

Н. В. ВЕШНЯКОВ

## РЕГИСТРАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛЕМЕНТА ЗЕМНОЙ КОРЫ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 10 V 1947)

Изучение сейсмических волн, распространяющихся от очага землетрясения, производится в настоящее время при помощи инерциальных приборов, почти исключительно маятникового типа. Обычно стремятся записать перемещение точки поверхности в функции времени, гораздо реже регистрируют скорость или ускорение. Представляется существенным включить в область сейсмических исследований, в дополнение к перемещениям, также и деформации.

Причины того, что до последнего времени сейсмометрия обращала внимание главным образом на перемещение и совершенно обходила деформации, имеют, с одной стороны, историческое основание, а с другой — сводятся к тому, что мерить перемещения значительно проще, чем мерить деформации, так как первые много больше вторых.

Положим, например, что в неограниченной среде в направлении  $r$  распространяется упругая волна

$$u = f\left(t - \frac{r}{v}\right),$$

где  $u$  — смещение точки,  $t$  — время,  $r$  — расстояние от начала отсчета,  $v$  — скорость распространения. Деформация сжатия или разряжения в направлении  $r$  определится в таком случае формулой:

$$\frac{du}{dr} = -\frac{1}{v} f' \left(t - \frac{r}{v}\right).$$

В этом выражении в качестве коэффициента при  $f'$  фигурирует величина, обратная скорости распространения волны. Поскольку скорость эта велика, деформация среды будет малой.

Первая попытка зарегистрировать интересующие нас деформации принадлежит Мильну<sup>(1)</sup>, затем этим вопросом занимался Оддонэ<sup>(2)</sup> и, наконец, в последнее время Бениоф<sup>(3)</sup>. Ни одна из этих попыток успехом не увенчалась, и дело было оставлено.

Автором этой статьи разработан и осуществлен сейсмический экстенсометр — прибор для регистрации объемных деформаций элемента земной коры во время землетрясения.

Схематически устройство прибора заключается в следующем. В грунт прочно заделываются две железные трубы с расстоянием между осями  $1\frac{1}{2}$  м (рис. 1). К одной из труб прикреплен горизонтальный стержень 1, к другой — электромагнитный преобразователь 2. Когда трубы сближаются или удаляются друг от друга, стержень воздействует на

преобразователь и в индукционной катушке последнего возникает э.д.с., пропорциональная относительной скорости перемещения обеих труб.

Электромагнитный преобразователь я сконструировал по образцу существующих приборов этого рода, надлежащим образом приспособив его к нужным мне целям. Описание подобных преобразователей можно найти в литературе (3-5).

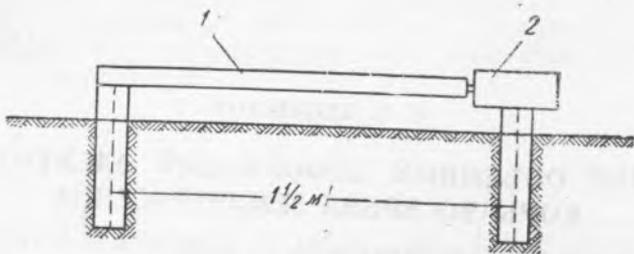


Рис. 1. Схема сейсмического экстенсометра

Индукционная катушка преобразователя замыкается на гальванометр с очень большим затуханием. Постоянная затухания  $D$  порядка 20—40. Можно показать (6,7), что дифференциальное уравнение движения такого гальванометра приводится к виду:

$$2\varepsilon \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{C}{R} \frac{dx}{dt},$$

где  $\varphi$  — угол поворота гальванометра,  $x$  — перемещение правой трубы относительно левой,  $\varepsilon$  — показатель затухания,  $C$  — константа, зависящая от конструкции прибора,  $R$  — полное сопротивление цепи.

Интегрируя это дифференциальное уравнение при нулевых начальных условиях, получим:

$$\varphi = A x(t),$$

т. е. отклонения гальванометра пропорциональны относительным перемещениям труб.

Весь прибор я называю сейсмическим экстенсометром. Он имеет то преимущество перед маятником, что искажения, вносимые в запись последним, здесь отсутствуют.

Три сейсмических экстенсометра, установленные в одной точке по трем взаимно-перпендикулярным направлениям и соединенные последовательно на один гальванометр, дадут запись изменения объема элемента земной коры при прохождении по ней упругих волн.

Предварительно каждый экстенсометр градуируется. Для этой цели к части электромагнитного преобразователя, соединенной наглухо с правой трубой, укрепляется микроскоп, а к части, соединенной с левой трубой, — микрошкала. Трубы принудительно сближаются и раздвигаются, причем в микроскоп производятся отсчеты этих относительных перемещений. Одновременно наблюдаются отклонения гальванометра. Таким путем определяется увеличение каждого экстенсометра. Подбором дополнительных сопротивлений все три прибора приводятся к одинаковой чувствительности. Такой прибор естественно назвать сейсмическим дилатометром.

Поперечные волны непосредственно не влияют на показания дилатометра. Однако не следует забывать, что падающая на земную поверхность упругая волна порождает две отраженных — продольную и поперечную. Кроме того, при наблюдениях на земной поверхности мы имеем дело не с истинными скоростями волн, а с кажущимися.

Сейсмический дилатометр был установлен в 1946 г. на сейсмической станции Оби-Гарм. Для этой цели в грунте (лёсс) был вырыт котлован со сторонами в 3 м. Этот котлован был покрыт крышей и снабжен входом с двумя дверями. Вдоль трех ребер этого куба были установлены сейсмические экстенсометры и соединены последовательно с аperiодическим гальванометром, установленным в другом помещении. С помощью этого прибора получены записи ряда землетрясений. Образец записи показан на рис. 2. Кривая I изображает деформацию сжатия и разряжения. Это «дилатограмма» (увеличение 6300). Кривая II представляет запись одной из составляющих перемещения (увеличение 1070). Это сейсмограмма. Она получена с помощью горизонтального маятникового сейсмографа с периодом свободных колебаний 11,8 сек. (конструкция Д. П. Кирноса). Сопоставление обеих записей показывает следующее.

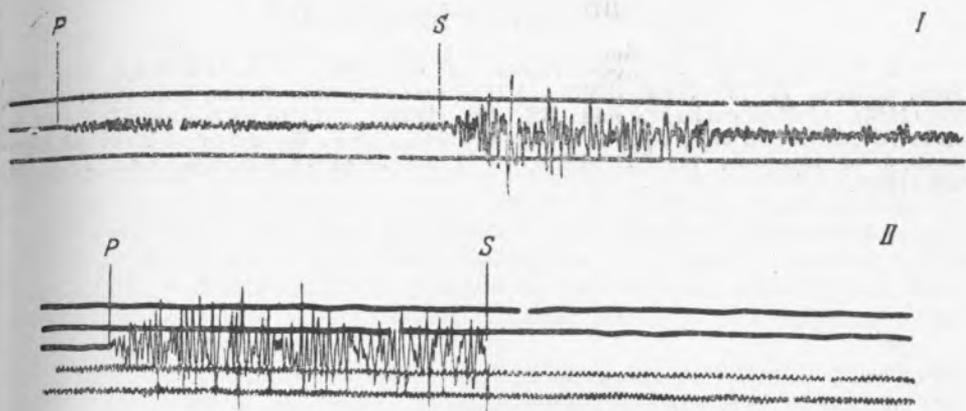


Рис. 2. Сейсмическая станция Оби-Гарм. Запись землетрясения 5 X 1946. Расстояние до эпицентра 210 км. I — дилатограмма, II — сейсмограмма

Вступление волны дилатации происходит плавно, с постепенным нарастанием амплитуд. Вступление волны смещения происходит резко. Дилатометр выделяет преимущественно волны с периодом 0,2—0,4 сек. и редко отмечает колебания с периодом 0,7 сек. Сейсмограф же выделяет в основном колебания порядка 0,7—0,8 сек. и лишь на их фоне рисует волны с периодом 0,2—0,3 сек.

В момент вступления поперечных волн объемное расширение грунта также резко возрастает, потому что, как указано выше, падающая на земную поверхность поперечная волна расщепляется при отражении на две — поперечную и продольную. Публикуемые здесь наблюдения свидетельствуют о том, что эта вторичная продольная волна значительно интенсивнее первичной. Это обстоятельство указывает на то, что энергия поперечной волны значительно больше энергии продольной, а это дает основание строить пока еще только догадку о том, что движение в очаге землетрясения носит преимущественно сдвиговый характер.

В дальнейшем предполагается дополнить наблюдения дилатаций наблюдениями сдвиговых явлений. Взаимное расположение экстенсометров соответствующим образом должно быть, конечно, изменено.

Следует обратить внимание на одно обстоятельство. Характер аргумента функции, определяющей волну, таков, что имеет место соотношение:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{v} \frac{\partial u}{\partial t}$$

т. е. деформация пропорциональна скорости частицы земной поверхности. Последняя же, как видно, в  $v$  раз больше численного значения деформации. Следовательно, выгодно изучать деформации, измеряя скорость перемещения частицы. Это может быть выполнено и маятниковыми приборами. Однако при этом надо иметь в виду, что каждый вид упругих волн распространяется со своей скоростью и, так как вдоль земной поверхности волна распространяется с кажущейся скоростью, то для каждой волны и для каждого землетрясения  $v$  будет в этом случае другим.

В какой степени справедливо последнее равенство, должны показать непосредственные наблюдения.

Сейсмологический институт  
Академии Наук СССР

Поступило  
10 V 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> J. Milne, Trans. Seis. Soc. Japan, **12**, 63 (1888). <sup>2</sup> E. Oddone, Boll. Soc. Sism. Italiana, **11**, 163 (1900—1901). <sup>3</sup> H. Benioff, Bull. Seism. Soc. America, **25**, 283 (1935). <sup>4</sup> H. Benioff, *ibid.*, **22**, 155 (1932). <sup>5</sup> Г. Шнирман, Тр. Сейсм. ин-та АН СССР, № 67, 9 (1935); № 106, 54 (1941). <sup>6</sup> F. Wenner, Bureau of Standards, J. of Research, **11**, 963 (1929). <sup>7</sup> Н. Вешняков и Д. Кирнос, ДАН, **50**, 159 (1945).