

Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ДИНАМИКА СЕЙСМОГЕННЫХ РАЗРЫВОВ КЫРГЫЗСКОЙ ЧАСТИ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ТАРИМА, ПАМИРА И КАЗАХСТАНСКОГО ЩИТА

M. Omuraliev, A. Omuralieva, E. Achakeev

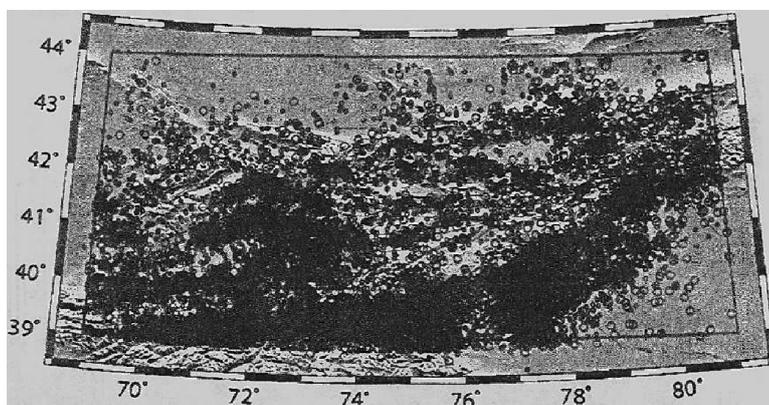
SEQUENCE OF EARTHQUAKES AND DYNAMICS OF SEISMOGENIC RUPTURES IN THE KYRGYZ TIEN SHAN AND ADJACENT AREAS OF THE TA RIM BASIN, THE PAMIR AND THE KAZAKH SHIELD

УДК:550.34

Выделены периоды активизации длительностью около 35 лет и периоды затишья длительностью 4 года в промежутке времени наблюдения с 1960 г. по 2010 г. Установлена закономерность изменения кумулятивной сейсмической энергии. Определена сейсмическая мощность, средний поток сейсмической энергии, скорость накопления сейсмогенных разрывов и подвижек по сейс-могенным разломам. Оценены суммарные величины сейсмического момента и сброшенного напряжения. Установлено, что время повторения землетрясений главным образом зависит от площади изучаемого региона.

Seismically active and calm periods lasting about 35 years and 4 years, respectively, in the time interval of observation from 1960 to 2010 were distinguished. The regularity of change in the cumulative seismic energy was determined. Seismic energy released per year and unit area, as well as accumulation rate of ruptures and shifts at seismogenic faults were calculated. The total seismic moment and stress drop values were estimated. It is found that earthquake recurrence time strongly depends on the study area size.

Рассмотрим последовательность проявления землетрясений с $K > 10$ ($K = \lg E$, Дж) в квадрате $q > = 39^\circ - 44^\circ$, $l = 69^\circ - 81^\circ$ за период 1960-2010 гг. на основе каталога событий, составленного Институтом сейсмологии НАН КР, с учетом данных институтов соседних стран (рис.1). С 1962 г. до 1997 г. наблюдался период сейсмической активизации (рис.2). По 1992 г. отмечался подъем активизации с локальными затишьями, а после - спады активизации. Пиковые значения энергетического класса отмечались в 1963 г. ($K=15,9$), в 1974 г. ($K=16,6$) и в 1992 г. ($K=17,0$). Промежуток времени между ними составил 11 лет, 18 лет, соответственно. В периоде 1998-2002 гг. проявилось резкое сейсмическое затишье.



$K=9\ 10$
 $K=131415\ 16\ 17$
 $K=131415\ 16\ 17$
 $K=131415\ 16\ 17$
 $K=131415\ 16\ 17$

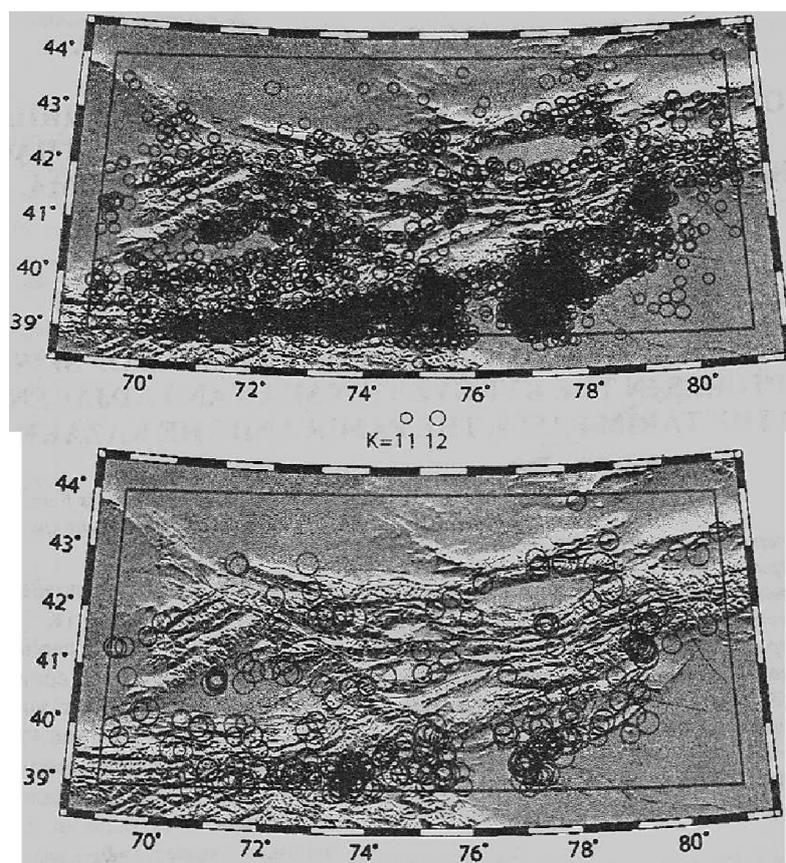


Рис.1. Распределение эпицентров землетрясений с $K=9-10$ (а), $K=11-12$ (б) $K=13-17$ (в) за 1960 - 2010 гг. в квадрате с координатами $\varphi=39^{\circ}-44^{\circ}$, $\lambda=69^{\circ}-81$. Кружками разного радиуса обозначены землетрясения соответствующего энергетического класса $K=\lg E$, Дж.

С 2003 г. отмечалась постепенная сейсмическая активизация. 18

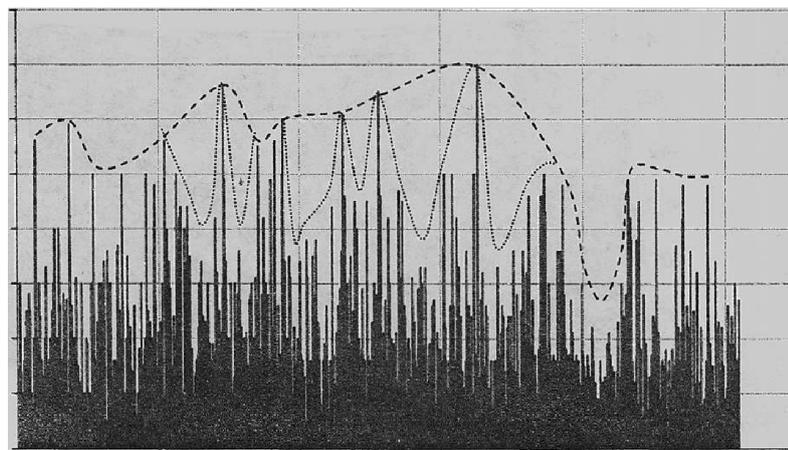


Рис.2. Последовательность проявления землетрясений с энергетическими классами $K > 10$ за 1960-2010 гг. в Кыргызской части Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=39^{\circ}-44^{\circ}$, $X=69^{\circ}-81$. Пунктирными линиями обозначены периоды сейсмической активизации и затишья; точечными линиями - локальные периоды активизации и затишья

График изменения кумулятивной сейсмической энергии землетрясений с $K > 8$ неровный, отражает сложный характер динамики высокой сейсмической активности (рис.3).

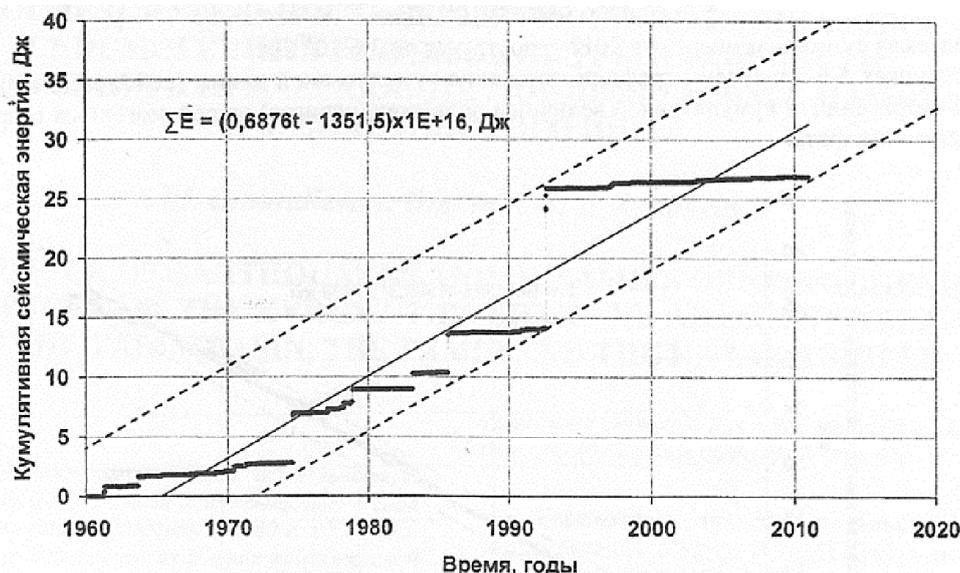


Рис.3. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K > 8$ на территории Кыргызстана и прилегающих районов в квадрате $ср = 39^{\circ}-44^{\circ}$, $л. = 69^{\circ}-81^{\circ}$ с 1960 г. по 2010 г. Сплошной линией обозначена средняя линия графика, пунктирными линиями - верхний и нижний пределы флуктуации

Флуктуация высвобождения сейсмической энергии ограничена двумя параллельными линиями. Средняя линия выражается формулой:

$$\Sigma E = (0,6871 - 1351,5) - 10^{16}, \quad (1)$$

где E - сейсмическая энергия, Дж, t - время, год.

Верхняя линия выражается формулой:

$$\Sigma E = (0,687t - 1344,35) - 10^{16} \text{ Дж.} \quad (2)$$

Разница между точками верхней и нижней линий - максимальная суммарная энергия составляет $1,18 \cdot 10^{17}$, Дж. Данное значение было достигнуто в 1992 г. при Суусамырском землетрясении и находилось на верхнем пределе флуктуации. Суммарная энергия за период с 1960 г. по 2010 г. составила $2,69 \cdot 10^{17}$, Дж и приближалась к нижнему пределу флуктуации. Среднегодовая кумулятивная сейсмическая энергия за 51-летний период составляет $5,27 \cdot 10^{15}$, Дж/год. Разделив эту годовую энергию на площадь региона $S = 600288 \text{ км}^2$ оценим средний поток сейсмической энергии, равный $8,78 \cdot 10^9$ Дж/год- км^2 .

На рис.4 приведено изменение кумулятивной сейсмической энергии после 1992 г.

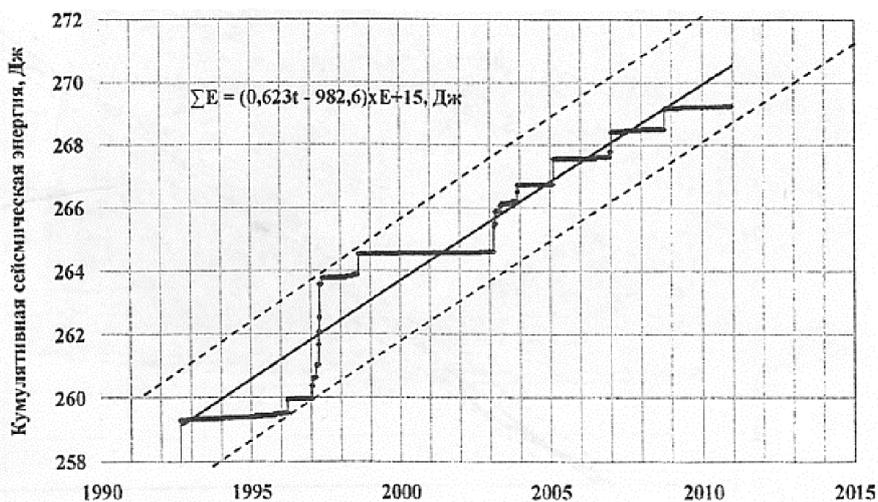


Рис.4. Кумулятивная сейсмическая энергия высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K > 8$ на территории Кыргызстана и прилегающих районов в квадрате $ср = 39^{\circ}-44^{\circ}$, $л. = 69^{\circ}-81^{\circ}$ с 1992 г. по 2010 г. Сплошной линией обозначена средняя линия графика, пунктирными линиями - верхний и нижний пределы флуктуации

Средняя линия выражается формулой:

$$\Sigma E = (0,623t - 982,6) \cdot 10^{15}, \text{ Дж}, * \quad (3)$$

а верхняя линия-

$$\Sigma E = (0,623t - 980,65) \cdot 10^{15}, \text{ Дж}. \quad (4)$$

Ожидаемая суммарная энергия в 2012 г. достигнет до $3,6 \cdot 10^{15}$ Дж.

На рисунках 5-6 приведены графики изменения кумулятивной длины (сейсмогенных) разрывов (ΣL) в очагах землетрясений и кумулятивной величины подвижек (сдвигов) на сейсмогенных разрывах (ΣU) в рассматриваемом квадрате.

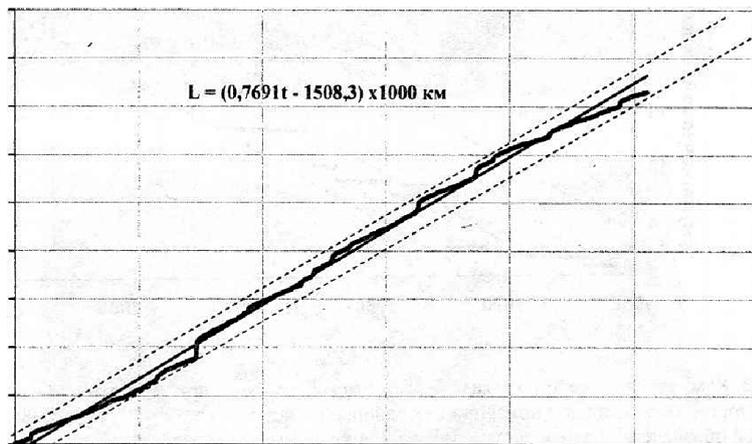


Рис.5. Кумулятивная длина ΣL сейсмогенных разрывов, образованных при землетрясениях с энергетическими классами $K > 8$ в Кыргызстане и его окрестностях в квадрате $\sigma = 39^\circ - 44^\circ$, $\kappa = 69^\circ - 81^\circ$ с 1960 г. по 2010 г.

Средняя линия (тренд) изменения кумулятивной длины разрывов выражается формулой: $X L = (0,769t - 1508) \cdot 1000$ км,

$$\Sigma L = (0,769t - 1508) \cdot 1000, \text{ км}, \quad (5)$$

а средняя линия изменения кумулятивной величины подвижек на сейсмогенных разрывах - следующей формулой:

$$\Sigma U = (0,3756t - 736,57) \cdot 100, \text{ м}, \quad (6)$$

где t - время.

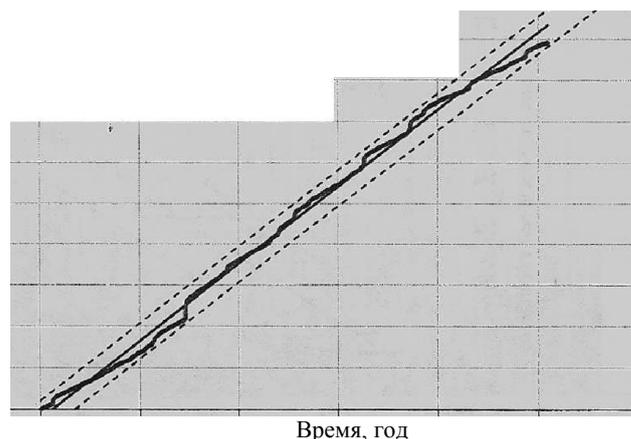


Рис.6. Кумулятивная величина вероятной подвижки, проявленной при последовательности землетрясений с $K > 8$ в Кыргызстане и его окрестностях в квадрате $\sigma = 39^\circ - 44^\circ$, $\kappa = 69^\circ - 81^\circ$ с 1960 г. по 2010 г.

Значение кумулятивной длины сейсмогенных разрывов за период с 1960 г. по 2010 г. в данном блоке составят = 36505 км. Значение суммарного сдвига (подвижки) на сейсмогенных разрывах составляет $\Sigma U = 1782,69$ м. Скорость накопления длины сейсмогенных разрывов за 51-летний период составляет 715,8 км/год, а скорость накопления сдвигов составляет 3495 см/год.

На основании данных ΣL и ΣU можно определить общий сейсмический момент [2]:

$$\Sigma M_0 = \mu D \Sigma U \Sigma L, \quad (7)$$

где μ - жесткость, D - протяженность зоны сейсмогенных разрывов по падению. При жесткости равной $\mu = 3,7 \cdot 10^{10}$ дин/см² и величине $D = 25$ км (по глубинам землетрясений) общий сейсмический момент составляет:

$$\Sigma M_0 = 6,0 \cdot 10^{32} \text{ дин} \cdot \text{см.} \quad (8)$$

На основании формулы [1]:

$$\sigma = (8/3\pi)\mu U/D, \quad (9)$$

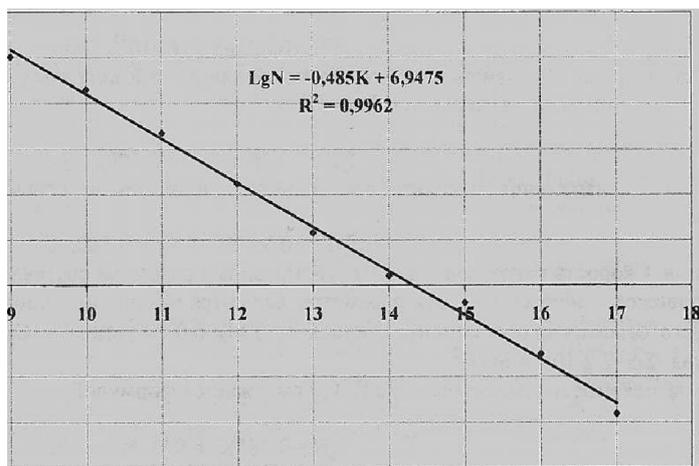
где $\mu = 3,7 \cdot 10^{11}$ дин/см², оценим суммарную величину сброшенного напряжения при $\Sigma U = 1782,7$ м:

$$\Sigma \sigma = (8/3\pi)\Sigma U/D = 2,2 \cdot 10^{10} \text{ дин/см}^2 \text{ (} 2,2 \cdot 10^4 \text{ Па)} \quad (10)$$

Повторяемость землетрясений с $K \geq 9$ выражается формулой:

$$\lg N = -0,485K + 6,947, \quad R^2 = 0,99, \quad (11)$$

где N - годовая частота землетрясений, $K = \lg E$ (Дж) - энергетический класс, R^2 - величина достоверности аппроксимации (рис.7).



Энергетический класс $K = \lg E$

Рис.7. График повторяемости землетрясений с $K > 9$ Кыргызской части Тянь-Шаня и районов сочленения Памира, Тарима, Казахского щита в квадрате $\phi = 39-44^\circ, \lambda = 69-81^\circ$ за 1960-2010 гг.

Возможное время повторения землетрясений:

$$\lg T = 0,485K - 6,647, \quad R^2 = 0,99, \quad (12)$$

где T - возможное время повторения, год, K - энергетический класс, Дж, R^2 - величина достоверности аппроксимации.

В таблице 1 приведено вероятное время повторения землетрясений Кыргызской части Тянь-Шаня (в квадрате $\phi = 39^\circ-44^\circ, \lambda = 69^\circ-81^\circ$) с площадью $S = 609667$ км.

Таблица 1.

Энергетический класс $K = \lg E$, Дж землетрясений	Вероятное время повторения T , год в Кыргызской части Тянь-Шаня	Произведение $S \cdot T$
12	0,074	45456
13	0,22	138865
14	0,696	424221
15	2,12	1295963
16	6,49	3959066
17	19,50	12094633

Зависимость величины произведения площади (S) и времени повторения (T) от энергетического класса землетрясений (K) выражается формулой:

$$\lg(ST) = 0,485K - 1,1624. \quad (13)$$

Из выражения (13) получим:

$$T = \frac{10^{(0,485K - 1,1624)}}{S} \quad (14)$$

Время повторения обратно пропорционально площади изучаемого региона.

Заключение

Обобщая вышеизложенное можно отметить нижеследующее:

1. Проявились периоды сейсмической активизации с 1962 г. до 1997 г., с 2003 г. по настоящее время и период сейсмического затишья с 1998 г. по 2002 г.

2. Изменение кумулятивной сейсмической энергии за период наблюдения 1960-2010 гг. имеет тренд:

$$\Sigma E = (0,687M351,5) \cdot 10^{16},$$

где E - сейсмическая энергия, Дж, t- время, год. Сейсмическая мощность составила $5,27 \cdot 10^{15}$ Дж/год. Средний поток сейсмической энергии - $8,78 \cdot 10^{15}$ Дж/год - км² при площади региона S=600288 км². Изменение кумулятивной сейсмической энергии после 1992 г. (после Суусамырского землетрясения) имело тренд:

$$\Sigma E = (0,623t - 982,6) \cdot 10^{15}, \text{ Дж.}$$

3. Установлено, что изменение кумулятивной длины сейсмогенных разрывов в очагах землетрясений неравномерное и тренд его выражается формулой:

$$\Sigma L = (0,769t - 1508) \cdot 1000, \text{ км,}$$

а средняя линия изменения кумулятивной величины подвижек на сейсмогенных разрывах - следующей формулой:

$$\Sigma U = (0,3756t - 736,57) \cdot 100, \text{ м,}$$

где t - время. Скорость накопления длины сейсмогенных разрывов составляет 715,8 км/год, а скорость накопления подвижек - 3495 см/год. Эти параметры являются мощными геодинамическими параметрами. Величина общего сейсмического момента составляла $2M_0 = 6,0 \cdot 10^{32}$ дин-см. Суммарная величина сброшенного напряжения - $S_c = 2,2 \cdot 10^{10}$ дин-см².

4. Повторяемость землетрясений с $K > 9,0$ выражается формулой:

$$\lg N = -0,485K + 6,947, R^2 = 0,99,$$

где N - годовая частота землетрясений, k'Ngfc (Дж) - энергетический класс, R² - величина достоверности аппроксимации. Установлено, что время повторения (T) землетрясений определенного энергетического класса (K) зависит от площади изучаемого региона (S):

$$T = \frac{10^{(0,485K - 1,1674)}}{S}$$

Литература:

1. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. - 264 с.
2. Aki, K. Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 14, 1964. Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy and stress-strain drop from G wave spectrum. // Bulletin of the Earthquake Research Institute. - 1966. - v. 44. - pp. 73-88.

Рецензент: д.г.-м.н. Абдрахматов К.Е.