

ПРИМЕНЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПОЛЗУЧЕСТИ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Earthquake is a process of deformation and destruction which come of the Earth crust. The mode of this processes are physical-mechanical properties the Earth crust such as the deform solid and its stress state. Capacity of forecast the earthquakes is showed in this article. It is based on the kinetic of creep theory. The models applications of kinetic theory for description of vertical changes of the Earth crust by Niigata earthquake and San-Fernando earthquake confirmed that it show of physical-mechanical properties of stressed bodes. This theory is the base for earthquake forecast.

Введение. Землетрясения являются внешним проявлением процессов деформирования и разрушения, происходящих в земной коре. Характер этих процессов определяется физико-механическими свойствами земной коры как деформируемого твердого тела, а также ее напряженным состоянием, которое приводит земную кору в движение.

Движение земной коры носит постоянный характер. Скорость движения различна, и там, где скорость резко увеличивается за счет импульсного высвобождения энергии, возникают быстрые колебания, воспринимаемые нами как землетрясение.

Основная часть. Главная трудность для изучения землетрясений с позиций механики деформируемого твердого тела заключается в выяснении закономерностей движения земной коры. О составе и физико-механических свойствах земной коры как твердого тела имеются довольно четкие научные знания. Выработаны достаточно убедительные научные представления о силах, действующих на земную кору. На основе данной информации разработана статическая модель напряженного состояния, по которой давление вещества мантии уравновешивается массой плит земной коры. Однако надежная модель движения плит земной коры, которое не является равномерным и сопровождается разрушениями в очагах, вызывающими землетрясения, еще не разработана.

Традиционно объяснение механизма возникновения землетрясений основывается на представлениях о предельных состояниях напряженных твердых тел, когда разрушение рассматривается как следствие возникновения в теле предельных напряжений или деформаций. По таким понятиям «землетрясения – это явления, при которых земная кора и верхняя мантия постоянно подвергаются воздействию обширного поля сил. В ослабленных участках коры внезапно образуются трещины, при этом единым импульсом высвобождаются напряжения и деформации и возбуждаются сейсмические волны» [1]. Поле сил, действующих на земную кору, создается веществом мантии, поднимающимся из глубин Земли. За счет этих сил при достижении деформации предельных значений происходит скачкообразная подвижка плит (со-

гласно теории тектоники плит), что на поверхности земли ощущается как землетрясение.

Приведенное представление о механизме разрушения горных пород при землетрясении основывается на результатах кратковременных испытаний на сжатие, которые до настоящего времени остаются основой для построения теорий прочности. В рамках данных сведений выработаны такие понятия, как пределы прочности материалов и предельные деформации, при достижении которых материал разрушается. Применение таких подходов к разрушению эффективно для строительной практики, где ставится целью, чтобы проектируемое сооружение не достигло предельного состояния в процессе эксплуатации. И это в подавляющем большинстве случаев удается, так как имеются надежные методы статических расчетов, а также большой накопленный опыт экспериментальных исследований.

Совершенно иная ситуация с прогнозом землетрясений, где требуется точно знать момент наступления предельного состояния. Традиционные теории прочности не дали ответа на данный вопрос. Основным недостатком этих теорий является отсутствие обоснованного учета в них такого важного фактора, как время. Исследования второй половины прошлого столетия убедительно показали, что прочность материалов зависит от времени и скорости приложения нагрузки [2]. Материал может разрушаться при любых напряжениях, и вводится такое понятие долговечности, как время до разрушения тела при заданном напряжении.

С позиций кинетической концепции прочности эксперимент по моделированию землетрясения может выглядеть следующим образом. Образец горной породы подвергается сжатию по классической методике [1] напряжениями, меньшими предела прочности. Засекается время до сдвига, при этом измеряются деформации между случайно выбранными точками. Данный эксперимент соответствует испытаниям на ползучесть. Именно такой эксперимент ставит природа с земной корой, а наши исследования связаны с измерениями деформаций между точками на земной поверхности или на некоторой глубине, объединенными в ту или иную систему. Для успеш-

нного предсказания времени землетрясения необходима теория, позволяющая описать изменения данных деформаций до момента разрушения породы. Нами предлагается такая зависимость в следующем виде [3, 4]:

$$t = \tau_0 \ln \frac{\delta}{\varepsilon} \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma_0 \delta / \varepsilon}{kT}, \quad (1)$$

где τ_0 – период колебаний атома (принимаем 10^{-13} с); δ – деформация, соответствующая разрыву межатомной связи; ε – деформация; U_0 – энергия активации процесса ползучести, принимаемая равной энергии самодиффузии; γ – коэффициент с размерностью объема, приводящий напряжения к энергии активации процесса ползучести; σ_0 – напряжения от нагрузки; k – постоянная Больцмана; T – температура; t – время, необходимое на развитие соответствующей деформации.

На рис. 1 графически представлена такая зависимость, отражающая в соответствии с формулой (1) изменение деформаций во времени в координатах $\varepsilon' - t'$ от начала приложения нагрузки до разрушения. На рис. 1 показан еще один параметр δ , который рассматривается как предельная деформация межатомной связи, при которой она разрывается.

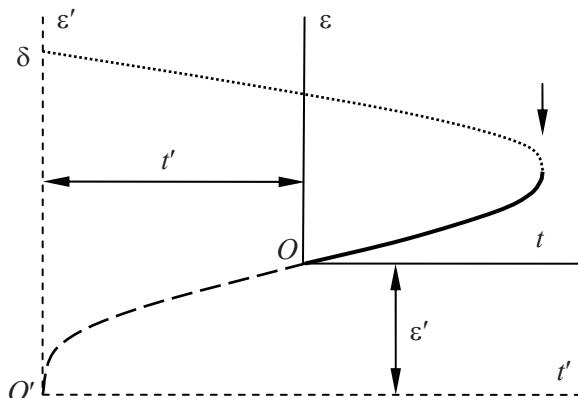


Рис. 1. Изменение деформаций во времени при ползучести

При описании деформаций, предшествующих землетрясению, с помощью формулы (1) мы должны иметь в виду, что нам не известно начало процесса, вызвавшего это землетрясение, т. е. точка, деформацию которой мы измеряем, уже получила до начала измерений какую-то деформацию ε' . На рис. 1 показана такая точка O с начальной деформацией ε' . Таким образом, для привязки формулы (1) к координатам реальных измерений $\varepsilon - t$ мы должны ввести в нее еще один параметр ε' , представляющий собой деформацию, полученную исследуемой точкой до начала измерений. С учетом данной деформации формула (1) преобразуется к следующему виду:

$$t = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma_0 \delta / \varepsilon'}{kT} \times \left(\ln \frac{\delta}{\varepsilon + \varepsilon'} \exp \frac{\gamma \sigma_0 \delta \varepsilon}{\varepsilon' (\varepsilon + \varepsilon') kT} - \ln \frac{\delta}{\varepsilon'} \right). \quad (2)$$

Для определения долговечности, согласно теории ползучести [3], необходимо рассчитать напряжения σ , соответствующие разрушению тела, из следующего уравнения:

$$\frac{\gamma \sigma}{kT} \ln \frac{\sigma}{\sigma_0} = 1. \quad (3)$$

Затем определим соответствующую деформацию $\varepsilon = (\sigma_0 \delta / \sigma) - \varepsilon'$, при подстановке которой в формулу (2) получим время до землетрясения.

Применим рассматриваемую теорию к описанию реальных деформаций поверхности Земли перед землетрясением. В качестве таких данных используем результаты измерений вертикальных смещений нивелирных реперов вдоль побережья Японского моря до и после землетрясения Ниигата в 1964 г. при фиксированной станции Касивадзаки. На рис. 2 показана схема расположения нивелирного хода и данные по смещению некоторых реперов [3, 4].

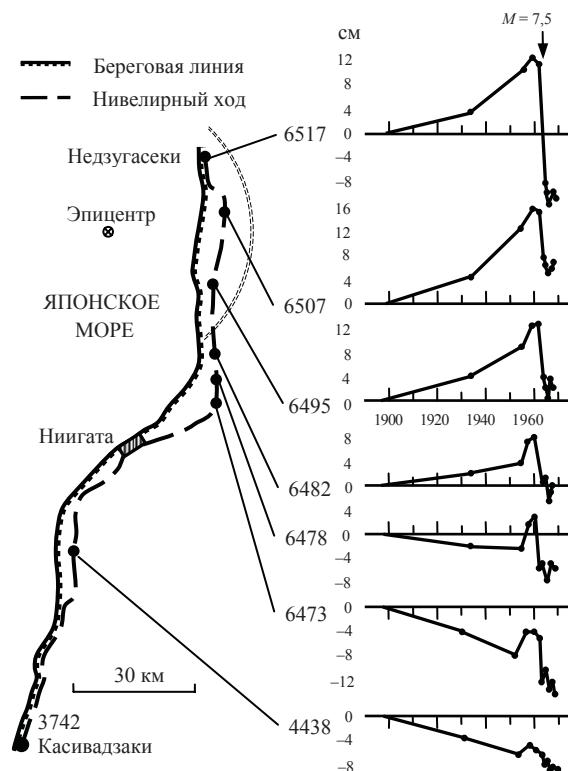


Рис. 2. Изменение вертикальных смещений нивелирных реперов до и после землетрясения Ниигата при фиксированной станции Касивадзаки [3, 4]

Как видно из рис. 2, смещения реперов не носят одинаковый характер. Для выбора данных,

которые будем описывать нашей теорией, основываясь на эмпирической зависимости Дамбара [4] между магнитудой землетрясения и средним радиусом области земной поверхности, охваченной процессом деформирования в предверии землетрясения. По данной зависимости для магнитуды 7,5 радиус проявления деформаций землетрясения составил 35 км (на рис. 2 соответствующая граница области деформаций отмечена двойной штриховой линией). Мы несколько расширили данный диапазон и для сравнительного анализа настоящей теории и формулы Дамбара включили в исследования результаты измерений по ближайшему к трем четвертому реперу. Значение температуры принималось с учетом глубины эпицентра землетрясения и правила повышения температуры на 20 К на каждый километр (в данном случае эта глубина принята около 30 км).

На рис. 3, а сплошной кривой отражена зависимость деформаций ползучести во времени, построенная по формуле (2) в соответствии с результатами измерений смещений указанных выше четырех реперов. Для построения такой кривой применялись следующие значения входящих в формулу (2) параметров: $U_0 = 380$ кДж/моль; $\gamma = 0,08$ кДж/(моль · МПа); $\sigma_0 = 90$ МПа; $\delta = 51$ см; $\epsilon' = 15$ см; $RT = 7$ кДж/моль.

Используем еще одну возможность применения зависимости (2) для описания деформаций земной поверхности перед землетрясением. В работе [4] приводятся данные по изменению высот семи реперов при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо. Используя формулу Дамбара, дающую радиус около 10 км, мы отобрали результаты измерений для ближайших к эпицентру землетрясения трех реперов и подобрали параметры, позволившие наиболее близко описать эти данные с помощью формулы (2). При этом мы учитывали, что глубина эпицентра землетрясения составила 8 км, а магнитуда $M = 6,4$. На рис. 3, б соответствующими значениями показаны данные за 10 лет по измерению высот реперов c , d и e , а также сплошная кривая, построенная по зависимости (2) с использованием следующих значений входящих в зависимость (2) параметров: $U_0 = 195$ кДж/моль; $\gamma = 0,083$ кДж/(моль · МПа); $\sigma_0 = 100$ МПа; $\delta = 70$ см; $\epsilon' = 30$ см; $RT = 3,6$ кДж/моль.

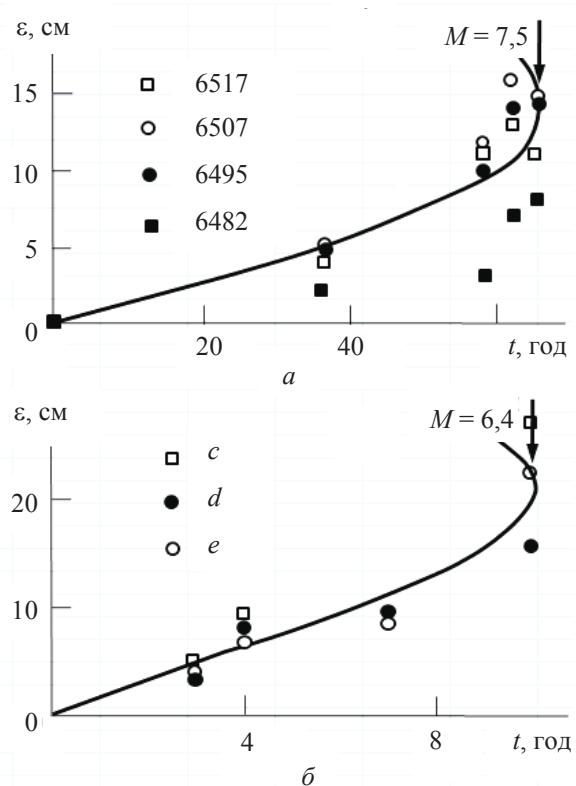


Рис. 3. Зависимости изменения вертикальных смещений поверхности земли во времени при землетрясениях:
а – в Ниигата; б – Сан-Фернандо

Заключение. Приведенные примеры применения кинетической теории подтверждают, что она достаточно близко отражает развитие физико-механических процессов, происходящих в напряженных телах, в том числе и в земной коре, и может служить основой для разработки методики предсказания землетрясений.

Литература

1. Стеликов, Н. Е. Кинетика деформирования и разрушения твердых тел при ползучести / Н. Е. Стеликов // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2004. – № 3. – С. 60–63.
2. Стеликов, Н. Е. Кинетическая теория ползучести: монография / Н. Е. Стеликов. – Горки: Ред.-изд. отдел БГСХА, 2006. – 104 с.
3. Моги, К. Предсказание землетрясений / К. Моги. – М.: Мир, 1988. – 382 с.
4. Рикитаке, Т. Предсказание землетрясений / Т. Рикитаке. – М.: Мир, 1979. – 390 с.