

А. З. КАЦ

## ОБ УЧЕТЕ ГИПОЦЕНТРАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ

В статье дается дальнейшее развитие методики инструментальных данных для построения кривых убывания амплитуд колебаний при различных гипоцентральных расстояниях, с целью их учета при сейсмическом микрорайонировании.

Развитие инструментальных работ по сейсмическому микрорайонированию связано с условиями размещения сейсмических станций. Как известно, инструментальное сейсмическое микрорайонирование основано на сопоставлении амплитуд или других элементов колебаний, зарегистрированных на сравниваемых грунтах. При этом предполагается, что наблюдательные станции расположены в непосредственной близости друг от друга и их гипоцентральные расстояния одинаковы. Однако опыт исследований показывает, что это условие удовлетворяется не всегда. Сейсмические станции часто располагаются на значительном расстоянии друг от друга таким образом, что различия в гипоцентральных расстояниях существенно влияют на величины сопоставляемых элементов местных землетрясений.

В первом приближении для учета различия гипоцентральных расстояний принимается, что очаг землетрясения представляет собой симметричный источник: сейсмические волны имеют сферический фронт и распространяются в безграничной среде. При этих условиях смещение убывает обратно пропорционально  $R$ , если  $r \gg \lambda$ , где  $r$  — гипоцентральное расстояние,  $\lambda$  — длина волны. В этом предположении Б. Б. Голицын впервые предложил методику определения энергии землетрясений [1]. Измерения колебаний, однако, производятся на свободной поверхности, и поэтому учет граничных условий необходим для более обоснованной оценки результатов измерения и последующих выводов для целей сейсмического микрорайонирования.

Как известно, местные слабые землетрясения часто записываются не всеми станциями, расположенными в изучаемом районе, а лишь некоторыми, ближе расположенными к эпицентру и покрывающими небольшую часть интересующего нас профиля. Поэтому оказывается, что по отдельно взятым землетрясениям не представляется возможным решить вопрос о характере убывания амплитуд колебаний с гипоцентральным расстоянием. В этой связи возникает необходимость в развитии методики, позволяющей обобщать материал наблюдений, полученный по отдельным землетрясениям, записанным небольшим числом станций. Эти и некоторые другие вопросы рассмотрены в работах В. И. Бунэ и др., А. З. Каца [2, 3]. Здесь мы несколько развиваем эту работу.

Имеем совокупность землетрясений:

$$T_1(E_1), T_2(E_2), \dots, T_n(E_n), \quad (1)$$

где  $E_i$  — энергия  $i$ -го землетрясения.

Пусть каждое из этих землетрясений записано некоторой группой станций с гипоцентральными расстояниями:

$$\begin{aligned} r_{e1}, r_{12}, \dots &= r_{1k}, \\ r_{21}, r_{22}, \dots &= r_{2m} \\ \dots &\dots \\ r_{e1}, r_{e2}, \dots &= r_{ep}. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда амплитуды колебаний, зарегистрированные какой-либо группой станций, могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} B_1(E_1)f(r_{11}), B_1(E_1)f(r_{12}), \dots &= B_1(E_1)f(r_{1k}), \\ B_2(E_2)f(r_{21}), B_2(E_2)f(r_{22}), \dots &= B_2(E_2)f(r_{2m}), \\ \dots &\dots \\ B_n(E_n)f(r_{e1}), B_n(E_n)f(r_{e2}), \dots &= B_n(E_n)f(r_{ep}), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $B_i(E_i)$  — амплитуда колебаний на сфере единичного радиуса с энергией в источнике  $E_i$ ;  $f(r_{ij})$  функция, учитывающая изменение амплитуд за счет гипоцентрального расстояния и влияния свободной поверхности, которая может быть выражена через:

$$f(r) = A_e \left( \frac{\Delta}{h} \right) \frac{1}{r},$$

где  $A_e \left( \frac{\Delta}{h} \right)$  — множитель, учитывающий влияние свободной поверхности,  $\frac{\Delta}{h}$  — угол подхода волны к свободной поверхности,  $\frac{1}{r}$  — убывание амплитуд за счет расхождения фронта.

Если в совокупности (3) имеет место:

$$r_{11} = r_{21} = \dots = r_{ep}, \quad (4)$$

то делением членов каждой группы из (3) соответственно на  $B_i f(r_{11})$  получим нормированную совокупность:

$$\begin{aligned} Af(r_{11}), Af(r_{12}), \dots, 1, \dots, &= Af(r_{1k}), \\ Af(r_{21}), Af(r_{22}), \dots, 1, \dots, &= Af(r_{2m}), \\ \dots &\dots \\ Af(r_{e1}), Af(r_{e2}), \dots, 1, \dots, &= Af(r_{ep}), \end{aligned} \quad (5)$$

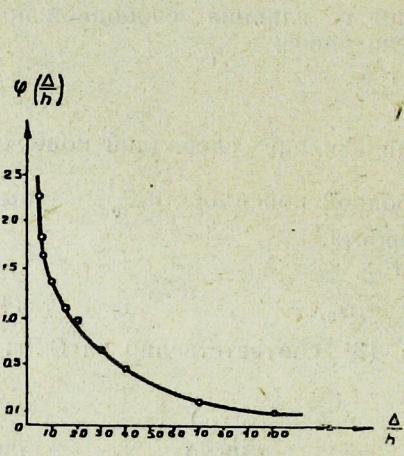
$$\text{где } A = \frac{1}{f(r_{11})} = \frac{1}{f(r_{21})} = \dots = \frac{1}{f(r_{ek})} = \text{const.} \quad (6)$$

Нормированная совокупность (5) при  $h=\text{const}$  позволяет уже построить график функции  $Af(r)$ , используя материал всех наблюдавшихся землетрясений, и произвести соответствующее осреднение инструментальных данных.

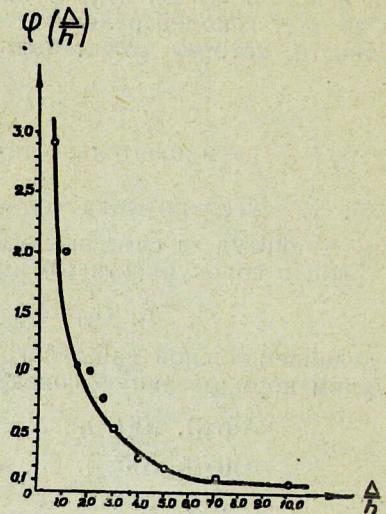
Из изложенного следует, что для построения сводного графика, охватывающего весь интервал зарегистрированных гипоцентральных расстояний, необходимо составить нормированные графики убывания амплитуд для каждого отдельного землетрясения. По отдельным нормированным графикам можно получить общий нормированный график для всего интервала зарегистрированных расстояний.

При регистрации местных землетрясений гипоцентральные расстояния покрывают интервал в пределах 60—70 км, поэтому в качестве нормирующей амплитуды можно, например, взять амплитуду колебаний на станциях с  $r=30$  км. Тогда, взяв отношение амплитуд при других гипоцентральных расстояниях к исходной, в одном и том же масштабе, получим ординаты свободного нормированного графика. Этот график характеризует относительное изменение амплитуд в зависимости от гипоцентрального расстояния и не зависит от энергии землетрясения. При построении этой кривой по инструментальным данным следует пользоваться материалами сейсмических станций, расположенных на выходах коренных пород. Тогда влияние верхних рыхлых отложений исключается и различия в амплитудах можно отнести за счет различия гипоцентральных расстояний.

Графики относительного изменения амплитуд можно построить теоретически, пользуясь методикой, изложенной в [3]. Эти кривые построены в безразмерных координатах  $\frac{\Delta}{h}$  и  $\varphi\left(\frac{\Delta}{h}\right)$ , где  $\Delta$ —эпицентральное расстояние,  $h$ —глубина очага,  $\frac{\Delta}{h}$  определяет угол  $\theta$  подхода луча к свободной поверхности,  $\varphi\left(\frac{\Delta}{h}\right)$ —относительное изменение амплитуды (фиг. 1,2),



Фиг. 1. Кривая относительного изменения амплитуд продольных волн с расстоянием.



Фиг. 2. Кривая относительного изменения амплитуд поперечных волн с расстоянием.

Приводим графики убывания амплитуд продольных и поперечных волн с расстоянием, построенные по материалам Краснополянской сейсмологической экспедиции. Вычисленные значения с учетом свободной поверхности отмечены на графиках значком ■ (фиг. 3, 4).

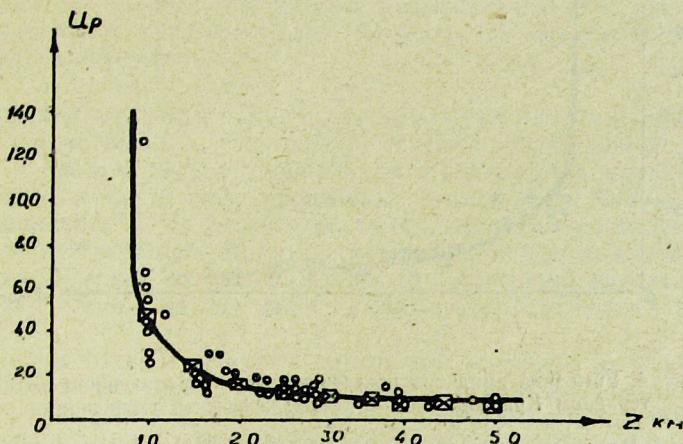
В практике инструментальных работ по сейсмическому микрорайонированию может оказаться, что все сейсмические станции расположены на рыхлых отложениях и достаточно удалены друг от друга. В этом случае оценку грунтовых условий можно произвести по данным этих станций, при условии учета гипоцентральных расстояний.

Если для оценки грунтовых условий используются, например, данные сейсмических станций с эпицентralьными расстояниями  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ , то действительное отношение амплитуд с учетом грунтовых условий получим в виде:

$$\frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{\varphi\left(\frac{\Delta_2}{h}\right)}{\varphi\left(\frac{\Delta_1}{h}\right)} = a_2^*,$$

где  $a_2$ ,  $a_1$  — инструментальные значения амплитуд;

$\varphi\left(\frac{\Delta_1}{h}\right)$ ,  $\varphi\left(\frac{\Delta_2}{h}\right)$  — ординаты кривой относительного изменения амплитуд в точках с абсциссами  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ .



Фиг. 3. Убывание амплитуд продольных волн с расстоянием по материалам Краснополянской сейсмологической экспедиции.

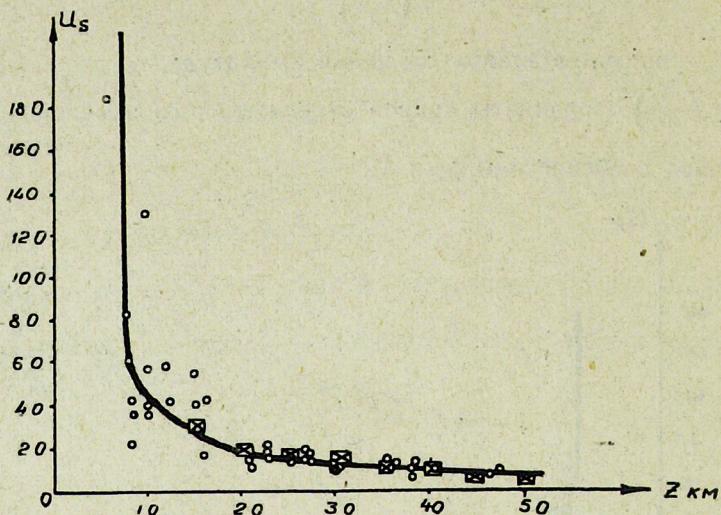
На фиг. 2 представлена кривая относительного изменения амплитуд для поперечных волн. График показывает, что учет граничных условий на свободной поверхности приводит к несколько более быстрому убыванию амплитуд с расстоянием, сравнительно с  $\frac{1}{r}$ .

Из изложенного видно, что сейсмическое микрорайонирование участков, расположенных на существенно различных гипоцентralьных расстояниях, включает в себя, наряду с оценкой грунтовых условий, также и учет гипоцентralьных расстояний. В связи с этим представляется важным получить, хотя бы в первом приближении, оценку значений кинематических элементов колебаний и деформаций на выходах коренных пород при землетрясениях различной энергии и на различных гипоцентralьных расстояниях.

Решение этой задачи дано в [2] и основано на построении эталонной кривой убывания амплитуд колебаний с расстоянием. В качестве такой взята кривая убывания амплитуд с расстоянием для землетрясения с энергией  $E=10^{21}$  эрг при глубине очага  $h=15$  км, что соответствует проявлению VII-балльного землетрясения в эпицентralьной зоне.

Таким образом, общее решение задачи сейсмического микрорайонирования включает в себя оценку изменения балльности на основе учета физических свойств грунтов, их мощности, параметров приходящих сей-

смических волн и условий залегания, а также и учет расположения ис-  
следуемых участков относительно ожидаемой локализации очагов силь-  
ных землетрясений. При существенном различии гипоцентральных рас-  
стояний этих участков связанное с этим изменение сейсмического эффек-  
та может быть учтено по изложенной методике.



Фиг. 4. Убывание амплитуд поперечных волн с расстоянием по ма-  
териалам Краснополянской сейсмологической экспедиции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Б. Голицын. Известия Российской академии наук, 9, 1915.
2. В. И. Бунэ, М. В. Гзовский, К. К. Запольский, В. И. Кейлис-  
Борок, В. Н. Крестников, Л. Н. Малиновская, И. Л. Нересов,  
Г. П. Павлова, Т. Г. Раутян, Г. И. Рейснер, Ю. В. Ризниченко,  
В. И. Халтурин. Методы детального изучения сейсмичности. Тр. Ин-та физики Зем-  
ли АН СССР, № 9 (176), 1960.
3. А. З. Кац. О методике учета гипоцентральных расстояний при сейсмическом  
микрорайонировании. Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, № 28 (176), 1963.

Институт физики Земли  
АН СССР.