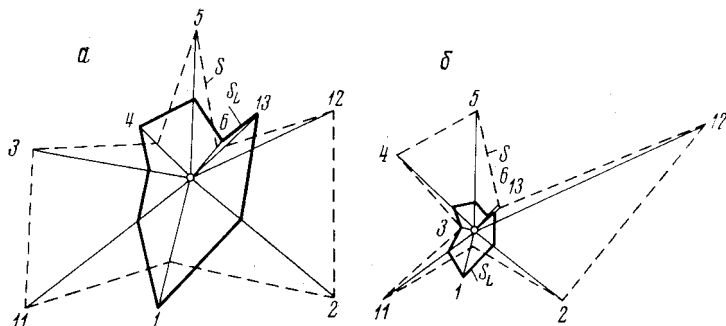


Рис. 2. Направленность излучения волн S и S_L афтершока (а) и фошока (б) сильного землетрясения 13-класса в районе хребта Петра I

го землетрясения ⁽⁶⁾ дают основания полагать, что в момент образования трещин отрыва излучается упругая энергия акустического диапазона частот. Образование новых включений (трещин отрыва) с нулевыми нормальными и касательными граничными напряжениями вызывает перераспределение напряжений в окружающей среде. Движение среды — сдвиг вдоль кулисообразных трещин отрыва (рис. 3б), связанное с таким перераспределением напряжений, является источником высокочастотных волн P и S . Второй этап заканчивается появлением трещин отрыва в перпендикулярном направлении или разворотом концов первоначальных кулисообразных трещин отрыва, которые, объединяясь, формируют общую линию разлома с выступами на крыльях. Упругая энергия, накопленная в крыльях разлома, вызывает их относительное перемещение (рис. 3в), являющееся излучателем длиннопериодных волн P_L и S_L .

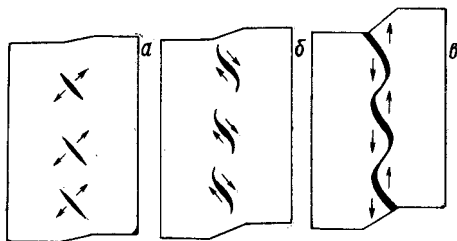


Рис. 3. Последовательные моменты образования разрыва при сдвиге: а — образование трещин отрыва (излучение волн акустического диапазона частот), б — сдвиг вдоль кулисообразных трещин отрыва (излучение высокочастотных волн P и S), в — общий сдвиг вдоль поверхности разлома (излучение низкочастотных волн P_L и S_L)

Такая интерпретация согласуется со сравнительными оценками плотности упругой энергии в источниках коротко- и длиннопериодных волн. При меньших размерах источника (так как меньше их период) и большей энергии волны P и S могут излучаться только из центральной части зоны сдвига с большей плотностью накопленной энергии, ограниченной полосой кулисообразных трещин отрыва. Поэтому высокочастотный источник является сравнительно плоским и его энергия определяет главным образом два линейных размера очага землетрясения — длину и глубину разлома. Волны P_L и S_L , для которых размер источника больше, так как больше их период, излучаются из прилегающей к разлому упруго деформированной зоны, восстанавливающейся после землетрясения (зоны упругой отдачи по Риду), с меньшей плотностью накопленной энергии. Отношение энергии низкочастотной волны к энергии высокочастотной приблизительно даст величину, пропорциональную линейному размеру очага землетрясения, ортогональному к плоскости разлома, его ширину. При анализе сейсмограмм

слабых близких землетрясений с постоянной энергией высокочастотных волн замечена пропорциональность энергии низкочастотных волн и их периода, подтверждающая этот вывод.

Наблюдаемые значительные вариации отношения энергий низко- и высокочастотных волн, а следовательно, и ширины зоны упругой отдачи можно объяснить изменениями нормальных (к плоскости разлома) напряжений, силы трения от которых преодолеваются максимальными касатель-

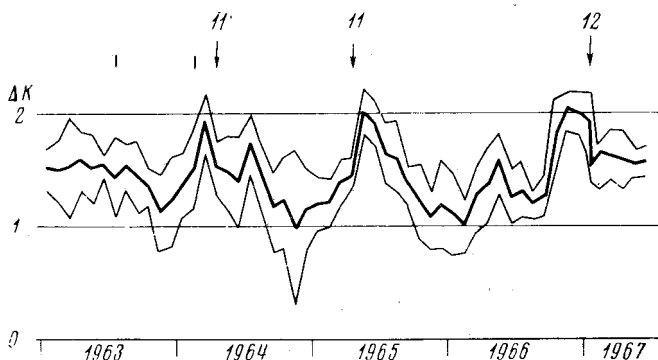


Рис. 4. Временной ход среднемесячных значений ΔK слабых землетрясений в районе Хаита (доверительный интервал на уровне 0,9)

ными напряжениями. Тогда чем больше сжатие разлома в момент землетрясения, тем меньше зона упругой отдачи и меньше энергия низкочастотной волны, т. е. на сейсмограмме преобладают высокочастотные волны P и S . Для дальнейших операций используется логарифм отношения энергий ΔK — разность энергетических классов высокочастотной и низкочастотной волн.

Предположение о связи величины ΔK с тектоническими напряжениями стало основой применения этого параметра слабых землетрясений при прогнозировании времени и места сильного землетрясения. Для повышения детальности метода использованы поперечные волны, которые преобладают по величине амплитуды. При определении энергии учитывали направленность излучения. Энергию определяли по наибольшей амплитуде из измеренных на всех станциях, которая ближе всех к характерной (максимальной) амплитуде действительной диаграммы направленности. Периоды волн S для исследуемых слабых землетрясений с $K=5-7$ лежат в пределах от 0,4 до 0,3 сек., волн S_L — от 0,3 до 1,5 сек.

Изменения во времени величины ΔK слабых землетрясений (рис. 4) прослежены в окрестностях сейсмической станции Хаит радиусом ~ 12 км. Это один из участков наибольшей концентрации слабых землетрясений и место сильнейшего землетрясения Гармского района — Хаитского 1949 г. с $K=16,5$. На этом участке за один месяц в среднем у 10 землетрясений с $K=5-7$ можно было определить величину ΔK . За период с января 1963 г. по июнь 1967 г. здесь произошло три землетрясения 10 класса (на рис. 4 их моменты отмечены штрихами), два — 11 класса и одно — 12 класса.

Анализ изменения величины ΔK во времени открывает некоторые перспективы прогностического характера. Сильным землетрясениям предшествует понижение среднемесячной величины ΔK с последующим аномальным повышением. После основного толчка происходит их сброс до величины ΔK при нормальном режиме. Есть основания полагать, что время между минимумом и максимумом кривой среднемесячных значений ΔK соответствует периоду накопления упругой энергии и может дать информацию о силе готовящегося землетрясения. Место сильного землетрясения 12 класса выделяется повышенными значениями ΔK слабых землетрясе-

ний в ноябре и декабре 1966 г. на площади всего Гармского района. Сравнение сделано с пространственным распределением величины ΔK в спокойный период. Подобные наблюдения, но менее детальные, были получены при землетрясении 13 класса в районе хребта Петра I.

Землетрясения 11 класса являются предельными для выделения предваряющих признаков рассматриваемым методом.

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

Поступило
13 XII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. Л. Нерсесов и др., Тр. Инст. физ. Земли АН СССР, т. 17, 146 (1961). ² Б. Г. Рудёв, В сборн. Экспериментальная сейсмология, «Наука», 1971, стр. 65. ³ В. А. Магницкий, Внутреннее строение и физика Земли, М., 1965. ⁴ В. В. Белоусов, Основные вопросы геотектоники, М., 1954. ⁵ А. В. Лукьянов, Структурные проявления горизонтальных движений земной коры, «Наука», 1965. ⁶ М. С. Анциферов и др., Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений, «Наука», 1971.