

Л. А. СКОРИК, З. А. ОСЬМАКОВА

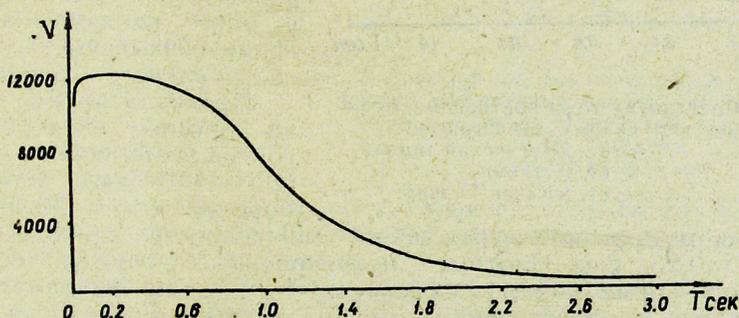
СОПОСТАВЛЕНИЕ СПЕКТРОВ КОЛЕБАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТОВ ПО ЗАПИСЯМ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В работе дан анализ зависимости спектров колебаний поверхности грунта при слабых землетрясениях от характеристик очага землетрясения и грунтовых условий в точке наблюдений.

Нами рассматривались спектральные характеристики колебаний различных грунтов и их зависимость от особенностей очага землетрясения. При этом колебания поверхности грунта возбуждались слабыми землетрясениями, характеризующимися различными величинами энергии в очагах, эпицентрными расстояниями, глубинами и координатами очага. Ограниченность пределов изменения интенсивности слабых землетрясений здесь следует понимать в том смысле, что в ряду различных интенсивностей возбуждения колебаний грунта—от разрушительных землетрясений до микросейсм—они имеют свое вполне определенное место.

Для анализа использован материал сейсмических станций «Туткаул», «Нурекский мост» и «Казан-Гузар». Станции расположены в бассейне р. Вахш, расстояние между ними 10—15 км. Станции «Туткаул» и «Нурекский мост» расположены на песчаниках и известняках соответственно, станция «Казан-Гузар»—на кавернозных известняках. Угол падения геологических пластов на первых двух станциях близок к 45° , на третьей—к 90° .

Регистрация землетрясений велась высокочувствительными сейсмографами типа ВЭГИК со следующими характеристиками каналов сейсмограф-гальванометра: собственный период маятника $T_1=1,0$ сек., затухание $D_1=0,5$; собственный период гальванометра $T_2=0,07$ сек., затухание $D_2=5,0$; коэффициент связи $\sigma^2=0,1$.



Фиг. 1. Частотная характеристика сейсмографа ВЭГИК.

Каждая станция была оснащена двумя приборами, обеспечивающими различное увеличение—12 000 и 2000. Типовая частотная характеристика аппаратуры представлена на фиг. 1.

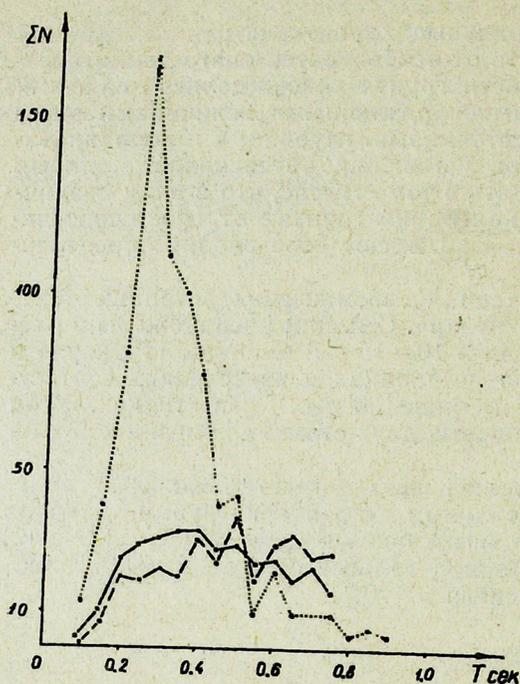
Обработка сейсмограмм проводилась по ранее принятой методике [1], в основу которой положен метод Канай—проводится сплошной промер периодов, фиксированных на сейсмограмме, после чего находится частота повторяемости данного периода на записи [2, 3]. Эта величина является функцией периода и представляется в виде

$$N = f_1(T), \quad (1)$$

где N —частота повторяемости периода;
 T —период колебания на сейсмограмме.

При обработке n землетрясений получаем

$$\sum_{i=1}^n N = f_2(T). \quad (2)$$



Фиг. 2. Спектры частоты повторяемости периодов для слабых землетрясений:
 — ст. «Нурекский мост»;
 - - - ст. Туткаул;
 ст. «Казан-Гузар».

дали спектры с резко выраженным максимумом, приходящимся на период $T=0,25$ сек. Плотные некаверзные грунты обусловили близкие по форме пологие спектры. При этом максимум частотного спектра для песчаника (ст. «Туткаул») приходится на диапазон периодов 0,2—0,5 сек., для известняка (ст. «Нурекский мост») — на 0,4—0,8 сек. Возможно, что причиной резкого различия форм спектров для ст. «Туткаул» и «Казан-Гузар» является не только различный характер самих пород, но и различный угол падения геологических пластов (фиг. 2, 3).

Распределение (2) рассматривалось в данной работе как спектральная характеристика грунта. Спектры типа (2) иногда называют просто частотными.

По материалам сейсмических станций «Туткаул», «Нурекский мост» и «Казан-Гузар» найдены частотные спектры для двух энергетических диапазонов.

На фиг. 2. представлены спектры землетрясений, величина энергии в очаге для которых колеблется от 10^{15} до 10^{19} дж. На фиг. 3 показаны спектры сильных землетрясений, энергия в очаге для которых лежит в полосе 10^{21} — 10^{22} дж. В первом случае каждая кривая построена по 20 землетрясениям, во втором — по 5. Как следует из этих графиков, геологические условия в месте наблюдения существенно сказываются на форме спектрального распределения.

Проанализируем этот факт на примере спектров первого энергетического диапазона (10^{15} — 10^{19} дж). Каверзные породы (ст. «Казан-Гузар»)

Сопоставим спектры, представленные на фиг. 2 и 3. Относительное положение спектров, обусловленное различием геологического строения в обследованных точках, при переходе от слабых толчков к сильным сохраняется. В работах, связанных с сейсмическим микрорайонированием, часто рассматриваются только максимумы спектральных распределений, характеризующие движения грунта. Мы также будем определять изменение спектра изменением положения его максимума. В нашем исследовании, при увеличении энергии землетрясения в очаге в среднем на 4 порядка, наблюдалось смещение максимумов частотных спектров на $\Delta T \approx 0,1-0,3$ сек. Таким образом, анализ показывает, что, во-первых, форма спектра в значительной степени зависит от геологических условий в месте наблюдения, во-вторых, при увеличении энергии землетрясения наблюдается перемещение максимума спектра в низкочастотную область.

На материале ст. «Казан-Гузар» проведен анализ спектров типа

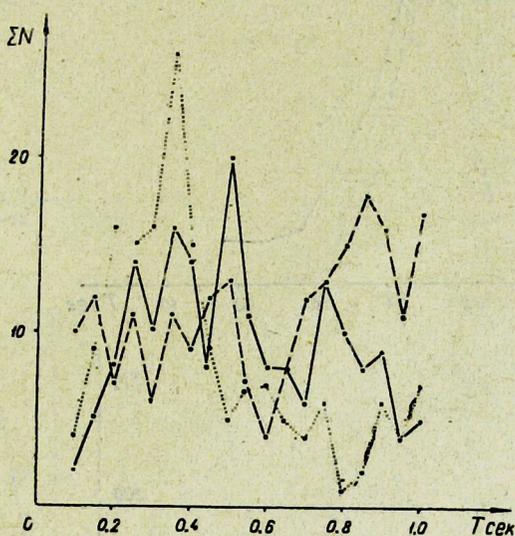
$$\sum_{i=1}^n N = f_2(T) \text{ для сейсмических толчков с различными характеристиками.}$$

Рассмотрены землетрясения с глубинами очага: $h \leq 35$ км; $80 \text{ км} \leq h \leq 150$ км; $190 \text{ км} \leq h \leq 150$ км; с эпицентрными расстояниями до ст. «Казан-Гузар»: $\Delta < 100$ км; $150 \text{ км} \leq \Delta \leq 200$ км; $200 \text{ км} \leq \Delta \leq 260$ км; $\Delta \approx 400$ км; различных очаговых зон: афганские с координатами $36^\circ \leq \varphi \leq 37^\circ 8'$; $68^\circ \leq \lambda \leq 73^\circ$; гармские с координатами $38^\circ, 5' \leq \varphi \leq 39^\circ$; $70^\circ 4' \leq \lambda \leq 72^\circ$; мургабские с координатами $37^\circ, 3' \leq \varphi \leq 39^\circ$; $72^\circ \leq \lambda \leq 75^\circ$; душанбинские с координатами $38^\circ \leq \varphi \leq 39^\circ$; $68^\circ \leq \lambda \leq 70^\circ, 4'$; различных энергетических классов: 6 кл (10^{19} дж); 5 кл (10^{18} дж); 4 кл (10^{17} дж); 3 кл (10^{16} дж); 2 кл (10^{15} дж).

Таким образом, выделены 4 своеобразных спектральных семейства,

при этом в каждом одна из четырех характеристик очага—глубина h , эпицентрное расстояние Δ , очаговая зона или энергия в очаге E меняются независимо от остальных.

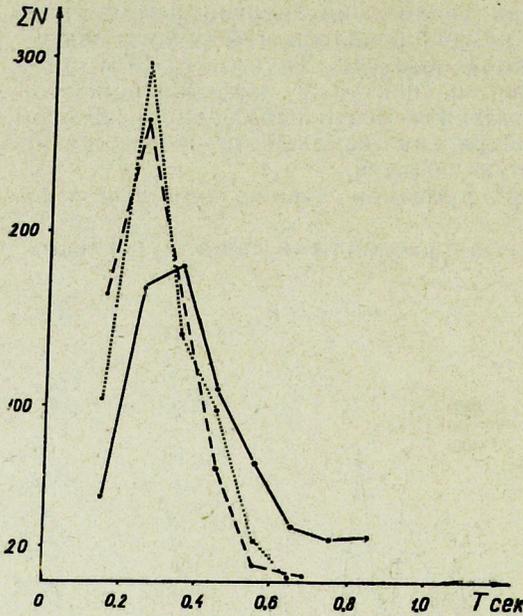
Проанализируем результаты, полученные для землетрясений с различными h , Δ , φ , λ , E , (фиг. 4—7). Все кривые графиков представляют собой спектры с ясно выраженными максимумами, расположенными в интервале $0,25 \text{ сек.} \leq T \leq 0,25 \text{ сек.}$ Аномалию представляет лишь два спектра: спектр душанбинских землетрясений (фиг. 6) и спектр шестого энергетического класса (фиг. 7). В обоих случаях максимум спектра смещен в положение $T=0,45$ сек. Фиг. 4 и 5 показывают, что изученные



Фиг. 3. Спектры частоты повторяемости периодов для сильных землетрясений:

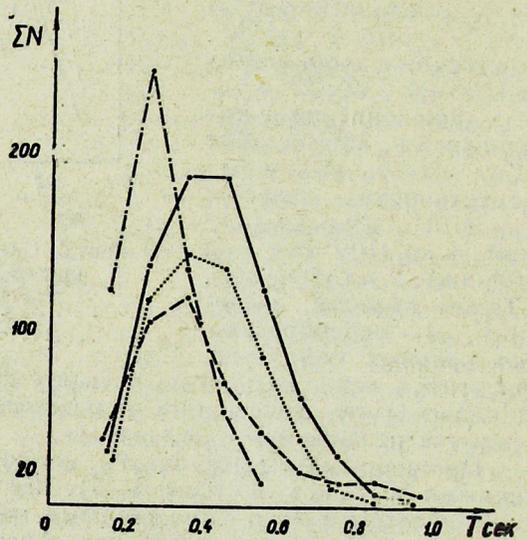
— ст. «Нурекский мост»;
 - - - - - ст. «Туткаул»;
 ······· ст. «Казан-Гузар».

спектральные характеристики в рассмотренном диапазоне глубин очага и эпицентральных расстояний остаются постоянными. Отмеченные при рассмотрении фиг. 6 и 7 аномалии могут свидетельствовать о некоторой зависимости спектров от очаговой зоны и энергии в очаге, причем зависимость спектра от величины энергии в нашем случае проявляется лишь с шестого энергетического класса.

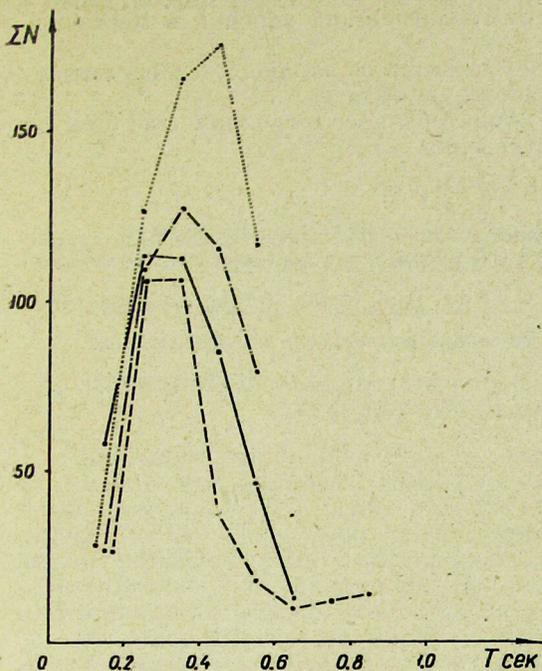


Фиг. 4. Спектры типа $\sum_1^n N=f(T)$ для землетрясений, имеющих различные глубины очага:
 — $h < 35$ км;
 - - - - - $80 < h < 150$ км;
 — $190 < h < 250$ км.

Фиг. 5. Спектры типа $\sum_1^n N=f(T)$ для землетрясений с различными эпицентрными расстояниями:
 — $\Delta < 100$ км;
 - - - - - $150 < \Delta < 200$ км;
 - · - · - $200 < \Delta < 260$ км;
 — 400 км.



Спектральный анализ записей слабых землетрясений позволяет сделать следующие выводы:

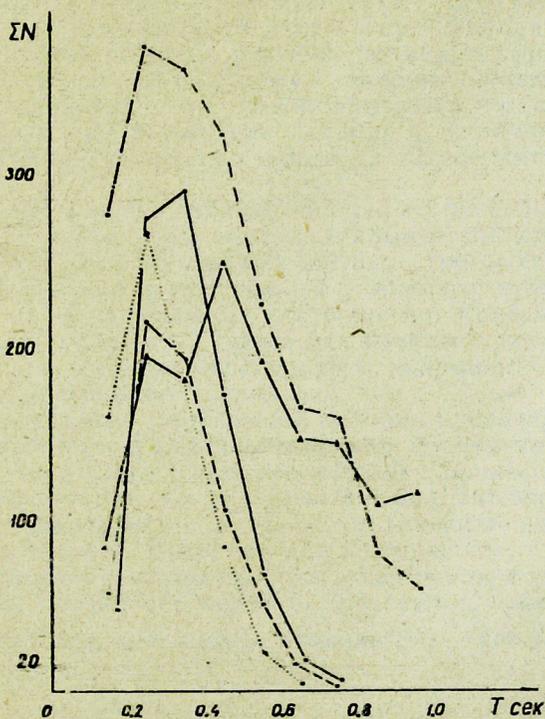


Фиг. 6 Спектры типа $\sum_1^n N=f(T)$ для землетрясений различных очаговых зон:

- афганские;
- - - гармские;
- · - мургабские;
- · · · · душанбинские.

Фиг. 7. Спектры типа $\sum_1^n N=f(T)$ для землетрясений различных энергетических классов:

- 2-й энергетический класс;
- - - 3-й энергетический класс;
- · · · · 4-й энергетический класс;
- · - 5-й энергетический класс;
- ▲ — 6-й энергетический класс.



1. Форма спектра сейсмических колебаний на поверхности грунта в значительной степени зависит от геологических условий в месте наблюдений.

2. При увеличении энергии землетрясения наблюдается перемещение максимума спектра в низкочастотную область.

3. Установлена зависимость характера рассмотренных спектров от азимута и энергии в очаге землетрясения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Скорик. К вопросу о существовании преобладающего периода колебаний грунта при землетрясении. Тр. Ин-та сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР, т. IX, 1961.

2. К. Канаи, Т. Тапакса and К. Озада. Bull. of the Earthg. Research Inst. Vol. 32, part 2, June, 1954.

3. К. Канаи. Bull. of the Earthg. Research. Inst. Vol. 35, part 2, June, 1957.

Институт сейсмостойкого
строительства и сейсмологии
АН Таджикской ССР.
