

УДК 550.34

Мамбетова Г.А., Омуралиев М.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ТЯНЬ-ШАНЯ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ КАРКЫРА-САРЫДЖАЗ 28 ЯНВАРЯ 2013 Г., $K=15.0$

Аннотация. Описаны последовательность проявления землетрясений и иерархия сейсмических циклов области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шаня. Изложены особенности сейсмических процессов в связи с подготовкой землетрясения Каркыра-Сарыджаз 28 января 2013 г., $K=15.0$. Отмечено, что распределение Пуассона (показательный закон) описывает с малой достоверностью распределение числа промежутков времени между землетрясениями. Это обусловлено иерархией сейсмических циклов.

Ключевые слова: внутриконтинентальное горообразование, иерархия сейсмических циклов, сейсмические процессы, градиент сейсмической энергии, кумулятивная сейсмическая энергия, распределение промежутков времени.

КЫРГЫЗСТАНДЫН АЙМАГЫНДАГЫ ТЯНЬ-ШАНДЫН СЕЙСМИКАЛЫК ЦИКЛДЕРИ ЖАНА КАРКЫРА-САРЫДЖАЗ (28 ЯНВАРЬ 2013 ЖЫЛ, $K=15.0$) ЖЕР ТИТИРӨӨСҮ

Кыскача мазмуну. Макалада Тянь-Шандын континент ичинде тоо пайда болгон аймагындагы сейсмикалык циклдердин иерархиясы жана жер титирөөлөрдүн болушунун ырааттуулугу жазылган. Каркыра-Сарыджаз (28 январь 2013 жыл, $K=15.0$) жер титирөөсүнүн даярдалышына байланышкан сейсмикалык процесстердин өзгөчөлүктөрү келтирилген. Жер титирөөлөрдүн убакыт аралыктарынын санынын бөлүнүшүн Пуассон бөлүштүрүүсү аз тактыкта жазылганы белгиленген. Бул сейсмикалык циклдердин иерархиясы менен шартталган.

Негизги сөздөр: континенттин ичинде тоо пайда болушу, сейсмикалык циклдердин иерархиясы, сейсмикалык процесстер, сейсмикалык энергиянын градиенти, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, убакыт аралыктарынын бөлүнүшү.

SEISMIC CYCLES OF THE TIEN SHAN, KYRGYZSTAN AND THE KARKYRA-SARYDJAZ EARTHQUAKE (2013.01.28, $K=15.0$)

Abstract. The sequence of earthquakes' manifestation and the hierarchy of seismic cycles of the Tien-Shan intracontinental orogenesis are described in the paper. The features of seismic processes in connection with the preparation of the Karkyra-Sarydjaz earthquake (January 28, 2013, $K=15.0$) are stated. It is noted, that the Poisson distribution (exponential law) describes with low confidence the distribution of the number of time intervals between earthquakes. This is due to the seismic cycles' hierarchy.

Keywords: intracontinental orogenesis, seismic cycles' hierarchy, seismic processes, seismic energy gradient, cumulative seismic energy, distribution of time intervals.

Введение. Известно [1], что «существуют сейсмическая повторяемость или сейсмические циклы со средним интервалом в пределах 100-200 лет; допустимо подразделение сейсмической зоны на несколько областей с фиксированными границами; ясно распознаваемые эпохи сейсмического затишья во всей зоне разделяют периоды активности». С.А Федотов [2] по данным больших землетрясений Камчатки,

Курильских островов и северо-восточной Японии отметил сейсмический цикл с продолжительностью 140 ± 60 лет. Кавасуми [3] по данным сильных землетрясений районов Токио и Южного Канто на основе Фурье-анализа выделил $69 (\pm 13)$ - летний цикл. На основе Фурье-анализа значительных землетрясений Тянь-Шаня и приграничных районов Памира и Тарима [4] отмечено, что сходимость эмпирических и расчётных временных рядов землетрясений можно достичь большим числом (100 и более) гармонических составляющих. Выбор нескольких доминирующих периодов на спектральной функции недостаточен для описания последовательности сильных землетрясений Тянь-Шаня.

Исходными данными являются ежемесячные каталоги землетрясений Института сейсмологии НАН КР, составленные по данным сети цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана и Узбекистана в квадрате $\varphi=39-44^\circ$ с.ш., $\lambda=69-81^\circ$ в.д.

Метод исследований включает [5] в себя следующее:

- изучаются активные структуры Тянь-Шаня;

- по ходу проявления землетрясений поэтапно выделяются относительно максимальные значения, в частности, энергетического класса $K \geq 9.7$. По ряду этих выбранных значений проводят полиномиальный тренд (нелинейную ПТ-функцию) и выделяется сейсмический цикл, например, третьего порядка, состоящий из пика сейсмической активизации, периода спада сейсмической активизации, периода сейсмического затишья, минимума периода затишья и периода подъёма сейсмической активизации. По пикам сейсмического цикла третьего порядка с различными интервалами времени на основе ПТ-функции выделяются пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации, период сейсмического затишья, минимум периода затишья и периода подъёма сейсмической активизации, которые составляют сейсмический цикл второго порядка. Аналогичным образом по пикам сейсмического цикла второго порядка с различными интервалами времени на основе ПТ-функции выделяются пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации, период сейсмического затишья, минимум периода затишья и периода подъёма сейсмической активизации, которые составляют сейсмический цикл первого порядка;

- по ходу проявления землетрясений определяется изменение градиента энергетического класса, сейсмического момента и магнитуды во времени и поэтапно составляется серия графиков кумулятивной сейсмической энергии. Одновременно на каждом графике кумулятивной сейсмической энергии определяется линейный тренд, проводятся через верхний и нижний пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии верхняя и нижняя линии графика, параллельные линии тренда. Угловой коэффициент уравнения линейного тренда в отдельно взятом интервале времени выражает скорость высвобождения сейсмической энергии. Измеряется интервал от конечной точки графика кумулятивной сейсмической энергии горизонтально до его нижней линии и определяется вероятная продолжительность затишья. Разница энергий между верхней и нижней линиями составляет около $9 \cdot 10^{13}$ Дж. Энергетический класс ожидаемого землетрясения с учетом пика $K=14.6$ (землетрясение Нура) в начале цикла первого порядка составляет до около $K=15.0$.

Изучение активных структур Тянь-Шаня показало, что область внутриконтинентального горообразования состоит из иерархии активных блоков и разломов [5]. Тянь-Шань в целом, ограниченный с юга плитой Тарим, областью горообразования Памир, а с севера - Казахским щитом и Туранской плитой, является блоком первого порядка. Иерархия активных блоков и разломов, очевидно, обуславливает иерархию сейсмических циклов.

На рис.1 приведена в качестве примера последовательность проявления землетрясений Тянь-Шаня за январь 2012 г. - январь 2013 г. В январе 2012 г. проявился период сейсмического затишья. 5 февраля 2012 г. наступила сейсмическая активизация,

произошло землетрясение с $K=12.3$, 30 мая – землетрясение с $K=13.9$. При этом поэтапно отмечались циклы третьего порядка и их пики (табл.1). Длительность этих циклов составляла от 9 до 72 суток.

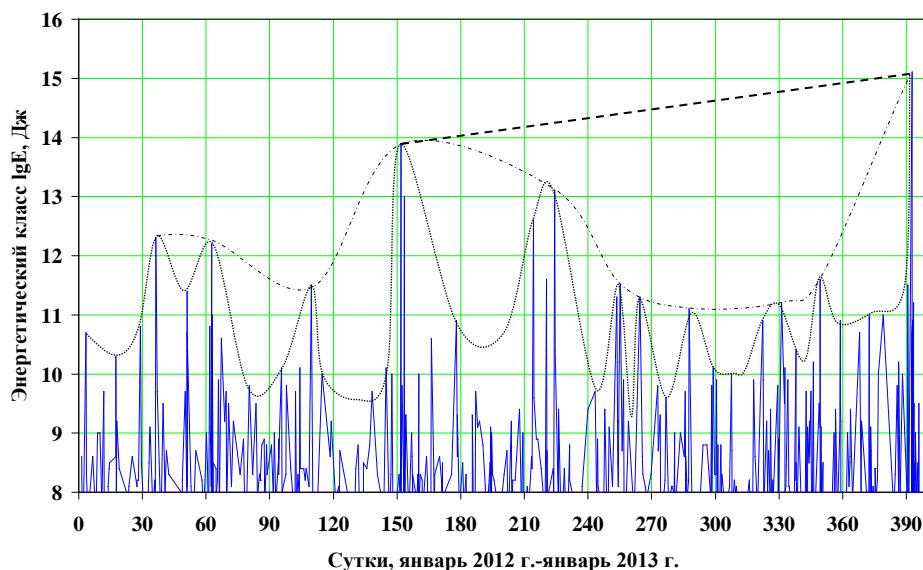


Рисунок 1. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ Тянь-Шаня на территории Кыргызстана с 1 января 2012 г. по 28 января 2013 г. Точечной линией обозначены периоды активизации и затихья третьего порядка, пунктирной линией с точками- периоды активизации и затихья второго порядка, пунктирной линией - периоды активизации и затихья первого порядка, выделенные на основе нелинейной ПТ-функции.

Таблица 1. Пики сейсмической активизации циклов третьего порядка.

№ п.п.	год	месяц	число	Время, сутки	Энергетический класс lgE , Дж
1	2012	2	5	36.298	12.3
2	2012	3	2	62.569	12.2
3	2012	4	18	109.616	11.6
4	2012	5	30	151.889	13.9
5	2012	8	11	224.398	13.1
6	2012	9	12	255.244	11.5
7	2012	9	21	264.423	11.3
8	2012	10	14	287.687	11.1
9	2012	11	28	331.229	11.2
10	2012	12	16	349.437	11.6
11	2013	1	28	392.694	15.1

Они проявились с 21 сентября 2012 г. по 28 ноября 2012 г. в период сейсмического затихья, а с 16 декабря 2012 г. - в период сейсмической активизации. По этим пикам выделялся цикл второго порядка. Длительность сейсмического цикла второго порядка составляла около 240 суток. Пики цикла второго порядка отмечались 30 мая 2012 г., $K=13.9$ и 28 января 2013 г., когда произошло землетрясение Каркыра – Сарыжаз, $K=15.1$, и по ним выделялся пик цикла первого порядка. Цикл первого порядка начался с землетрясения Нура, 5 октября 2008 г., $K=14.8$, $\varphi=39.616^\circ$, $\lambda=73.666^\circ$ [5]. Длительность сейсмического цикла первого порядка составляла около 4.5 года. В связи с этими

циклами сейсмических процессов важно отметить, что распределение числа промежутков времени между землетрясениями имеет ряд (несколько) мод в соответствии с иерархией сейсмических циклов с различной продолжительностью и не может быть достоверно описано распределением Пуассона - показательным законом. В связи с этим можно сказать, что определение, например, пиковых ускорений с вероятностью превышения 10% за 50 лет, 2% за 50 лет для заданного периода повторяемости 475 и 2475 лет имеет значительные недостатки. Это означает, что следует пересмотреть методику вероятностной оценки сейсмической опасности и составление вероятностных карт сейсмического районирования.

Особенности циклов сейсмических процессов выражены в изменении во времени приращений переходов энергетических классов (IgE , Дж) от предыдущего к последующему (рис.2). Величина приращения изменяется от -6.2 до 7.4, стандартное отклонение составляет 1.43. Здесь отмечается своеобразная «пульсация» - периодическое закачивание и разрядка энергии. Градиент сейсмической энергии в последовательности землетрясений имеет среднее значение $-3.82E+14$ Дж/сутки, стандартное отклонение составляет $9.8E+15$ Дж/сутки (рис.3).

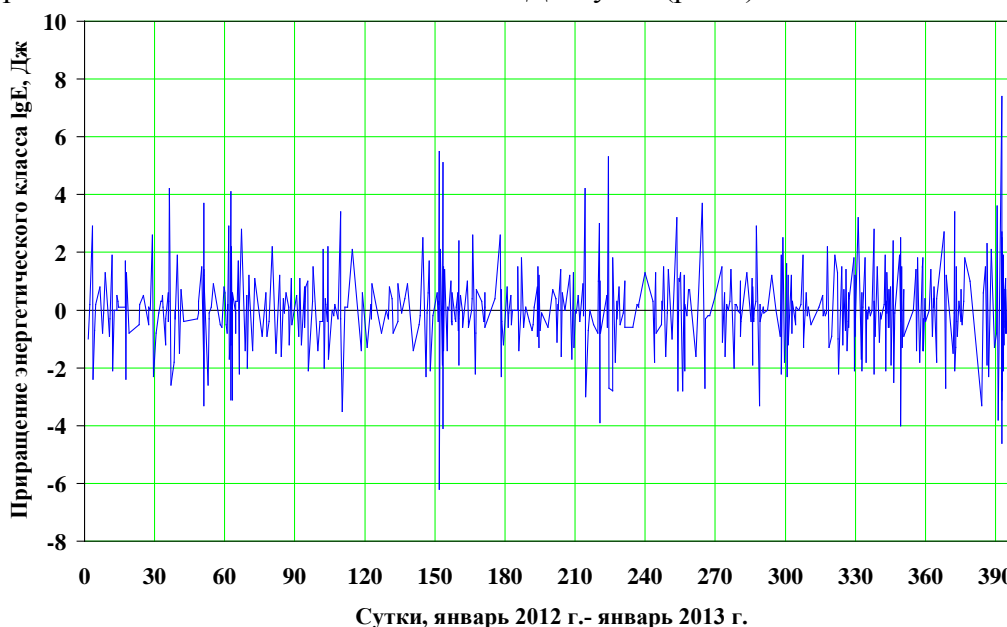


Рисунок 2. Изменение значений приращения энергетических классов в последовательности проявления землетрясений Тянь-Шаня на территории Кыргызстана за период 2012-2013 гг.

На рис. 4 приведён хроногеом землетрясений цикла второго порядка перед главным толчком 28 января 2013 г., $K=15.1$. В начале цикла, т.е. 30.05.2012 г., проявилось землетрясение ($K=13.9$) в восточной части Заилийского поднятия на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита, затем 11.08.2012 г. ($K=13.1$) - на северной части Тарима, 12.09.2012 г. ($K=11.5$) - в зоне центрального сегмента Таласо-Ферганского разлома, 21.09.2012 г. ($K=11.3$) - в пределах Мейдантагского поднятия, 14.10.2012 г. ($K=11.1$) - в зоне юго-восточного сегмента Таласо-Ферганского разлома, 28.11.2012 г. ($K=11.2$) - в пределах Терской поднятия, 16.12.2012 г. ($K=11.6$) - в пределах Кельпинтагского поднятия Тарима, а 28.01.2013 г. ($K=15.1$) - произошёл главный толчок - землетрясение Каркыра-Сарыжаз в восточной части Терской поднятия.

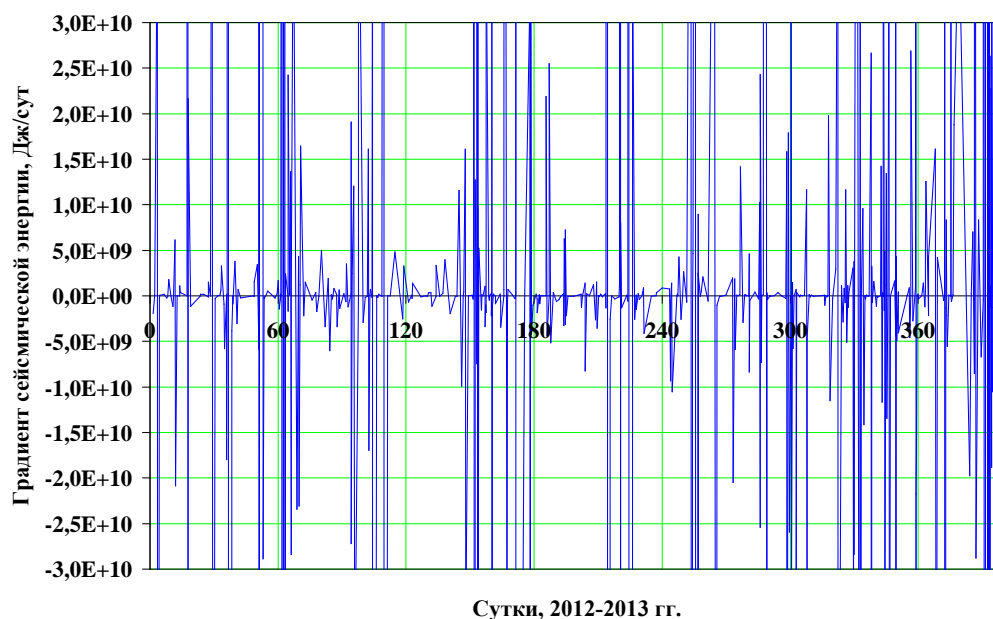


Рисунок 3. Изменение значений градиента сейсмической энергии в последовательности проявления землетрясений Тянь-Шаня на территории Кыргызстана за период 2012-2013 гг.

Траектория кинематики цикла 2 порядка показана на графике зависимости приращения энергетического класса от самого энергетического класса (рис.5). Она описывает своеобразную «петлю». Приращение энергетического класса в начале цикла имело отрицательные значения, после периода сейсмического затишья приобретает положительное значение и с наступлением сейсмической активизации величина приращения резко растёт и проявляется главный толчок землетрясения Каркыр-Сарыджаз.

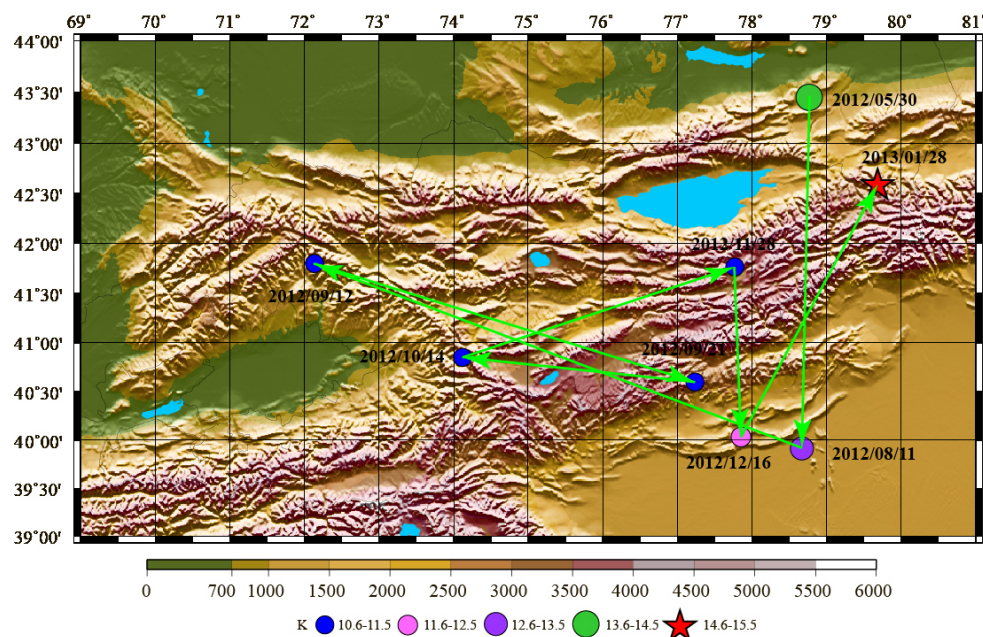


Рисунок 4. Хроногеом землетрясений цикла второго порядка перед главным толчком землетрясения Каркыр-Сарыжаз, 28.01.2013 г., $K=15.1$, который обозначен звёздочкой.

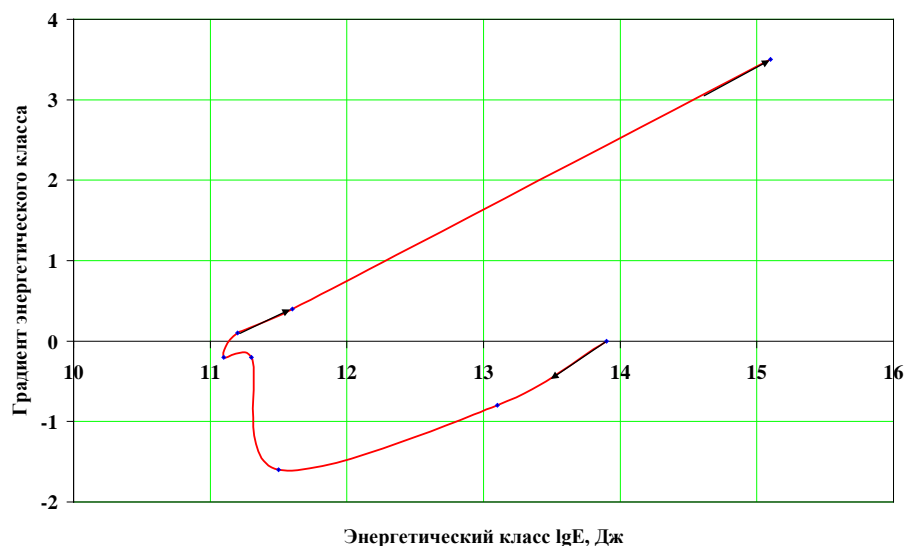


Рисунок 5. Траектория кинематики цикла второго порядка с 30 мая 2012 г. по 28 января 2013 г.

Последовательность энергетического класса землетрясений в цикле второго порядка (рис.6) выражается нелинейным полиномом (1):

$$\lg E = 2E - 06t^3 - 0.005t^2 + 0.0108t + 13.9 \quad R^2 = 0.98 \quad (1)$$

где t - время, $\lg E$ (Дж) – энергетический класс.

Формула (1) состоит из четырёх составляющих – функции сейсмических процессов: $f1=2E - 06t^3$, $f2 = -0.005t^2$, $f3=0.0108t$, $f4= 13.9$.

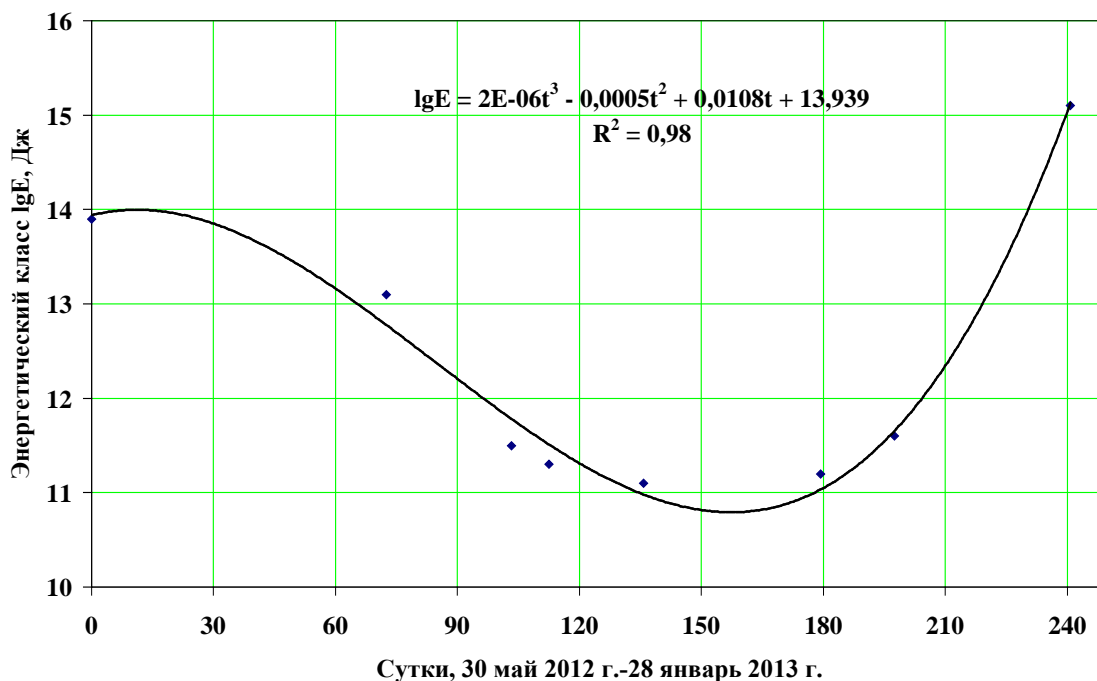


Рисунок 6. График изменения энергетического класса землетрясений цикла второго порядка с 30 мая 2012 г. по 28 января 2013 г.

Графики этих функций приведены на рис. 7. Функция f_1 резко возрастает во времени, функция f_2 - резко понижается, функция f_3 постепенно растёт, функция f_4 - постоянная.

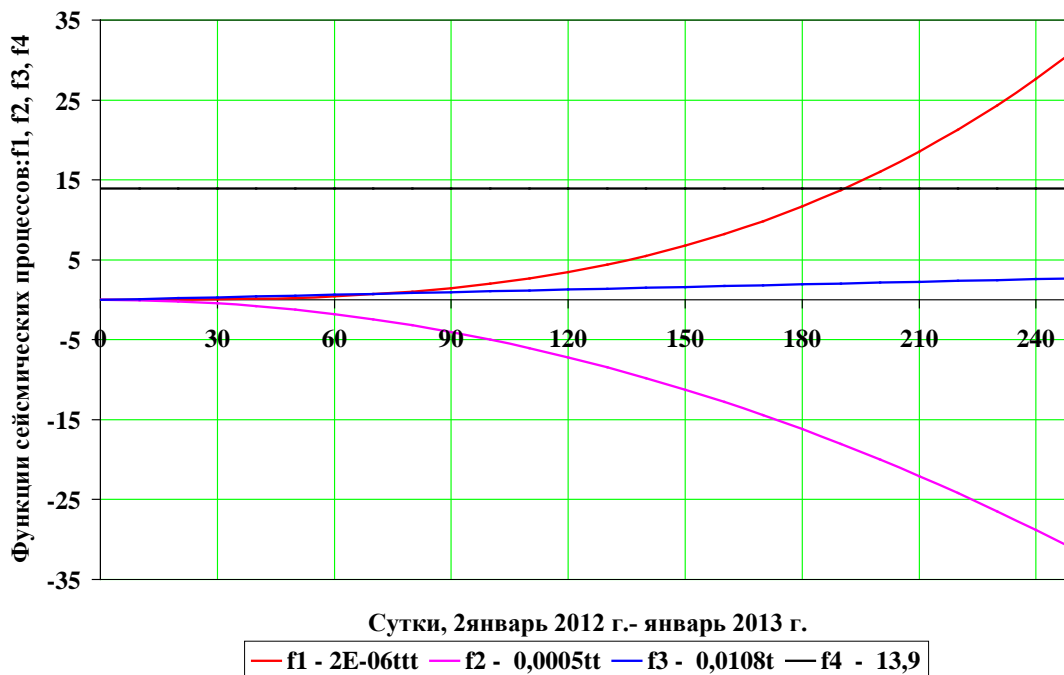


Рисунок 7. Графики функций сейсмических процессов цикла второго порядка с 30 мая 2012 г. по 28 января 2013 г.

Цикл третьего порядка перед главным толчком, $K=15.1$, выделяется землетрясениями (табл.2):

№ п.п.	год	месяц	число	время	Энергетический класс IgE , Дж	Широта, градус	Долгота, градус
1	2012	12	16	349.4372	11.6	40.03333	77.85
2	2012	12	25	358.9649	10.9	39.65	74.76667
3	2013	1	3	367.9236	10.7	39.68333	73.88333
4	2013	1	8	372.4497	11	39.38333	71.91667
5	2013	1	15	379.0381	11	43.36667	80.95
6	2013	1	26	379.0381	11.5	39.88333	77.25
7	2013	1	28	379.0381	15.1	42.58333	79.68333

Эти землетрясения представляют собой своеобразные «далекие форшоки» в пределах Тянь-Шаня.

На рис.8 приведён хроногеом землетрясений цикла третьего порядка перед главным толчком, $K=15.1$. В начале 16.12.2012 г. произошло землетрясение ($K=11.6$) в пределах центральной части Кельпинтагского поднятия Тарима, 25.12.2012 г. ($K=10.9$) - в пределах поднятия Казыкарт на сочленении Памира и Тянь-Шаня, 03.01.2013 г. ($K=10.7$) - в восточной части Заалайского поднятия, 08.01.2013 г. ($K=11.0$) - в центральной части Заалайского поднятия, 15.01.2013 г. ($K=11.0$) - в пределах Кетменского поднятия на сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита, 26.01.2013 г. ($K=11.5$) - в западной части Кельпинтагского поднятия Тарима, 28.01.2013 г. ($K=15.1$) - главный толчок землетрясения Каркыра-Сарыджаз в восточной части Терскейского поднятия, который находился внутри хроногеома.

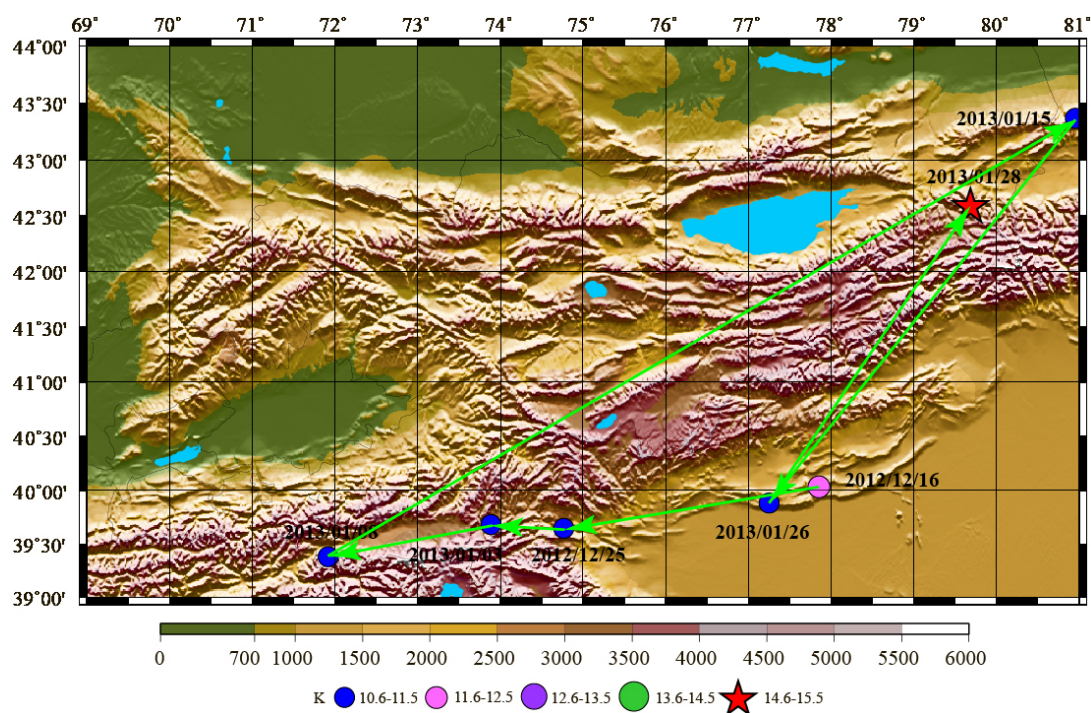


Рисунок 8. Хроногеом землетрясений цикла третьего порядка пред главным толчком землетрясения Каркыра-Сарыжаз, $K=15.1$.

На рис. 9 приведён график изменения энергетического класса землетрясений данного цикла третьего порядка, который выражается эмпирической формулой-полиномом (2):

$$\lg E = 3E - 06t^5 - 0.0003t^4 + 0.0121t^3 - 0.1664t^2 + 0.6934t + 11.6 \quad R^2 = 0.99, \quad (2)$$

где t - время, $\lg E$ (Дж) – энергетический класс.

Формула (2) состоит из шести составляющих – функции сейсмических процессов. При этом первая, третья, пятая функции растут во времени, а функции вторая и четвертая спадают.

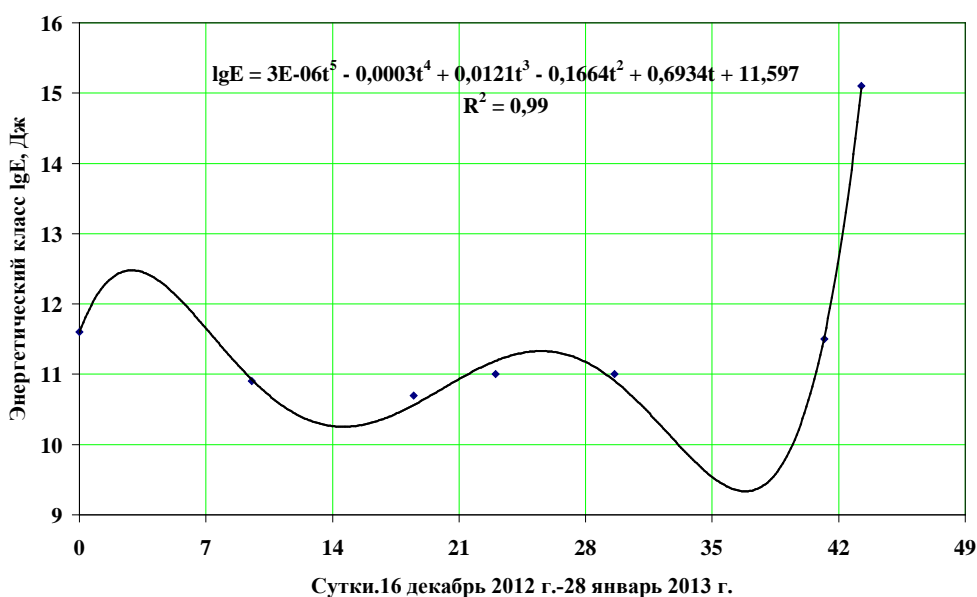


Рисунок 9. График изменения энергетического класса землетрясений цикла третьего порядка с 16 декабря 2012 г. по 28 января 2013 г.

Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и прилегающих районов с 1 января 2012 г. до 6 декабря 2012 г. (рис.10), имеет линейный тренд:

$$E_k = (0,0044t - 0,1336) \times E + 14, \text{ Дж}, \quad (3)$$

где E_k - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t - время (сутки), коэффициент $0,0044 \times 10^{14}$ имеет размерность Дж/сутки, представляет собой скорость высвобождения сейсмической энергии. График кумулятивной сейсмической энергии - неровный, ступенчатый, выражает сейсмические циклы.

Интервал времени от конечной точки графика по горизонтали до точки нижней линии (точечная линия) представляет собой вероятную продолжительность периода затишья, после которой наступит сейсмическая активизация - приблизительно 396 сутки. На самом же деле главный толчок произошёл на 393-и сутки (28.01.2013 г.).

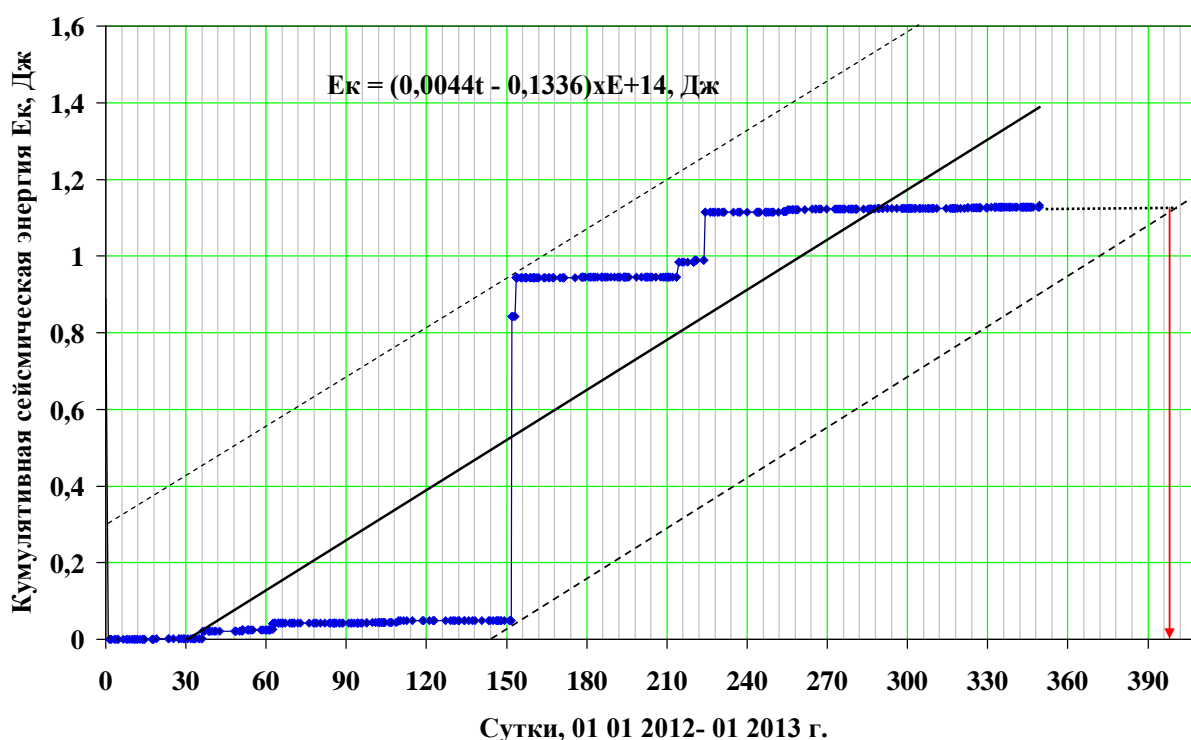


Рисунок 10. Кумулятивная сейсмическая энергия (синие точки, соединённые линией), высвобожденная при землетрясениях Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и прилегающих районов с 1 января 2012 г. до 16 декабря 2012 г. Тренд графика обозначен сплошной линией, нижняя и верхняя линии графика - пунктирными линиями, точечной линией - вероятная продолжительность сейсмического затишья, красной стрелкой - вероятное время активизации.

Заключение

В последовательности проявления землетрясений в области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шаня, состоящего из иерархии активных блоков и разломов, выделяется иерархия сейсмических циклов. Продолжительность циклов одного того же порядка различна. Длительность циклов

третьего порядка составляет от 9 до 72 суток, длительность цикла второго порядка - 240 суток, длительность цикла первого порядка около 4.5 лет.

Распределение числа промежутков времени между землетрясениями имеет ряд (несколько) мод в соответствии с иерархией сейсмических циклов с различной продолжительностью и не может быть достоверно описано распределением Пуассона - показательным законом. В связи с этим можно сказать, что определение, например, пиковых ускорений с вероятностью превышения 10% за 50 лет, 2% за 50 лет для заданного периода повторяемости 475 и 2475 лет имеет значительные недостатки. Это означает, что следует пересмотреть методику вероятностной оценки сейсмической опасности и составление вероятностных карт сейсмического районирования.

Литература

1. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир. 1985. 264 с.
2. Федотов С. А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе. – В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с.121-150.
3. Kawasumi H. Proofs of 69 years periodicity and immense of destructive earthquake in southern Kwanto district and problems in the countermeasures thereof. //Chigaku Zasshi, N76, с.115-138.
4. Омуралиев М., Землянский А.А., Ачакеев Э. Управляющие параметры процессов в области подготовки сильных землетрясений Тянь-Шаня. //Материалы пятой международной конференции молодых ученых и студентов (Бишкек, 24-25 апреля 2013 г.) «Современные техника и технологии в научных исследованиях». Москва-Бишкек: ИС РАН, 2013, с.103-109.
5. Омуралиев М., Омуралиева А. Средне – и краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня и иерархия динамики сейсмических процессов (на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран). Бишкек: «Триада Принт», 2016. -116 с.
6. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan. Central Asia. Bishkek: Ilim. 2004. -166 p.

Рецензент: д.г.-м.н., профессор К. Е. Адрахматов