

Я.Н. Хамидуллин

СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭНЕРГИИ ОЖИДАЕМОГО СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Для построения общей физической модели сейсмического процесса целесообразно ввести величину, характеризующую энергонасыщенность геофизической среды относительно упругой потенциальной энергии. Тогда процесс перераспределения упругой энергии в этой среде можно было бы описать общим уравнением.

Предпосылкой введения подобной физической величины для описания сейсмического процесса является наблюдаемое на практике соотношение между величиной упругой энергии, высвобождаемой при землетрясении, и объемом его очага. Существование простой пропорциональной зависимости энергии землетрясения от объема сейсмического очага, отмеченное впервые Ч. Тсубои [1961], имеет фундаментальное значение при разработке общей теории сейсмического процесса. Принципиальным моментом при этом является иерархическое распределение преимущественных размеров отдельностей (L) твердых тел различной природы, которое подчиняется определенной закономерности. При этом за величину L принимают корень квадратный от площади поверхности отдельности. Величины этих размеров для разнообразных природных объектов представляют собой геометрическую последовательность с показателем q , который изменяется в пределах от 2 до 5 [Садовский, 1979; Садовский и др., 1982]. На основании этой закономерности вводится понятие иерархически-дискретной геофизической среды [Садовский и др., 1987] и на этой основе этими авторами дается качественное описание сейсмического процесса. Однако развитие фундаментальной и прикладной сейсмологии во многом сдерживается отсутствием количественного физического описания перераспределения упругой потенциальной энергии в твердой земной коре. Как известно, с позиции физики твердого тела возникновение упругой энергии можно связывать с упругими смещениями атомов из них равновесного положения в кристаллической структуре вещества геологической среды, а ее запас принято в геофизике называть энергонасыщенностью среды. Поэтому введение величины, характеризующей запас упругой энергии в локальном объеме среды, позволило бы описывать количественно процесс перераспределения этой энергии.

Дробление твердых тел при деформировании в реальных условиях, где преимущественные размеры отдельностей распределены в геометрической последовательности, обусловлено конкретной физической причинностью [Хамидуллин, 1989]. В частности, высвобождение избыточной упругой

энергии происходит за счет увеличения поверхности среды при ее дроблении, а показатель q показывает, во сколько раз отток упругой энергии превосходит ее накопление в процессе деления объема среды на части за рассматриваемый период времени.

В результате для геофизической среды, содержащей M -уровневой блочности, можно получить общее уравнение, описывающее процесс перераспределения упругой энергии [Хамидуллин, 1994]:

$$\frac{dS_M}{dt} = \sum_{k=1}^M \frac{dE_k}{dt} \cdot \left(\frac{1}{L_k} - \frac{1}{L_{k+1}} \right) \quad (1)$$

Наблюдаемое на практике постоянство величины плотности упругой энергии в очаговой области [Тсубои, 1961; Садовский и др., 1987] приводит при рассмотрении уравнения (1) к неравенству $dS_M/dt \geq 0$, которое является основным в неравновесной термодинамике для производства величины S , оценивающей неопределенность распределения внутренней энергии в реальных средах. Таким образом, уравнение (1) не противоречит фундаментальным физическим принципам.

Неизменность объемной плотности упругой энергии сейсмических волн ϵ_k для землетрясений различной природы и искусственных взрывов [Садовский и др., 1987], где ϵ_k получается равной $0,1 \text{ кДж/м}^3$, подтверждает справедливость выбора величины L для характеристики запаса упругой потенциальной энергии в локальном объеме среды, так как $E_k \sim \epsilon_k \sim L^3_k$. Из этого следует постоянство объемной плотности упругой энергии в очаговой области перед ее высвобождением, то есть существование критического значения этой величины, одинаковой для различных сейсмоактивных регионов. В целом уравнение (1) описывает перераспределение упругой энергии в геофизической среде до достижения критической величины плотности этой энергии в локальном объеме, что после высвобождения избыточной доли энергии приводит к состоянию промежуточного квазиравновесия и дискретности процесса. Суммарное значение S_M для регистрируемого диапазона сейсмической энергии будет иметь максимальное значение. Временные ряды S_M , построенные по результатам проявления сейсмичности в конкретных регионах [Хамидуллин, 1994], отражают специфику перераспределения упругой энергии для землетрясений различного энергетического класса.

Уравнение (1) можно записать в разностной форме для перехода с одного уровня блочности L_{k+1}

на более низкий уровень L_K , учитывая, что $L_K = L_{K+1}/q$:

$$\Delta S_M = \frac{\Delta E_{K+1}}{L_{K+1}} \cdot (q - 1)$$

Тогда можно записать выражение для оценки величины высвобождаемой упругой энергии ΔE_{K+1} для землетрясения соответствующего энергетического класса:

$$\Delta E_{K+1} = \frac{\Delta S_M \cdot L_{K+1}}{q - 1} \quad (2)$$

Величину $\Delta S_M = S_M^+ - S_M^-$, где S_M^+ и S_M^- — соответственно максимальное и минимальное значения в определенном интервале времени, определяем по результатам проявления землетрясений с учетом постоянства плотности сбрасываемой упругой энергии из очага по формуле [Хамидуллин, 1994]:

$$S_M = \frac{10^2 \cdot \bar{V}_{K+1}}{L_{K+1}} \cdot \sum_{k=1}^M N_k \cdot \ln \frac{N}{N_k} \left(\frac{Дж}{М} \right),$$

где \bar{V}_{K+1} — условный объем блока (куб) с ребром L_{K+1} , N_k — число землетрясений данного энергетического класса, N — общее число землетрясений в исследуемой зоне за определенный период времени. В таблице приведены значения ΔE_{K+1} , полученные при использовании выражения (2) при обработке результатов натурных наблюдений на

площади сейсмического полигона в окрестности г. Алма-Ата [Гальперина и др., 1985], где показатель q принимаем равным 3. Величины ΔE_{K+1} имеют вполне реальные значения для указанных в таблице магнитуд (M_0) и подобный подход можно использовать на практике для оценки избыточной упругой энергии в очаговой области.

В целом описание сейсмического процесса с рассматриваемых позиций меняет привычные представления о продолжительности подготовки сильных землетрясений, так как могут возникнуть ситуации, когда несколько блоков горных пород имеют запас упругой потенциальной энергии, близкий к критическому. Это обстоятельство может привести к возникновению серии сильных землетрясений в небольшом временном интервале. Анализ результатов исследования по Нью-Мадридской сейсмической зоне США [Investigations..., 1994], а также серия сильных землетрясений этого столетия в Турции и другие примеры, убеждают нас в реальности подобных ситуаций. Изучение научных материалов по Нью-Мадридской сейсмической зоне с позиций нашей методологии привело к разработке конкретного способа [Хамидуллин, 1998] выявления областей подготовки сильных землетрясений. Обнаружение таких областей играет решающую роль при разработке эффективной технологии контроля катастрофических землетрясений.

№ п/п	M_0	L_{K+1} , м	\bar{V}_{K+1} , м ³	S_M^+ , Дж/м	S_M^- , Дж/м	ΔE_{K+1} , Дж
1	5,5	1×10^4	1×10^{12}	$2,9 \times 10^{12}$	$1,6 \times 10^{12}$	$6,5 \times 10^{15}$
2	6,6	2×10^4	8×10^{12}	$12,4 \times 10^{12}$	$4,2 \times 10^{12}$	$8,2 \times 10^{16}$
3	5,3	1×10^4	1×10^{12}	$2,2 \times 10^{12}$	$1,2 \times 10^{12}$	$5,0 \times 10^{15}$

Литература:

Гальперина Р.М., Нерсесов И.Л., Гальперин Е.И. Сейсмический режим района г. Алма-Ата за 1972–1982 гг. / ИФЗ. М. 1985. 246 с.
 Садовский М.А. О распределении размеров твердых отдельностей // ДАН, 1986. Т. 269. № 1. С. 69–72.
 Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойстве дискретности горных пород // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1982. № 12. С. 3–18.
 Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 100 с.

Тсубои Ч. Энергия землетрясений, объем гипоцентральной области, площади афтершоков и прочность земной коры // Слабые землетрясения. М.: Изд-во «Иностранная литература», 1961. С. 160–164.
 Хамидуллин Я.Н. О природе дискретности геофизической среды // ДАН. 1989. Т. 305. № 4. С. 828–830.
 Хамидуллин Я.Н. Физика сейсмического процесса / УНЦ РАН. Уфа. 1994. 184 с.
 Хамидуллин Я.Н. Способ контроля землетрясений / Заявка № 96123157 от 05.12.96 г. / Бюл. №2 от 20.01.98 г. С. 26.
 Investigations of the New Madrid Seismic Zone / U.S. Geological Survey Professional Paper 1538 – М, N, H. Washington, 1994.