

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЭНТРОПИЙНОЙ МОДЕЛИ ОЧАГОВОЙ ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕ- ТЯСЕНИЯ

Диденко А.О.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Симонов К.В.
Сибирский федеральный университет

В работе предлагается подход, позволяющий количественно описывать процесс подготовки сильного землетрясения по сейсмическим данным для выделенной очаговой области. Очаговые области – сейсмические системы (СС), причисляемые к так называемым открытым диссипативным системам, в которых происходит производство и отток энтропии. В процессе эволюции СС периодически переходят из упорядоченного состояния в хаотическое неустойчивое состояние. Слабые землетрясения информируют о состоянии СС, а сильные землетрясения восстанавливают упорядоченное равновесное состояние системы.

Алгоритмическая схема описания сейсмоактивной зоны на первом этапе включает выделение области подготовки сильного землетрясения. Критерием для такого выделения служат известные признаки, характеризующие общий повышенный фон значений ряда предвестников, которые регистрируются на основе организованной в исследуемой области системы комплексного мониторинга. В частности, результаты сейсмического контроля определенной сеймотектонической структуры, которая характеризуется повышенным сейсмическим режимом, могут служить основанием для начала процедуры специального анализа данных для целей краткосрочного прогноза ожидаемого землетрясения. Итеративным образом выполняется разделение регистрируемых сейсмических событий в анализируемой пространственно-временной последовательности на высокоэнергетические и низкоэнергетические уровни, характеризующие состояние изучаемой среды и определяющие условия возникновения сильного землетрясения.

В результате выделяется сейсмоактивная очаговая область L (сейсмическая система), характеризующая определенный объем среды V , который включает землетрясения наблюдаемой последовательности в диапазоне магнитуд: $M_{min} < M < M_{max}$. При этом сейсмические события в интервале $M_{min} < M < M^*$ определяют особенности сейсмического процесса (индикаторы), а магнитуды в интервале $M^* < M < M_{max}$ представляют прогнозируемые сильные землетрясения, где M^* – некоторая пороговая магнитуда. В период наблюдений над реальным процессом возможно выделение отдельных частей $L_i(V_i)$ исследуемой области $L(V)$, которые представляют сегменты основного активного разлома. Эти сегменты можно считать относительно однородными сеймотектоническими зонами с однотипными характеристиками землетрясений.

В качестве характерного временного интервала изучаемого сейсмического процесса будем рассматривать сейсмические периоды между двумя сильными землетрясениями $T_k = t_k - t_{k-1}$. Пусть $T = t_m - t_0$ – временной интервал наблюдения сейсмического процесса, где t_0 – начальная дата, t_m – текущий момент времени. Для математического моделирования процесса выбирается шаг по времени δt . Пусть за время T завершился j сейсмический цикл, $j = 1, 2, \dots, N$. Тогда состояние сейсмической системы внутри сейсмического цикла в период $t_{C_{j-1}} < t < t_{C_j}$ описывать кумулятивными энергетическими параметрами среды E_c и S_c , которые определяются по следующим соотношениям:

$$E_c(t) = \sum_{i=1}^{Nt} E_i, \quad (1)$$

$$S_c(E_c, t) = (t - t_{c_{j-1}}) \cdot E_c - \sum_{i=1}^{N_i} (t - t_{c_{j-1}}) \cdot E_i, \quad (2)$$

где E_i – сейсмическая энергия от землетрясений-индикаторов исследуемой последовательности, суммирование ведется по всем сейсмическим событиям пространственно-временной последовательности с магнитудами $M_{min} < M(t) < M^*$ внутри сейсмического цикла к моменту времени t . В соотношении (2) S_c имеет смысл функции плотности состояний для наблюдаемой сейсмической области. По аналогии с определением физической энтропии в термодинамике, величина W_c определяется как энтропия очаговой области:

$$W_c = \lg S_c = \lg \{ E_c \cdot T_c - \sum E_i \cdot T_i \}. \quad (3)$$

Функция S_c является неубывающей и имеет размерность (энергия*время), энтропия W_c имеет размерность десятичного логарифма этой величины. Необходимым условием для выделения СС является то, что за время описания T число завершившихся сейсмических циклов должно быть больше двух ($N > 2$). Для каждого завершившегося сейсмического цикла C_j , $j = 1, 2, \dots, N$, на основе землетрясений-индикаторов в медленной шкале времени можно рассчитать 4 параметра:

$$E_{cj}, \quad S_{cj}, \quad K_{cj} = \lg E_{cj}, \quad W_{cj} = \lg S_{cj}, \quad (4)$$

в быстрой шкале времени два параметра (энергия и класс сильных землетрясений): E_{sj} , $K_{sj} = \lg E_{sj}$. Параметры (4) являются контролирующими для сильных землетрясений. Для однородных сейсмотектонических зон (ОСЗ) на основе дискретного набора эмпирических чисел $\{K_{sj}^l, W_{sj}^l\}$ методом наименьших квадратов можно определить константы a и b , которые используются в уравнении (5). Тогда контролирующее уравнение l -й ОСЗ запишется в виде:

$$K_{sl} = a_l W + b_l, \quad |K_{sl} - K_{sj}^l| / |K_{sl}| \leq \varepsilon, \quad W_{\min}^l \leq W \leq W_{\max}^l. \quad (5)$$

Состояние системы описывается двумя независимыми контролирующими параметрами (4): энтропией W_c и кумулятивным энергетическим классом K_c . Для каждого элемента L_i системы, используя уравнение (5), можно эмпирически найти пороговые параметры: $(W_{cj}^{li})_{\min}$, $(W_{cj}^{li})_{\max}$, $(K_{cj}^{li})_{\min}$, $(K_{cj}^{li})_{\max}$. Когда независимые контролирующие параметры (4) находятся внутри пороговых значений для элемента l_i :

$$W_0 \leq (W_{cj}^{li})_{\min} \leq W_{cj} \leq (W_{cj}^{li})_{\max} \leq W_{\max}^l \leq W_{\max}, \quad (6)$$

$$K_0 \leq (K_{cj}^{li})_{\min} \leq K_{cj} \leq (K_{cj}^{li})_{\max} \leq K_{\max}^l \leq K_{\max}, \quad (7)$$

то данный элемент системы находится в неустойчивом состоянии. Константы a_l , b_l и пороговые параметры (6)-(7) за весь период описания сейсмических процессов не изменяются и со временем могут быть уточнены.

В ходе работы, согласно данной схеме, описано несколько сейсмических процессов подготовки сильных землетрясений для очаговой области в районе Центральных Курил, где в период наблюдений произошло 4 сильных землетрясения, два из них с магнитудами $M=8,2$, а другие два – с магнитудами $M=6,2$ и $M=6,4$. Предварительно выделены очаговые зоны подготовки процессов, как описано выше, а затем в выделенных областях произведено разбиение временного ряда событий на временные интервалы T

(разница между сильным землетрясением и началом подготовки процесса). Для каждого процесса определены контролирующие параметры (4), просчитанные с помощью формул (1)-(3). Затем найдены коэффициенты a и b и построены графики уравнения $K=aW+b$ (см. рис. 1).

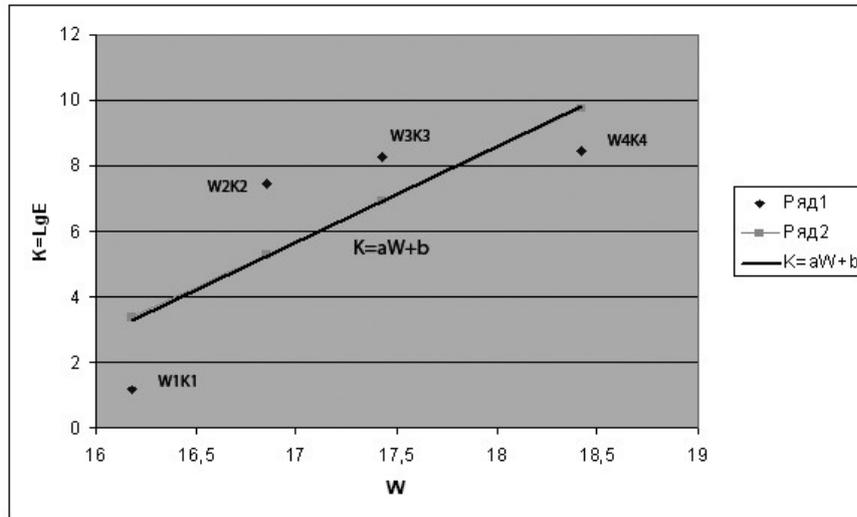


Рис. 1. График линейного уравнения, контролирующего сейсмический процесс в ОСЗ. $W_i, K_i, i=1-4$ - эмпирические значения контролирующих параметров в конце 4 сейсмических циклов

Для района Центральных Курил $a=2,83, b=-42,39$ и уравнение имеет вид: $K=2,83W-42,39$. На рис. 2 представлен график зависимости энтропии W от функции S , рассчитанной по формуле (2).

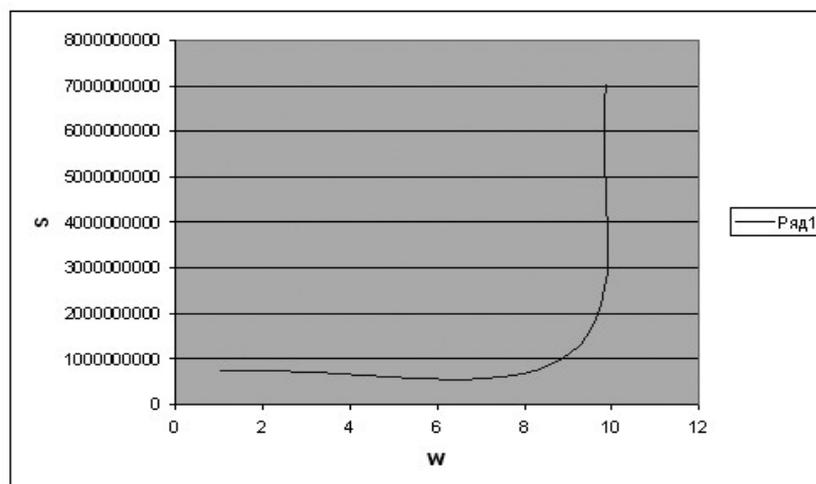


Рис. 2. График зависимости энтропии W от функции S

Таким образом, с помощью разработанного алгоритма можно оценивать контролирующие параметры сейсмической системы и вычислить их пороговые значения, что позволяет на основе пространственно-временного сейсмического мониторинга оценивать степень неустойчивости изучаемой очаговой области.