

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ОЧАГОВОЙ ОБЛАСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

2010г. А.М. Давтян, Т.А. Григорян

*Институт геологических наук НАН РА
0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а Республика Армения
E-mail hakhLeon@sci.am
Поступила в редакцию 06.11.2009г.*

В работе дается оценка вязкости горных масс при уменьшении плотности и разрывообразовании в очаге. Закономерности деформирования в очаговой области сильного землетрясения в афтершоковой стадии существенны для понимания физики очага землетрясения и прогноза сейсмических событий. Доказано, что в очаговой области за счет уменьшения плотности горных масс и резкого увеличения скорости деформаций земной коры происходит резкое падение вязкости. В работе рассмотрен случай вертикальных движений горных масс.

При исследовании очагов обнаруживаем, что деформация масс и разрывообразование в очаге зависят не только от известных нам параметров (глубины, плотности). Есть еще одно очень важное свойство горных пород, которое надо изучать – это вязкость. Очень часто на практике встречаются ситуации, когда объект исследования либо недоступен для непосредственного исследования, либо проведение такого эксперимента обходится дорого. Примерами таковых могут служить эксперименты по изучению глубинных слоев Земли, на основе которых можно было бы прогнозировать месторождения полезных ископаемых, предсказывать время и место разрушительных землетрясений. Отметим, что глубина самых глубоких скважин не превышает 13 км, а средний радиус Земли – 6371 км. Таким образом, для непосредственных наблюдений колебаний Земли, вызванных землетрясениями, доступна лишь небольшая ее приповерхностная часть. При этом необходимо делать заключение о свойствах Земли (например, об изменении ее плотности с глубиной) по приповерхностным измерениям.

Основным источником информации о процессах, происходящих в очаге землетрясения, являются сейсмические волны. Однако, стремление изучать физические аспекты очаговой области землетрясения с использованием лишь информации, содержащейся в записях сейсмических волн, напоминает ситуацию, когда по инструментальным записям звуковых волн грома мы пытались бы разобраться в сущности природного явления грозы.

Подавляющее большинство землетрясений вызывают напряжения в земной коре и литосфере, которые проявляются в процессе различных движений в недрах Земли. Как правило, эти движения и деформации

ведут к возникновению движений и деформаций в поверхности Земной коры.

Естественно предположить, что самые крупные землетрясения, свойственные какому-либо району, дают наибольшую информацию о физическом и механическом состоянии данной области. Можно ожидать, что такие землетрясения связаны с крупными разрывами и разломами, которые достаточно хорошо изучены с точки зрения геологии. Последнее обстоятельство позволяет сопоставить данные о механизме очагов с данными геологии. Это не значит, конечно, что во всех случаях будет получено хорошее согласование между теми и другими данными, так как землетрясения в коре происходят до глубины 30-40 км и более, а геология имеет дело с относительно неглубокими структурами.

Следует отметить также, что снимаемые в очаге землетрясения напряжения, ориентацию которых получаем при определении механизма очага, не являются напряжениями в среде, так как вследствие неоднородности среды разрывы при землетрясениях происходят там, где ослаблена прочность пород, и не обязательно по плоскостям максимальных напряжений. Однако, чем сильнее землетрясение, тем, по-видимому, ближе касательные напряжения на плоскостях разрыва к максимальным касательным напряжениям в данном объеме среды.

Спусковым механизмом всех этих процессов, в основном, является процесс перехода от одного энерго-напряженного состояния равновесия вещества к другому. Горная порода, образующая литосферу Земли, не статична – она все время меняет свои свойства в процессе зарядки и разрядки энергии, поступающей извне, и обмена энергией, происходящего между ее отдельностями. В конкретной структурной обстановке силой, способной вызывать такие изменения, когда вязкое поведение горных пород начинает преобладать над их упругим поведением, является сила тяжести. Поскольку она постоянна, то можно полагать, что в момент землетрясения в очаговой области происходят процессы, понижающие прочностные свойства горных пород. Наиболее вероятным представляется, что при массовом разрывообразовании в очаговой области при главном землетрясении происходит уменьшение эффективной вязкости горных пород.

Цель работы – дать оценку вязкости горных масс, разупроченных разрывообразованием в очаге. Закономерности деформирования очаговой области сильного землетрясения в афтершоковой стадии существенны для понимания физики очага землетрясения и прогноза сейсмических событий. Напряжения и скорости деформаций для вязкодеформированных тел, как известно, связываются с помощью уравнения (Козачок, 2006)

$$\sigma_x = \sigma_{cp} + 2\eta \cdot (\dot{\epsilon}_x - \dot{\epsilon}_{cp}), \quad (1)$$

где σ – напряжение, ϵ – скорость деформации, η – вязкость.

Если допустить, что в процессе афтершоковых явлений деформиро-

вание разуплотненного объема происходит только под действием силы тяжести, то

$$\sigma_x = \sigma_y = -\nu \cdot \sigma_z, \quad \varepsilon_x = \varepsilon_y = -\nu \cdot \dot{\varepsilon}_z$$

где ν - коэффициент Пуассона (принимая $\nu = 1/2$).

В этом случае

$$\sigma_{\text{ср}} = (\sigma_z + \sigma_x + \sigma_y) / 3 = \sigma_z \cdot (1 - 2 \cdot \nu) / 3 \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}_{\text{ср}} = \dot{\varepsilon}_x \cdot (1 - 2 \cdot \nu) / 3 \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), имеем

$$\sigma_z = 2 \cdot \eta \cdot \dot{\varepsilon}_z \quad (4)$$

Литостатическое давление на глубине равно

$$\sigma_z = -\rho \cdot g \cdot h, \quad (5)$$

где ρ - плотность горных пород, которую полагаем постоянной, g - ускорение свободного падения, h - глубина.

Подставляя (5) в (4), имеем

$$\eta = -\rho \cdot g \cdot h / (2 \cdot \dot{\varepsilon}_z) \quad (6)$$

Экспериментальные данные о механизмах очагов землетрясений позволяют получить оценки некоторых средних скоростей деформаций в объеме земной коры мощностью:

$$\bar{\dot{\varepsilon}}_z = -\frac{1}{H} \cdot \int_0^H \dot{\varepsilon}_z dh \quad (7)$$

Интегрируя (6) и подставляя значение из (7), получаем

$$\int_0^H \dot{\varepsilon}_z dh = \int_0^H \left(-\frac{\rho \cdot g \cdot h}{2\eta} \right) dh = -\frac{\rho \cdot g \cdot H^2}{4\eta}$$

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{4} / \left(-\frac{1}{H} \int_0^H \dot{\varepsilon}_z dh \right) = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{4 \bar{\dot{\varepsilon}}_z}$$

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{4 \bar{\dot{\varepsilon}}_z}$$

$$\eta = \rho \cdot g \cdot H / (4 \cdot \bar{\dot{\varepsilon}}_z) \quad (8)$$

Средняя скорость деформаций Земной коры $\bar{\dot{\varepsilon}}_z = 4,1 \cdot 10^{-13} \text{ с}^{-1}$. Для оценки, мощность сейсмически активного слоя нами принята 20 км (Оганесян и др., 2008), средняя плотность горных пород $\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$, $g = 10^3 \text{ см/с}^2$. В этом случае эффективная вязкость в очаговой зоне

$$\eta = \rho \cdot g \cdot H / (4 \cdot \dot{\epsilon}_z) = 2.5 \text{ г/см}^3 \cdot 10^3 \text{ см/с}^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ см} \cdot 1 / (4 \cdot 4.1) \cdot 10^{13} \text{ с} = 0.3 \cdot 10^{22} \text{ г/(с} \cdot \text{см)} =$$

$$= 0.3 \cdot 10^{22} \text{ г/(см} \cdot \text{с}^2) \cdot \text{с} = 0.3 \cdot 10^{15} \text{ МПа} \cdot \text{с} = 10^{21-22} \text{ Пз}.$$

(1 Пз = 1 г/(см·с), 1 Па = 1 Н/м² = 1 кг/(м·с²) = 10 г/(см·с²), 1 МПа = 10⁶ Па = 10⁷ г/(см·с²))
(Жарков, 1983).

Применим эти суждения для условий Армении. Среднюю плотность горных пород Армении примем $\rho = 2.7 \text{ г/см}^3$.

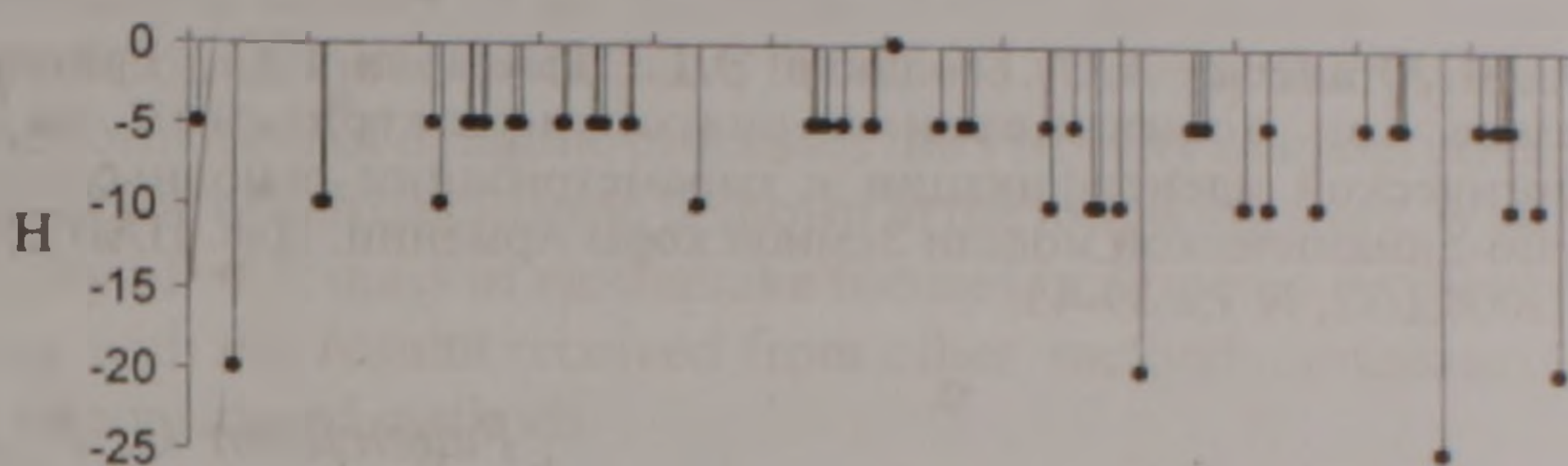


Рис. 1 Сейсмические события на территории Республики Армения в период 2008г.

Для глубин $H=5 \text{ км}$ и $H=10 \text{ км}$ подсчитаем эффективную вязкость горных пород в очаговой области:

для $H=5 \text{ км}$

$$\eta = \rho \cdot g \cdot H / (4 \cdot \dot{\epsilon}_z) = 2.7 \text{ г/см}^3 \cdot 10^3 \text{ см/с}^2 \cdot 5 \cdot 10^5 \text{ см} \cdot 1 / (4 \cdot 4.1) \cdot 10^{13} \text{ с} = 0.81 \cdot 10^{21} \text{ г/(с} \cdot \text{см)}$$

$$\eta = 0.81 \cdot 10^{21} \text{ Пз} = 0.81 \cdot 10^{14} \text{ МПа} \cdot \text{с}.$$

для $H=10 \text{ км}$

$$\eta = \rho \cdot g \cdot H / (4 \cdot \dot{\epsilon}_z) = 2.7 \text{ г/см}^3 \cdot 10^3 \text{ см/с}^2 \cdot 10^6 \text{ см} \cdot 1 / (4 \cdot 4.1) \cdot 10^{13} \text{ с} = 0.16 \cdot 10^{22} \text{ г/(с} \cdot \text{см)}$$

$$\eta = 0.16 \cdot 10^{22} \text{ Пз} = 0.16 \cdot 10^{15} \text{ МПа} \cdot \text{с}.$$

Несмотря на то, что оценки эффективной вязкости горных масс обусловлены уменьшением плотности, приемлемые реальные величины могут быть еще меньше (Кучай и др., 1978).

Следовательно, так как вязкость прямо пропорциональна плотности и обратно пропорциональна скорости деформации Земной коры, то при землетрясении в очаговой области за счет уменьшения плотности горных масс и резкого увеличения скорости деформации Земной коры соответственно происходит падение вязкости. Результаты расчетов вязкости вышеприведенным методом сопоставимы с результатами расчетов вязкости, произведенными другими методами, что в общем повышает степень достоверности рассматриваемых методов.

Работа выполнена в рамках базового финансирования Института геологических наук НАН РА.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Козачок А.А. Математические недоразумения при построении замкнутых классических уравнений динамики вязкой сжимаемой жидкости (уравнений Навье-Стокса).

Доклад на XI Международной конференции им. акад. Кравчука 18-20 мая 2006г. и на XI Международной конференции «Гидроаэромеханика в инженерной практике» 22-26 мая 2006 г., Киев, Украина. <http://a-kozachok1.narod.ru> 2006, с.4

Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983, 190 с.

Кучай В. К., Певнев А. К., Гусева Т. В. О характере современных тектонических движений в зоне Вахшинского надвига. Докл. АН СССР, 1978, т. 240, N 3, с.56-72

Оганесян С.М., Оганесян А.О., Геодакян Э.Г., Гаспарян Г.С., Григорян В.Г. Выделение зон возникновения очагов землетрясений на основе сейсмологической идентификации и параметризации основных элементов структурно-динамической модели Земной коры Армении. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2008, LXI, N 1, с.39-43.

Рецензент С. Р. Месчян

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՕՋԱԽԱՅԻՆ ԳՈՏՈՒՄ ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ԷՖԵԿՏԻՎ ՄԱԾՈՒՑԻԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԻ ԵՂԱՆԱԿԻ ՄԱՍԻՆ

Ա.Մ.Դավթյան, Տ.Ա. Գրիգորյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Աշխատանքում դիտարկվում է երկրաշարժերի օջախներում լեռնային զանգվածների մածուցիկության, խտության նվազման և խզումնա- առաջացման փոխադարձ կապը: Միաժամանակ, ցույց է տրվում, որ երկրաշարժի օջախում լեռնային զանգվածի խտության նվազման և երկրակեղևի դեֆորմացիայի արագության հետ կապված, տեղի է ունենում մածուցիկության կտրուկ անկում: Հետևաբար դինամիկ երևույթների առաջացման ժամանակ կարևոր գործոն կարող է հանդիսանալ նաև նյութի մածուցիկությունը, որի հաշվարկի եղանակներից մեկը բերվում է սույն աշխատանքում: Այս եղանակով հաշվարկվել է Հայաստանի օջախային գոտիների լեռնային ապարների մածուցիկությունը, որը համընկնելով այլ եղանակներով ստացված արդյունքների հետ, ընդ- հանուր առմամբ բարձրացնում է դիտարկվող մեթոդների հավաս- տիության աստիճանը:

ABOUT THE METHOD OF ESTIMATION OF EFFECTIVE VISCOSITY OF ROCKS IN EARTHQUAKE FOCUS

A.M.Davtyan, T.A.Grigoryan

A b s t r a c t

The article focuses the viscosity, reduction of thickness, reciprocal connection of breaks formation of rocks in the earthquake focus. At the same time, it shows that according to decrees of the thickness of rock mass and the increase of speed of crust's deformation in earthquake focus, the viscosity sharply decrees. Thus, during the formation of dynamic processes the viscosity of material can also be an important factor which calculation is shown in the following work. With this method the viscosity of rock mass of earthquake focuses in Armenia is calculated, which, coinciding with the results received from other methods, increases the level of validity of considered methods.