

УДК 550.34

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

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ, КУРАМИНСКОГО И ЧАТКАЛЬСКОГО ПОДНЯТИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. В статье приводится динамика сейсмичности в пределах активных структур Кураминского, Чаткальского поднятий и северной части Ферганской впадины.

Ключевые слова: землетрясение, завальное озеро, активный разлом, динамическая сегментация, повторяемость, кумулятивная сейсмическая энергия, вектор сейсмической активизации.

ТЯНЬ-ШАНДЫН ТҮНДҮК ФЕРГАНА ОЙДУНУНУН, КУРАМА ЖАНА ЧАТКАЛ КӨТӨРҮЛҮҮЛӨРҮНҮН СЕЙСМИКАЛУУЛУК ДИНАМИКАСЫ

Кыскача мазмуну. Макалада Курама, Чаткал көтөрүлүүлөрдүн жана Фергана ойдуңунун түндүк бөлүгүнүн активдүү структураларынын чектериндеги сейсмикалуулугунун динамикасы келтирилген.

Негизги сөздөр: жер титирөө, жер көчкү тозгон көл, активдүү жараңка, динамикалык сегментация, кайталануу, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, сейсмикалык активдешүү вектору.

SEISMICITY DYNAMICS OF THE NORTHERN PART OF THE FERGANA DEPRESSION, THE KURAMA RANGE AND CHATKAL RANGE, TIEN SHAN

Abstract. Seismicity dynamics of the Kurama Range, Chatkal Range and northern part of the Fergana depress is given in the paper.

Keywords: earthquake, active fault, dynamic segmentation, recurrence, cumulative seismic energy, vector of seismic activation.

Северная часть Ферганской впадины (для краткости – Северная Фергана) с юга ограничена одноименным активным разломом с северо-западным азимутом падения, а с севера обрамлена Кураминским и Чаткальским устойчивыми поднятиями северо-восточного простирания [1,2,3]. Эти поднятия (с высотами до 3800 м и 4500 м, соответственно) южно вергентны – юго-восточные крылья крутые, оборваны Предкураминским и Атойнокским разломами, имеющими северо-западный азимут падения. Атойнокский разлом (на востоке) сочленяется с Таласо-Ферганским и Карасуйским разломами. В пределах Северной Ферганы образовались инверсионные поднятия. В данном районе происходили сильные повторные палеоземлетрясения, эпицентры которых, в основном, расположены на восточной части Чаткальского поднятия, вследствие которых отмечались крупные повторные сейсмооползни и образовались завальные озера, как Сары-Челек, Кара-Суу (западный), Каратоко, с протяженностями около 7 км, 1 км, 2,5 км, соответственно (рисунки 1-3). В 1896 г. произошло Пскемско-Чаткальское землетрясение $M=6.6$, в 1927 г. – Наманганское $M=6.0$, в 1942 г. - Яртепинское $M=5.9$ [4], [5].



Рисунок 1. Место проявления сильного палеоземлетрясения и образования завального озера Сары-Челек на всياчем северо-западном крыле Атойнокского разлома (снимки Google Earth).

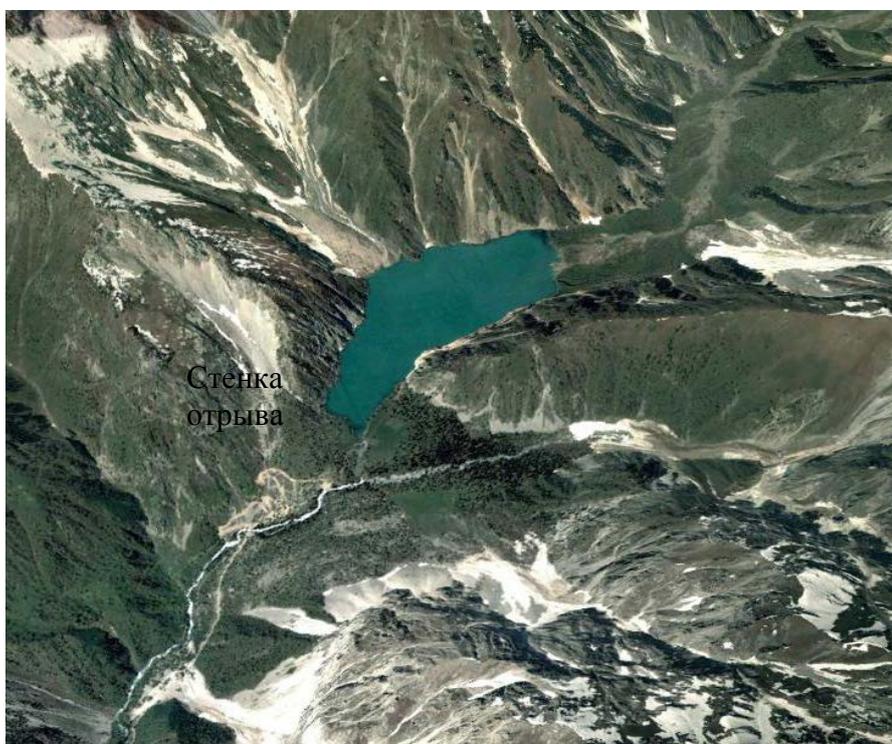


Рисунок 2. Место проявления сильного палеоземлетрясения и образования завального озера Кара-Суу (западный) на всячем северо-западном крыле Атойнокского разлома (снимки Google Earth).

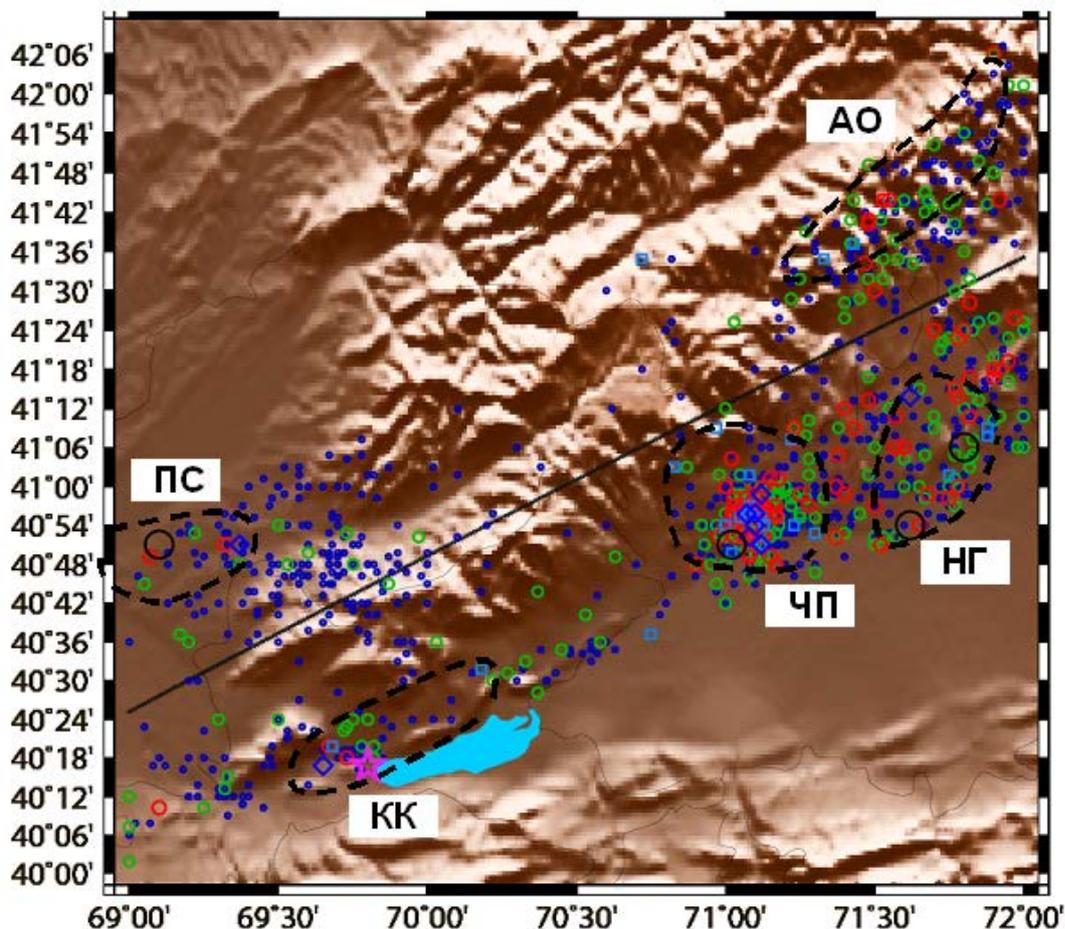


Рисунок 3. Место проявления сильного палеоземлетрясения и образования завального озера Каратоко на северо-западном крыле Чаткальского поднятия и юго-западном крыле Таласо-Ферганского разлома (снимки Google Earth).

Исходными данными для изучения динамики сейсмичности изучаемого региона является каталог землетрясений ИС НАН КР за 1960-2017 гг. в квадрате: $\varphi=40.01^\circ$, $\lambda=69^\circ$; $\varphi=40,83^\circ$, $\lambda=69^\circ$; $\varphi=42.16^\circ$, $\lambda=72^\circ$; $\varphi=41.01^\circ$, $\lambda=72^\circ$.

На рисунке 4 показано распределение эпицентров землетрясений с $11.0 \leq K \leq 16.0$ в пределах Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятия за период с 1960 г. по 2017 г. Значительные землетрясения приурочены к определённым областям, которые в дальнейшем назовем областями концентрации землетрясений (ОКЗ): КК-Кайраккумская, ЧП-Чуст-Папская, НГ- Наманганская, АО – Атойнокская, ПС – Пскентская. Они выражают динамическую сегментацию и динамическую секторизацию вдоль и поперек активных структур, соответственно.

В распределении землетрясений во времени вдоль активных структур отмечаются векторы сейсмической активизации (рисунок 5). Эти векторы направлены с северо-востока на юг-запад и имеют кажущуюся скорость миграции сейсмической активизации около 9-10 км/год.



Условные обозначения

Энергетический класс землетрясений за 1960-2017 гг.

- - $7.6 \leq K < 8.6$
- - $8.6 \leq K < 9.6$
- - $9.6 \leq K < 10.6$
- - $10.6 \leq K < 11.6$
- - $11.6 \leq K < 12.6$
- ◇ - $12.6 \leq K < 13.6$
- - $13.6 \leq K < 14.6$
- ★ - $14.6 \leq K < 15.6$
- ★ - $K \geq 15.6$

Осредненная линия простирания активных структур



Рисунок 4. Пространственное распределение эпицентров землетрясений с $K \geq 7.6$ в пределах активных структур Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий Тянь-Шаня за 1960-2017 гг. Пунктирными линиями обозначены области концентрации значительных землетрясений: КК- Кайракумская, ЧП-Чуст-Папская, НГ- Наманганская, АО – Атойнокская, ПС– Пскентская.

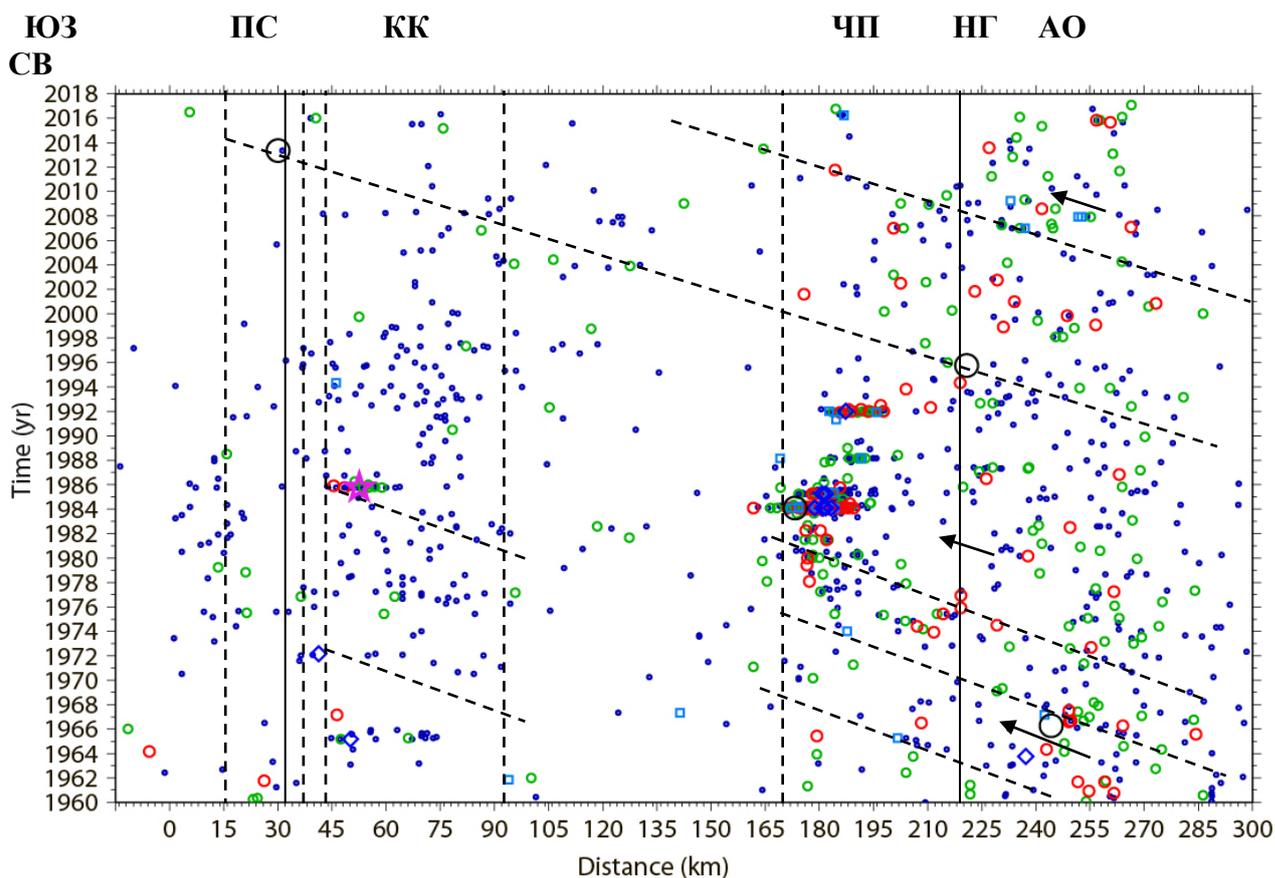


Рисунок 5. Распределение землетрясений с $K \geq 7.6$ вдоль активных структур Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий Тянь-Шаня за 1960-2017 гг. Наклонными пунктирными линиями показаны вероятные векторы сейсмической активизации (направленные с севера - востока на юго-запад), а вертикальными пунктирами - вероятные области концентрации значительных землетрясений (ОКЗ): КК- Кайраккумская, ЧП- Чуст-Папская, НГ–Наманганская, АО-Атойнокская, ПС – Пскентская. Условные обозначения землетрясений приведены на рисунке 4.

На рисунке 6 приведён график повторяемости землетрясений Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий за 1960-2017 гг. Представительным энергетическим классом является $K=9.0$. Повторяемость землетрясений по закону Гутенберга–Рихтера выражается формулой:

$$\lg N = -0.4876 \lg E + 5.5849, \quad R^2 = 0.996, \quad (1)$$

где $\lg N$ – среднегодовая частота, $\lg E = K$ – энергетический класс, R^2 – достоверность аппроксимации. Среднее время повторяемости землетрясений выражается формулой:

$$\lg T = 0.4876 \lg E + 5.5849, \quad R^2 = 0.996, \quad (2)$$

где $\lg T$ – среднее время повторения землетрясений, $\lg E = K$ – энергетический класс, R^2 – достоверность аппроксимации. Величины среднего времени повторения землетрясений с $K=11.6-16.5$ приведены в таблице 1.

В последовательности проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ за период 1960-2017 гг. выделяются периоды сейсмической активизации, затишья и сейсмические циклы (рисунок 7).

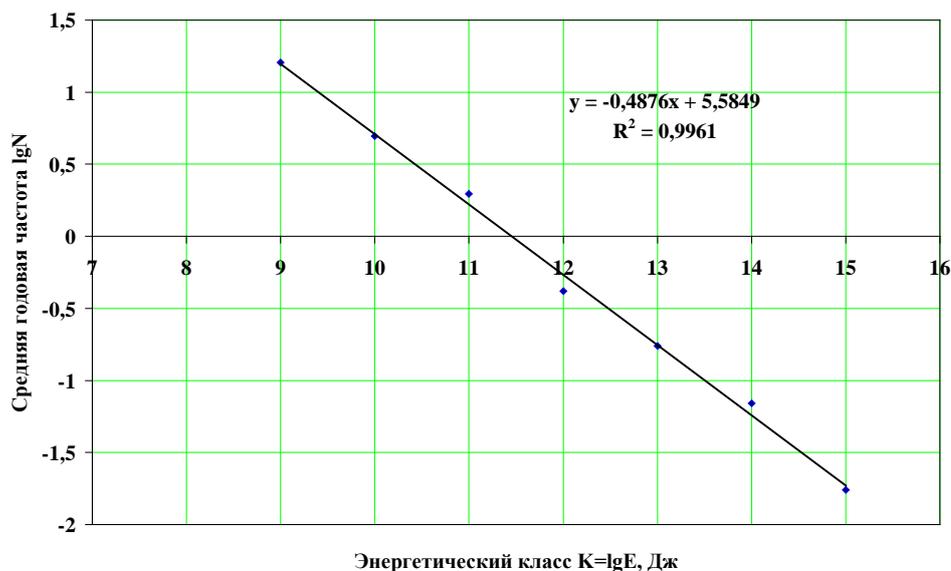


Рисунок 6. График повторяемости землетрясений Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий Тянь-Шаня за 1960-2017 гг.

Таблица 1.

№	Энергетический класс $K = \lg E$, Дж	Магнитуда	Среднее время повторения, год (лет)
1	11.6-12.5	4.5-5.1	1.84
2	12.6-13.5	5.2-5.8	5.67
3	13.6-14.5	5.9-6.4	17.44
4	14.6-15.5	6.5-7.1	53.59
5	15.6-16.5	7.2-7.8	164.7

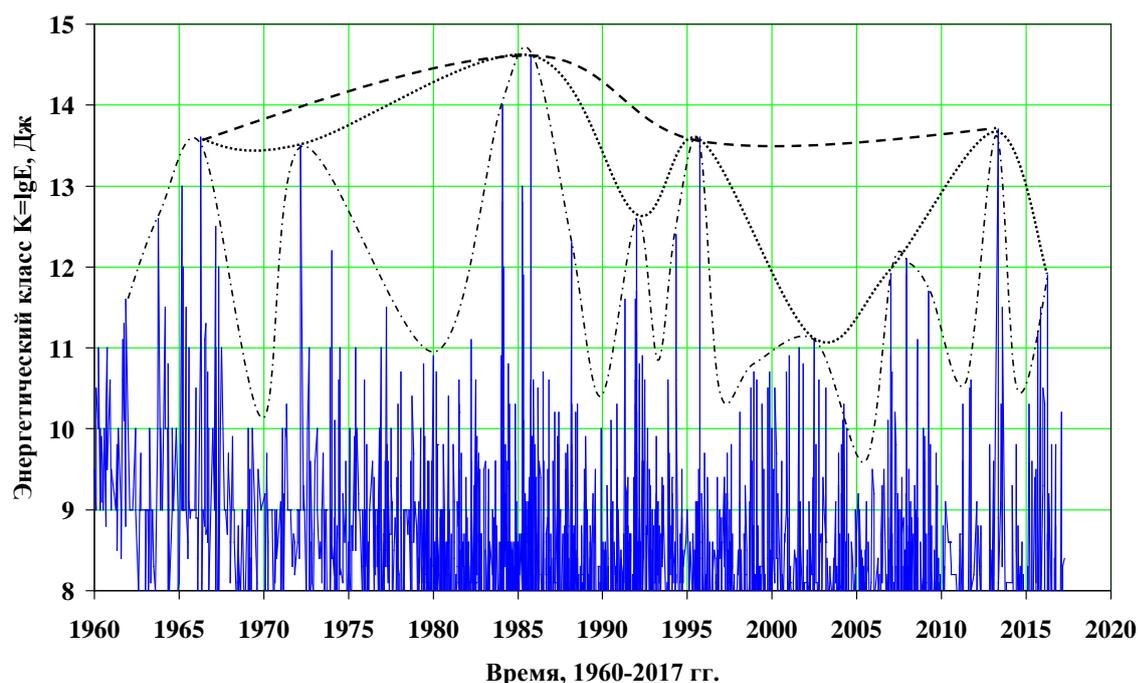


Рисунок 7. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий Тянь-Шаня за период

1960-2017 гг. Пунктирной линией обозначен сейсмический цикл первого порядка, точечной линией – сейсмический цикл второго порядка, штрих-пунктиром - сейсмический цикл третьего порядка.

Сейсмические циклы третьего порядка отмечались землетрясениями с $K \geq 9.5$, по их пикам $K \geq 11.0$ выделялись циклы второго порядка. По пикам циклов второго порядка с $K \geq 13.6$ выделялись циклы первого порядка. 30 апреля 1966 г. наступила сейсмическая активизация сейсмического цикла первого порядка - произошло землетрясение с $K=13.6$ северо-восточнее ОКЗ Наманганской (НГ). 13 октября 1985 г. проявился пик сейсмической активизации ($K=14.6$ - Кайраккумское землетрясение) в ОКЗ Кайраккумская (КК). Затем произошёл спад сейсмической активизации цикла первого порядка и в 1995 г. наступил период затишья, землетрясение с $K=13.6$ произошло в ОКЗ НГ. В 2013 г. наступила новая активизация сейсмичности: проявилось землетрясение с $K=13.7$ в ОКЗ Пскентская (ПС). Продолжительность циклов третьего порядка составляла 3-7 лет, а циклов второго порядка - 10- 18 лет.

Изменение энергетического класса цикла первого порядка с 1985 г. (рисунок 8) выражается эмпирической формулой:

$$K(t) = 0.0038t^2 - 0.1383t + 14.6, \quad R^2 = 1, \quad (3)$$

где $K = \lg E$ (Дж) - энергетический класс, t – время (год), R^2 – достоверность аппроксимации.

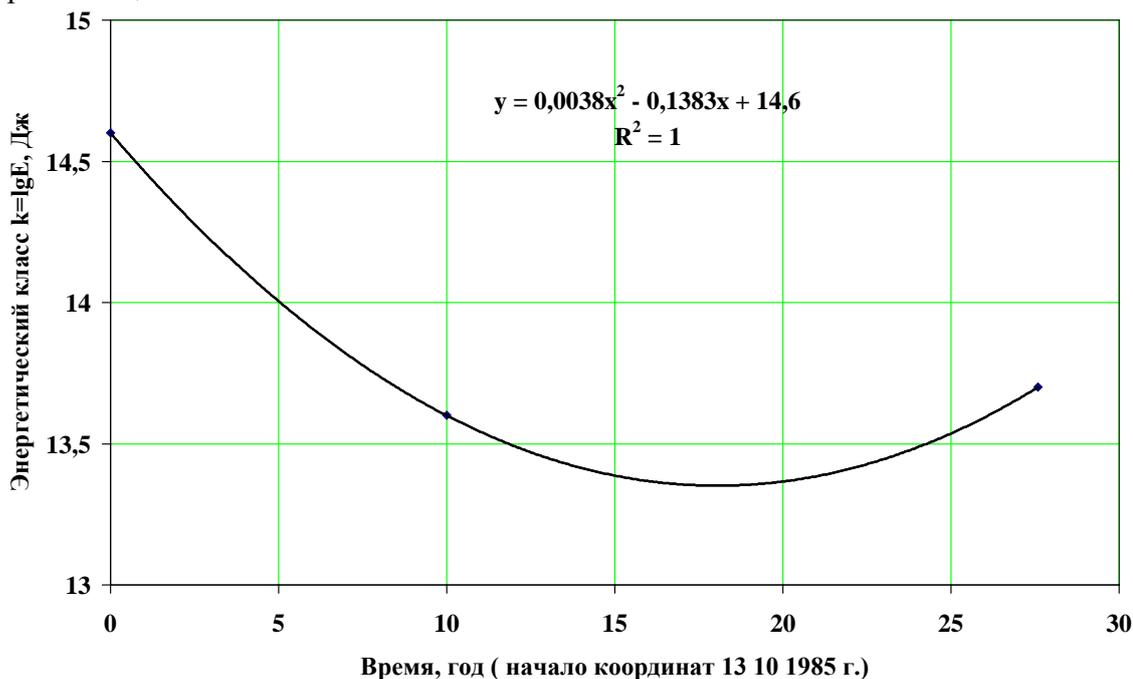


Рисунок 8. Полиномиальная линия тренда сейсмического цикла второго порядка с 13 октября 1985 г.

Составляющие формулы (3) представляют собой функции сейсмических процессов цикла второго порядка. Графики этих функций приведены на рисунке 9.

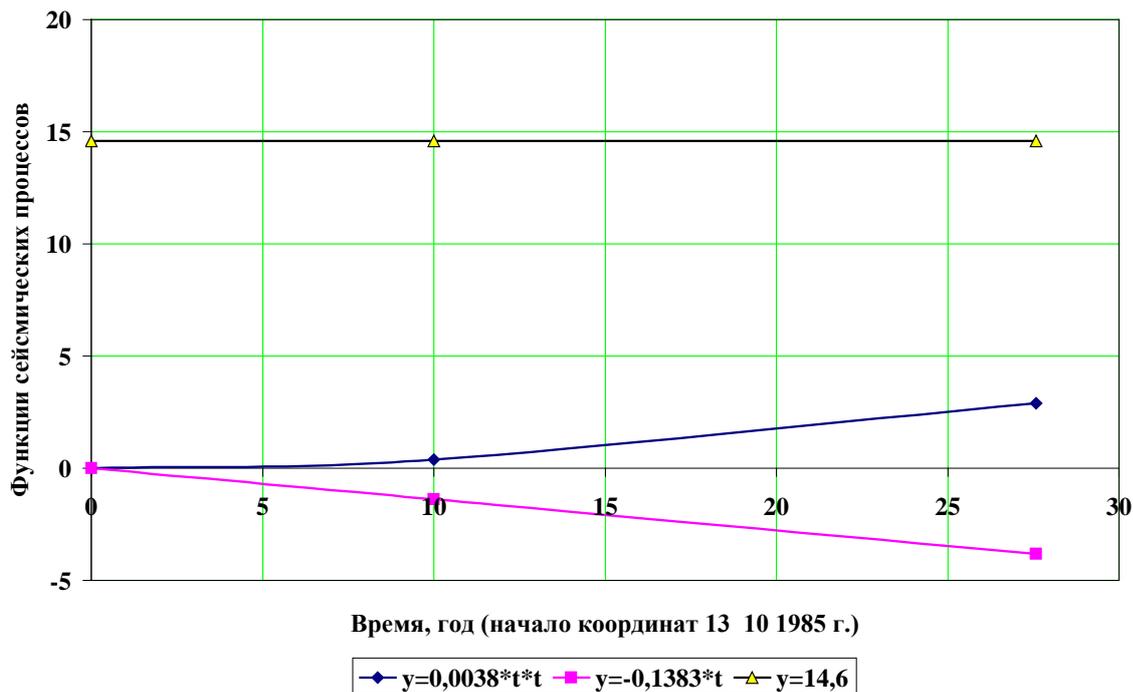


Рисунок 9. График функций сейсмических процессов сейсмического цикла второго порядка с 1985 г. по 2013 г.

При этом функция $y=0.00381t^2$ нелинейно растёт, функция $y=-0.1383t$ линейно убывает.

График изменения кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях с энергетическими классами больше 8 в пределах Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий Тянь-Шаня за период 1960-2017 гг. неровный, ступенчатый (рисунок 10).

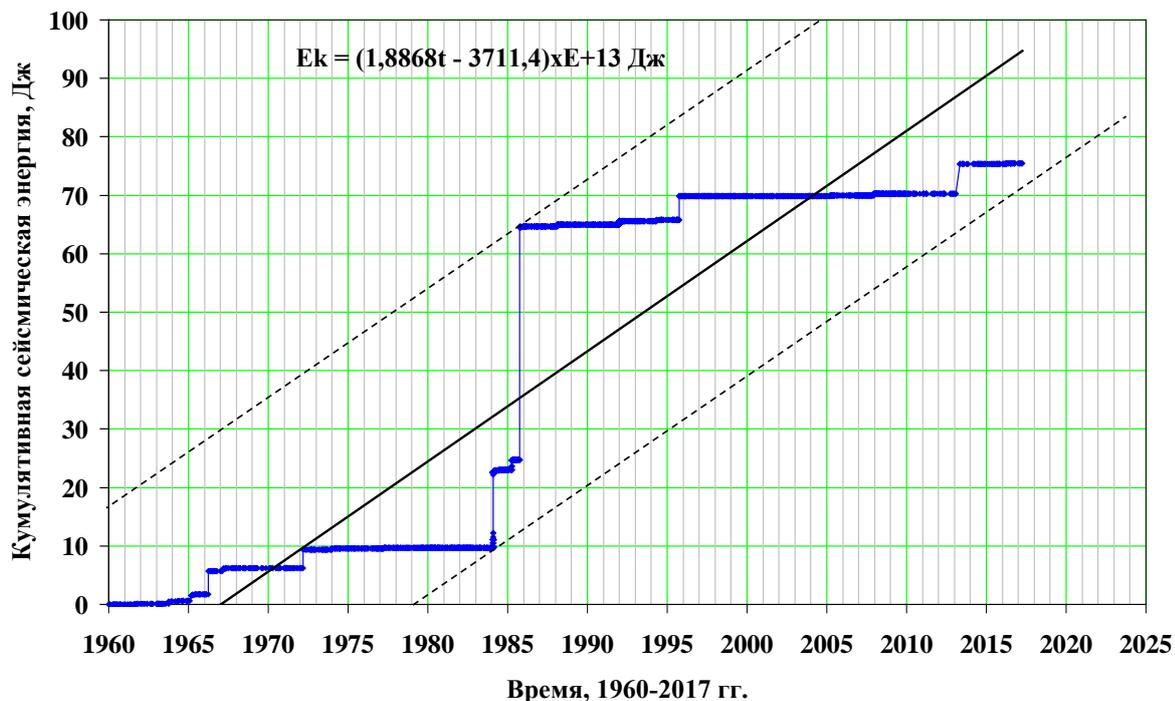


Рисунок 10. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами больше 8 в пределах Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий Тянь-Шаня за 1960-2017 гг.

Сплошной чёрной линией обозначен линейный тренд, пунктирными линиями чёрного цвета - нижний и верхний пределы флуктуации E_k .

Линейный тренд кумулятивной сейсмической энергии выражается эмпирической формулой:

$$E_k = (1.8868t - 3711.4) \times 10^{13}, \text{ Дж}, \quad (4)$$

где E_k - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t - время (год), коэффициент 1.8868×10^{13} имеет размерность Дж/год, представляет собой скорость высвобождения сейсмической энергии. Флуктуация кумулятивной сейсмической энергии ограничивается снизу и сверху линиями, параллельными линейному тренду. Разница кумулятивной сейсмической энергии между верхней и нижней линиями (за 1960-2017 гг.) составляет около 6.2×10^{14} Дж и является максимальной сейсмической энергией землетрясений данного региона. Нижняя линия флуктуации E_k выражается эмпирической формулой:

$$E_k = (1.8668t - 3731.3) \times 10^{13}, \text{ Дж},$$

где E_k - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t - время (год). График кумулятивной сейсмической энергии постепенно приближается к нижней линии флуктуации. В связи с этим можно отметить, что в 2019-2020 гг. вероятно наступит сейсмическая активизация в рассматриваемом районе.

Заключение

1. По распределению землетрясений за 1960-2017 гг. в пределах активных структур Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий выделены области концентрации землетрясений (ОКЗ): КК-Кайракумский, ЧП-Чуст-Папский, НГ-Наманганский, АТ-Атойнокская, ПС-Пскентская, которые отражают процессы динамической сегментации и динамической секторизации активных структур. При распределении землетрясений во времени вдоль активных структур вырисовываются векторы сейсмической активизации. Эти векторы направлены с северо-востока на юг-запад и имеют кажущуюся скорость миграции сейсмической активизации примерно 9-10 км/год.
2. В последовательности проявления землетрясений за исследуемый период поэтапно выделялись циклы третьего, второго и первого порядков по их иерархии. 13 октября 1985 г. проявился пик сейсмической активизации ($K=14.6$ - Кайракумское землетрясение) в ОКЗ Кайракумская (КК). В проявлении пиков циклов отмечалась кажущаяся миграция по ряду областей концентрации землетрясений (ОКЗ). Продолжительность циклов третьего порядка составляла 3-7 лет, а циклов второго порядка - 10-18 лет.
3. График изменения кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 8.0$ в пределах активных структур Северной Ферганы, Кураминского и Чаткальского поднятий за период 1960-2017 гг., неровный, ступенчатый (выражают сейсмические циклы) и имеет линейный тренд:

$$E_k = (1.8868t - 3711.4) \times 10^{13}, \text{ Дж},$$

где E_k - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t - время (сутки), коэффициент 1.8868×10^{13} имеет размерность Дж/год, т.е. представляет скорость высвобождения сейсмической энергии.

4. Повторяемость землетрясений по закону Гутенберга-Рихтера выражается формулой:

$$\lg N = -0.4876 \lg E + 5.5849, \quad R^2 = 0.996,$$

где $\lg N$ – средняя годовая частота, $\lg E = K$ – энергетический класс (Дж), коэффициент 0.4876 является коэффициентом (наклоном) графика повторяемости, R^2 – достоверность аппроксимации. Отмечено, что повторяемость землетрясений по закону Гутенберга–Рихтера предопределяется иерархией сейсмических циклов. Среднее время повторения землетрясений выражается формулой:

$$\lg T = 0.4876 \lg E + 5.5849, \quad R^2 = 0.996,$$

где $\lg T$ – среднее время повторения землетрясения (год), $\lg E = K$ – энергетический класс, R^2 – достоверность аппроксимации.

Литература

1. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1986. 314 с.
2. Омуралиев М. Карта новейшей тектоники Кыргызской ССР. Ташкентская картфабрика ГУГК СССР, 1988.
3. Омуралиев М. Карта сеймотектоники Кыргызской ССР. Ташкентская картфабрика ГУГК СССР, 1988.
4. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С. Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент 2012.-254 с.
5. Джанузакон К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Б.И. Ильясов, В.В. Гребенникова Сильные землетрясения Тянь-Шаня, Бишкек: Илим, 2003. 216.

Рецензент: д-р г.-мин. наук, профессор К. Е. Абдрахматов