

УДК 550.34

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

### СЕЙСМИЧНОСТЬ И СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ, И ПОРОГОВЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СУУСАМЫРСКОГО СОБЫТИЯ 1992 Г. ( $K_R=17.0$ )

**Аннотация.** В статье приведены результаты изучения сейсмического режима Северного Тянь-Шань за 1962–2023 гг. Отмечено, что скорость накопления сейсмической энергии равен  $3.26 \times 10^{15}$  Дж/год и угол наклона графика повторяемости составляет  $-0.4023$ . Анализ распределения землетрясений во времени по иерархии сейсмических циклов показал, что Жаланаш-Тюпское (1978 г.,  $K_R=15.6$ ) и Байсорунское 1990 г.,  $K_R=15.3$ ) землетрясения являются пороговыми событиями крупного Суусамырского землетрясения (1992 г.,  $K_R=17.0$ ).

**Ключевые слова:** пороговое землетрясение, активный разлом, сейсмический режим, повторяемость землетрясений, последовательность землетрясений, сейсмический цикл, кумулятивная сейсмическая энергия.

### ТҮНДҮК ТЯНЬ-ШАНДЫН СЕЙСМИКАЛУУЛУГУ ЖАНА СЕЙСМИКАЛЫК РЕЖИМИ, ЖАНА 1992-Ж. СУУСАМЫР ОКУЯСЫНЫН ( $K_R=17.0$ ) БОСОГО ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРҮ

**Кыскача мазмуну.** Макалада 1962-2023-жылдардагы Түндүк Тянь-Шандагы сейсмикалуулуктун жана сейсмикалык режимдин изилдөөнүн жыйынтыктары келтирилген. Сейсмикалык энергияны топтоо ылдамдыгы  $3.26 \times 10^{15}$  Дж/жыл жана кайталануу графиктин жантайыш бурчу  $-0.4023$  га барабар экендиги белгиленди. Жер титирөөлөрдүн убакыт боюнча жайгашуусунда сейсмикалык циклдердин иерархиясын талдоо Жаланаш-Түп (1978-ж.,  $K_R=15.6$ ) жана Байсоору (1990-ж.,  $K_R=15.3$ ) жер титирөөлөр катуу Суусамыр (1992-ж.,  $K_R=17.0$ ) жер титирөөсүнүн босоголук окуялары болуп саналаарын көрсөттү.

**Негизги сөздөр:** босоголук жер титирөө, активдүү жарака, сейсмикалык режим, жер титирөөлөрдүн каталануусу жана ыраттуулугу, сейсмикалык цикл, кумулятивдик сейсмикалык энергия.

### SEISMICITY AND SEISMIC REGIME OF THE NORTHERN TIEN SHAN AND THRESHOLD EARTHQUAKES OF THE 1992 SUUSAMYR EVENT ( $K_R=17.0$ )

**Abstract.** Study results of seismicity and seismic regime of the Northern Tien Shan for 1962-2023 are presented in the paper. It was noted that the rate of seismic energy accumulation is equal to  $3.26 \times 10^{15}$  J/yr and the slope of the recurrence (b-value) is  $-0.4023$ . Analysis of earthquakes distribution in time by hierarchy of seismic cycles has shown that Zhalanash-Tyup (1978,  $K_R=15.6$ ) and Baysorun 1990,  $K_R=15.3$ ) earthquakes are threshold events of the Suusamyr earthquake (1992,  $K_R=17.0$ ).

**Keywords:** threshold earthquake epicenter, active fault, seismic regime, earthquake recurrence, earthquake sequence, seismic cycle, cumulative seismic energy.

Изучение сейсмического режима геодинамической системы по данным сетей цифровых сейсмических станций и выделение пороговых землетрясений крупных событий является актуальной задачей. На Северном Тянь-Шане в квадрате  $\varphi=41.9^\circ-43^\circ$  с.ш.,  $\lambda=69^\circ-81^\circ$  в.д. на сочленении области горообразования Тянь-Шаня и Казахстанского щита формируются широтные активные разломы, устойчивые поднятия: Кыргызское,

Суусамыртооское, Заилийское, Кунгейское, Терскойское, разделённые межгорными впадинами, такими как Чуйская, Кемино-Чиликская, Иссык-Кульская, Кочкорская, Суусамырская [1, 2]. Исходными данными исследований являлись комплекс геолого-геофизических, сеймотектонических материалов и каталог землетрясений Института сейсмологии НАН КР [3] (с представительным классом  $K_R \geq 8.0$ ), составленный по записям цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана и Китая.

Распределение эпицентров землетрясений с  $K_R \geq 8.0$  в пространстве приведено на рисунках 1 и 2.

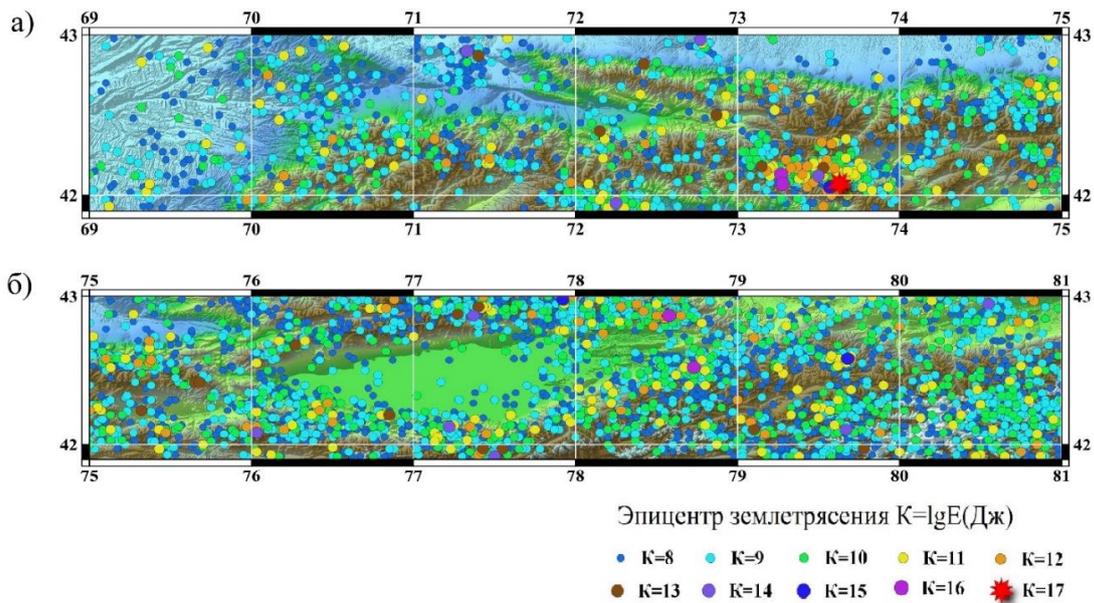


Рисунок 1. Карта - схема распределения эпицентров землетрясений с  $K_R \geq 8.0$  в пространстве северного Тянь-Шаня: а) в квадрате  $\varphi=41.9^\circ-43^\circ$  с.ш.,  $\lambda=69^\circ-75^\circ$  в.д.; б) в квадрате  $\varphi=41.9^\circ-43^\circ$  с.ш.,  $\lambda=75^\circ-81^\circ$  в.д. Эпицентры землетрясений обозначены кружочками разного цвета.

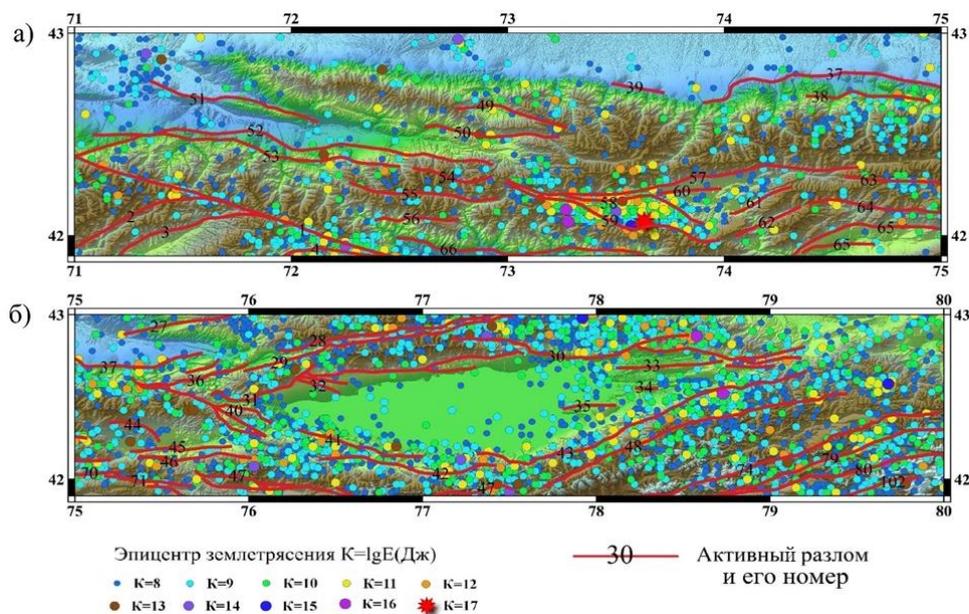


Рисунок 2. Карта активных разломов и эпицентров землетрясений  $K \geq 8$  Северного Тянь-Шаня: а) в квадрате  $\varphi=41.9^\circ-43^\circ$  с.ш.,  $\lambda=71^\circ-75^\circ$  в.д.; б) в квадрате  $\varphi=41.9^\circ-43^\circ$  с.ш.,  $\lambda=75^\circ-$

80° в.д. Эпицентры землетрясений обозначены кружочками разного цвета, активные разломы - красными линиями.

Активные разломы, генерирующие землетрясения, детально изучены [1, 2] при составлении карты сейсмического районирования территории Кыргызстана (М1:1 000 000) в 2018 г. Эпицентры землетрясений приурочены в основном к зонам активных поднятий и разломов. Центральная часть Иссыкульской впадины (на меридиане 77°30') представляет собой асейсмичный район.

Таблица 1. Активные разломы Северного Тянь-Шаня.

Разломы и его сегменты		
1-Таласо-Ферганский	40-Кызыломпульский	57-Восточно-Таласский
2-Пскемский	41-Кызылчокуйский	58-Арамсуйский
3-Чандалашский	42-Тегерек-Коконадырский	59-Суусамыртооский
4-Атойнокский	43-Северо-Терсейский	60-Айгыржалекский
27-Каракоузский	44-Северо-Ортокский	61-Киндикский
28-Северо-Кемино-Чиликский	45-Карасуйский	62-Ойгайынский
29-Южно-Кеминский	46-Южно-Кочкорский	63-Карамойнокский
30-Восточно-Кунгейский	47-Каракуджурский	64-Джумгалтооский
31-Западно-Кунгейский	48-Центрально-Терсейский	65-Джумгалский
32-Актекейский	49-Каракыстакский	66-Кетментюбенский
33-Тасминский	50-Кёпюрё-Базарский	70-Каракаттыйский
34-Бирбашекский	51-Эчкилитооской	71-Байдулынский
35-Оргочорский	52-Южно-Таласский	74-Акшыйрак-Сарыджазский
36-Окторкойский	53-Западно-Таласский	79-Энилчекский
37-Ысык-Атинский	54-Джеруйский	80-Каиндинский
38-Шамси-Тюндюкский	55-Верхне-Бешташский	102-Джангарт-Куюкапский
39-Чункурчакский	56-Акташский	

На рисунке 3 приведён график повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня по Гутенберг-Рихтеру за 1962–2023 гг. Статистическая повторяемость землетрясений выражается формулой:

$$\lg N = -0.4023 K_R + 4.9626, R^2 = 0.98, \quad (1)$$

где  $N$  – средняя годовая частота землетрясений,  $K_R$  – энергетический класс  $\lg E$  (Дж), коэффициент  $-0.4023$  наклон графика повторяемости,  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

На рисунке 4 приведены графики динамики сейсмичности на исследуемой территории. По оси абсцисс отложены порядковые номера землетрясений ( $K_R = 8.0, 9.0, 10.0$ ) в их хронологической последовательности, по оси ординат – годы их возникновения. Увеличение крутизны графиков соответствует замедлению сейсмического процесса, вплоть до фазы затишья, а их выполаживание – его активизации, например, в 1970 г., 1978 г., 1992 г., 2013 г. произошли землетрясения Сарыкамышское, Жаланаш-Тюпское, Суусамырское, Каркыра-Сарыджазское, которые выражены в виде ступенек.

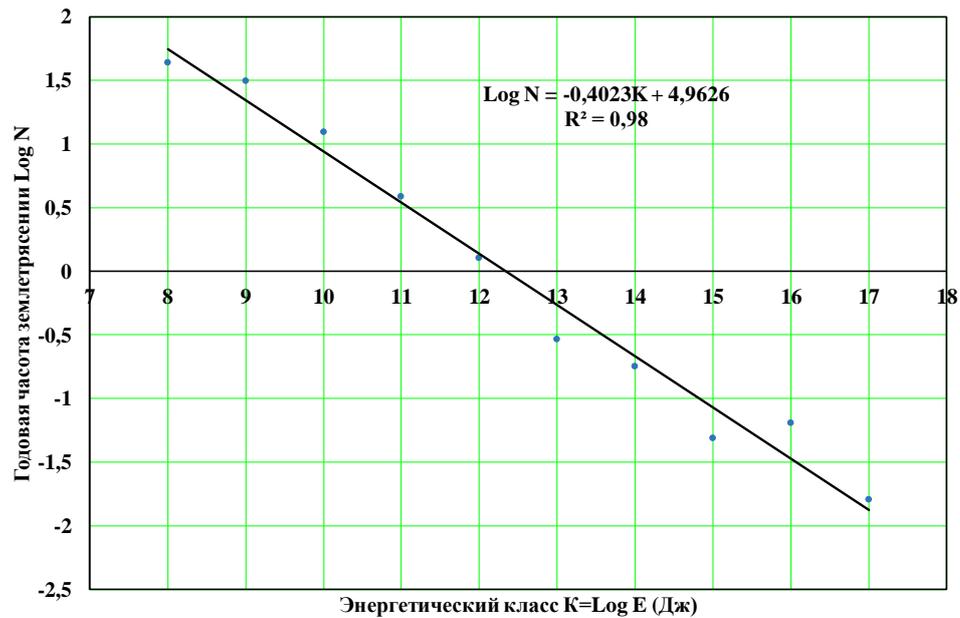
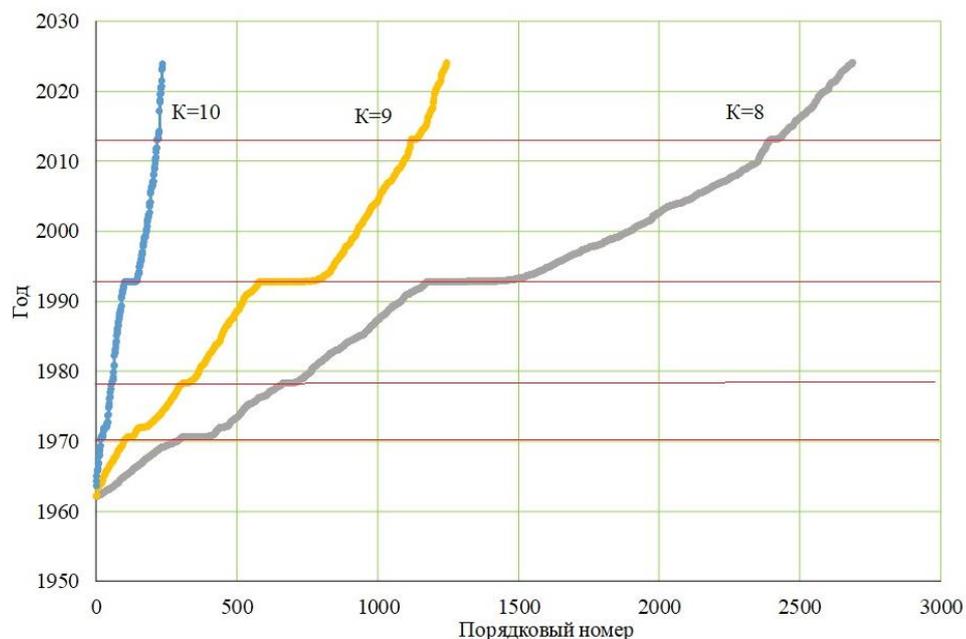


Рисунок 3. График повторяемости землетрясений по Гутенберг-Рихтеру за 1962–2023 гг.

Рисунок 4. Графики накопления сейсмических событий разных классов  $K_R = 8.0, 9.0, 10.0$  на территории Северного Тянь-Шаня.

Распределение землетрясений во времени выражается в виде последовательности их проявлений (рисунок 5). В последовательности землетрясений во времени поэтапно выделяются относительно максимальные значения энергетического класса [4-12]. По ряду этих выбранных значений проводят полиномиальный тренд (нелинейную ПТ-функцию) и выделяют иерархию сейсмических циклов. Так, по пикам сейсмического цикла третьего порядка с различными интервалами времени на основе ПТ-функции выделяются пик сейсмической активизации, период (фаза) спада сейсмической активизации, период сейсмического затишья, минимум периода затишья и период подъема сейсмической активизации, которые составляют сейсмический цикл второго порядка (рисунок 6). Период циклов третьего порядка составляет 7.5–14.4 лет.

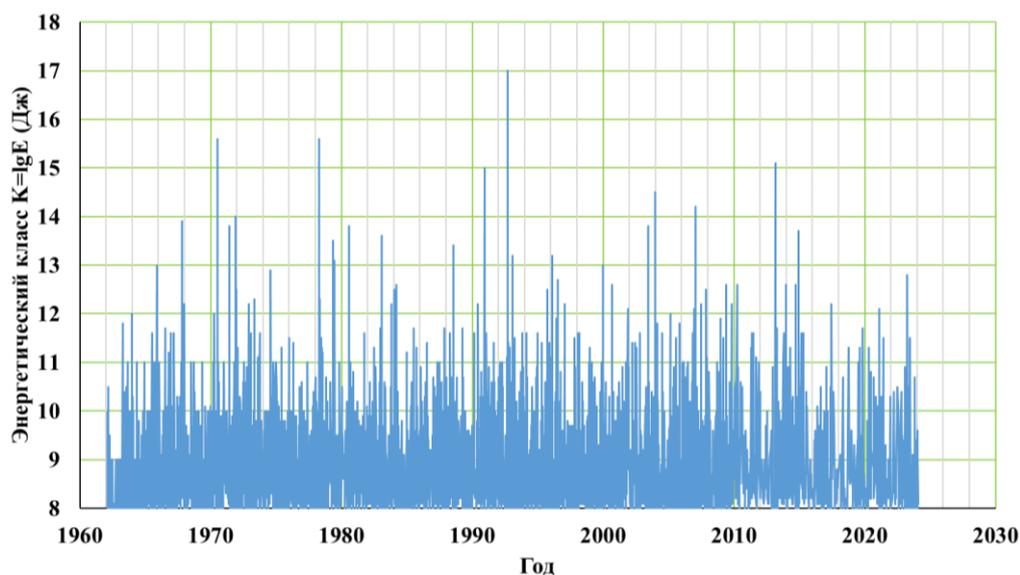


Рисунок 5. Распределение землетрясений Северного Тянь-Шаня во времени в квадрате  $\varphi=41.9^{\circ}-43^{\circ}$ ,  $\lambda=69^{\circ}-81^{\circ}$ .

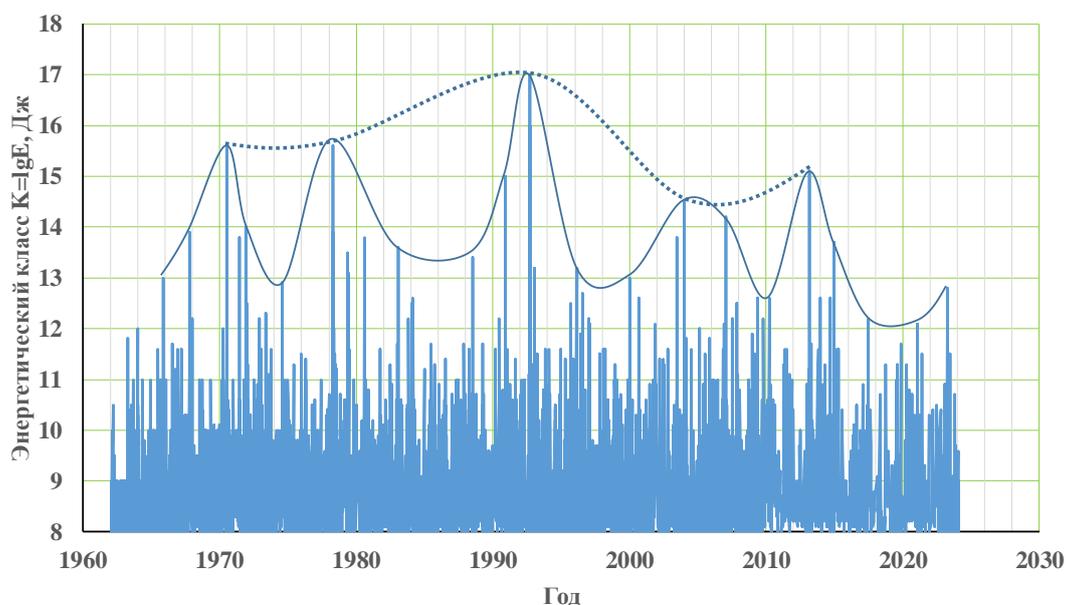


Рисунок 6. Иерархия сейсмических циклов Северного Тянь-Шаня (в квадрате  $\varphi=41.9^{\circ}-43^{\circ}$ ,  $\lambda=69^{\circ}-81^{\circ}$ ) за 1962–2023 гг. Сплошными линиями обозначены нелинейные сейсмические циклы третьего порядка, точечными линиями- циклы второго порядка. Сейсмический цикл первого порядка пока не выделяется.

По мере слежения за последовательностью землетрясений и сейсмических циклов одновременно определяется кумулятивная сейсмическая энергия и составляется её график. На рисунке 7 показана суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с  $K_R > 8.0$ . График её неровный, ступенчатый, что выражает сейсмические циклы. Тренд суммарной сейсмической энергии выражается формулой:

$$E_k = (3.2683t - 6434.2) \times E + 15, \text{ Дж} \quad (2)$$

где коэффициент  $3.2683 \cdot 10^{15}$  имеет единицу измерения Дж/год и представляет собой скорость накопления сейсмической энергии. После 2013 г. отмечается период затишья, который в дальнейшем в 2026 г. перейдет в фазу сейсмической активизации.

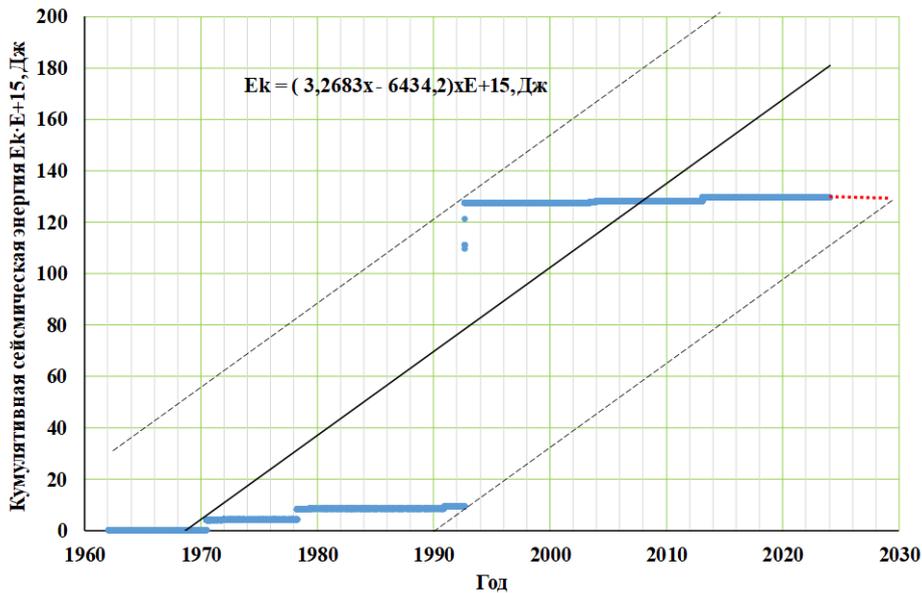


Рисунок 7. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическим классом  $K_R > 8.0$ . Сплошной линией обозначен тренд графика, пунктирными линиями обозначены верхний и нижний пределы флуктуации.

Анализ распределения энергетических классов землетрясений по иерархии сейсмических циклов показал (рисунок 8) на возможность определения пороговых землетрясений [13-15] крупного Суусамырского события (19.08.1992 г.,  $K_R = 17.0$ ,  $I_0 = 9-10$ ). Пороговое землетрясение это уровень, точка или величина (в данном случае энергетический класс) в отдельно взятом сейсмическом цикле, выше которой проявляется крупное землетрясение. Пороговое землетрясение в сейсмическом цикле второго порядка (ПЦ2) проявилось 24.03.1978 г. (Жаланап-Тюпское землетрясение,  $K_R = 15.6$ ,  $I_0 = 8-9$ ,  $\varphi = 42.88^\circ$ ,  $\lambda = 78.58^\circ$ ). Пороговое землетрясение в сейсмическом цикле третьего порядка (ПЦ3) проявилось 12.11.1990 г. (Байсорунское землетрясение,  $K_R = 15.3$ ,  $I_0 = 8$ ,  $\varphi = 40.55^\circ$ ,  $\lambda = 73.56^\circ$ ).

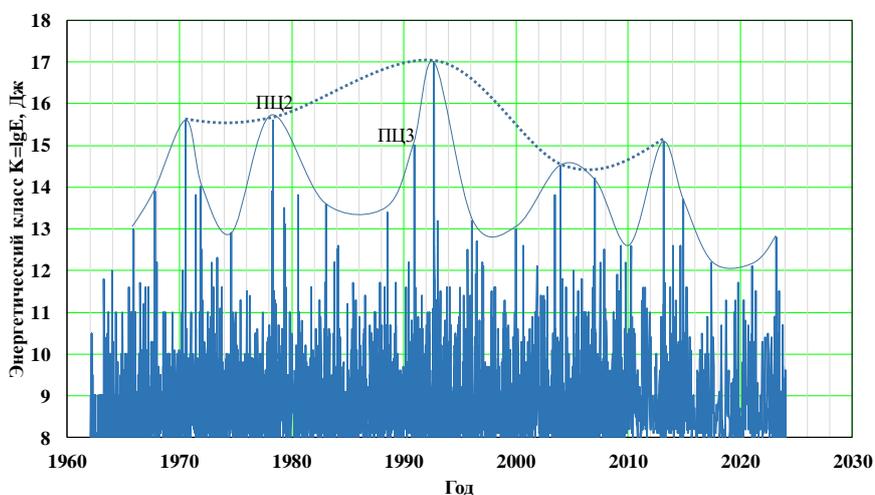


Рисунок 8. Пороговые землетрясения ПЦ2 1978 г. и ПЦ3 1990 г. крупного Суусамырского события (1992,  $K_R = 17.0$ ) по иерархии сейсмических циклов второго и третьего порядков.

Следует рассмотреть сейсмический цикл третьего порядка, выделенного по пикам сейсмических циклов 4-го порядка (с периодами повторения 1.8-3.6 лет), который 28.01.2013 г. имел пик  $K_R = 15.1$  ( $\varphi = 42.58^\circ$ ,  $\lambda = 79.368^\circ$ ) сейсмической активизации. После отмечалась фаза спада активизации до 16.05.2017 г. ( $K_R = 12.2$ ,  $\varphi = 42.08^\circ$ ,  $\lambda = 71.97^\circ$ ), 08.01.2021 г. - фаза затишья ( $K_R = 12.1$ ,  $\varphi = 42.0^\circ$ ,  $\lambda = 80.85^\circ$ ), а 26.02.2023 г. наступила фаза активизации ( $K_R = 12.8$ ,  $\varphi = 41.97^\circ$ ,  $\lambda = 79.78^\circ$ ). Соответственно, на Северном Тянь-Шане с 2013 г. проявился нелинейный асимметричный сейсмический цикл третьего порядка. На рисунке 9 показана траектория сейсмического цикла третьего порядка.

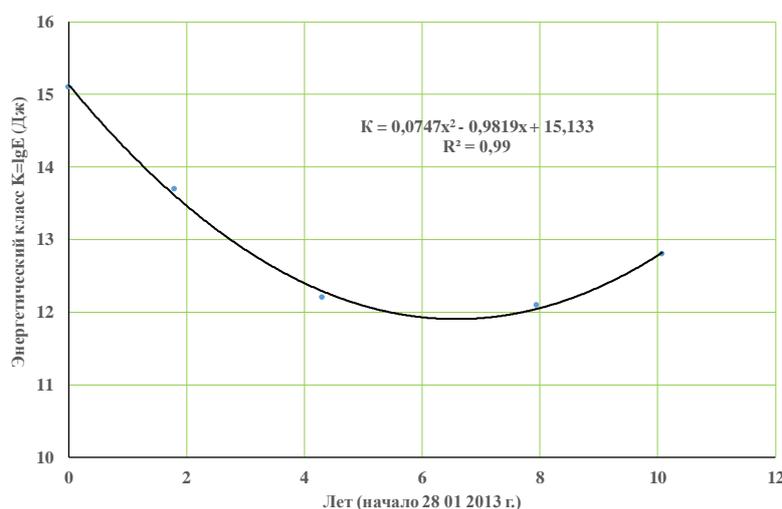


Рисунок 9. Траектория сейсмического цикла третьего порядка, выделенного с 28.01.2013 г. по пикам сейсмических циклов 4-го порядка

Траектория цикла третьего порядка с 28.01.2013 г. выражается эмпирической формулой - полиномом второй степени:

$$K_R = 0.0747 x^2 - 0.9819x + 15.133, R^2 = 0.99, \quad (3)$$

где  $K_R = \lg E$  (Дж) - энергетический класс землетрясения,  $x$  - год,  $R^2$  - достоверность аппроксимации. При этом можно сказать, что ожидаемое землетрясение с  $K_R < 15.0$  может быть в 2024–2025 гг.

### Заключение

1. Изучены активные поднятия и разломы, сейсмичность и сейсмический режим Северного Тянь-Шаня. Отмечено, что эпицентры землетрясений приурочены к зонам активных поднятий и разломов. Повторяемость землетрясений выражается формулой:

$$\lg N = -0.4023 K_R + 4.9626, R^2 = 0.98,$$

где  $N$  - средняя годовая частота землетрясений,  $K$  - энергетический класс  $\lg E$  (Дж), коэффициент  $-0.4023$  наклон графика повторяемости,  $R^2$  - достоверность аппроксимации.

2. Определена динамика сейсмической активности по проявлению дифференцированных энергетических классов землетрясений. Отмечено, что распределение землетрясений во времени - последовательность проявления землетрясений и иерархия нелинейных сейсмических циклов является фундаментальным свойством сейсмических процессов в области иерархии геодинамических блоков Северного Тянь-Шаня. Период сейсмических циклов, в частности, третьего порядка составляет 7.5–14.4 лет.

Одновременно прослежено накопление сейсмической энергии. График кумулятивной сейсмической энергии неровный, ступенчатый, что выражает сейсмические циклы. Тренд суммарной сейсмической энергии выражается формулой:

$$E_k = (3.2683t - 6434.2) \times E^{+15}, \text{ Дж},$$

где коэффициент  $3.26 \times E^{+15}$  имеет единицу измерения Дж/год и представляет собой скорость накопления сейсмической энергии. Амплитуда флуктуации кумулятивной сейсмической энергии ( $1.2 \times E^{+17}$  Дж) означает величину сейсмической энергии ожидаемого сильного землетрясения исследуемого региона.

3. Анализ распределения энергетических классов землетрясений по иерархии сейсмических циклов показал на возможность определения пороговых землетрясений крупного Суусамырского события (19.08.1992 г.,  $K_R=17.0$ ,  $I_0=9-10$ ). Пороговое землетрясение в сейсмическом цикле второго порядка (ПЦ2) проявилось 24.03.1978 г. (Жаланаш-Тюпское землетрясение,  $K_R = 15.6$ ,  $I_0=8-9$ ,  $\varphi=42.88^\circ$ ,  $\lambda=78.58^\circ$ ). Пороговое землетрясение в сейсмическом цикле третьего порядка (ПЦ3) проявилось 12.11.1990 г. (Байсорунское землетрясение,  $K_R = 15.3$ ,  $I_0=8$ ,  $\varphi=40.55^\circ$ ,  $\lambda=73.56^\circ$ ).
4. Траектория цикла третьего порядка с 28.01.2013 г. выражалась эмпирической формулой - полиномом второй степени:

$$K_R = 0.0747 x^2 - 0.9819x + 15.133, R^2=0.99,$$

где  $K_R = \lg E$  (Дж) - энергетический класс землетрясения,  $x$  - год,  $R^2$  - достоверность аппроксимации. В связи с этим предположено, что на Северном Тянь-Шане ожидаемое землетрясение с  $K_R < 15.0$  может быть в 2024–2025 гг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Central Asia. Bishkek: Ilim. 2004. 166 p.
2. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. Бишкек: ОСОО «ТРИАДА Принт». 2019. 98 с.
3. Отчёт о научно-производственной деятельности Центра обработки данных Института сейсмологии НАН КР за 2023 г. 64 с. /Фонды ИС НАН КР.
4. Омуралиев М., Омуралиева А. (KG) Способ определения силы и времени – суток среднего и крупного ожидаемого землетрясения системы сейсмогенерирующих зон. Патент №1369. 31.06.2011 г.
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. Мамбетова Г. А., Омуралиев М. Сейсмические циклы Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и землетрясение Каркыра-Сарыджаз 28 января 2013 г.  $K=15$  //Вестник Института Сейсмологии НАН КР. 2019. №1(13). С.60-69.
7. Мамбетова Г., Омуралиева А., Омуралиев М. Нелинейная динамика последовательности проявления землетрясений //Вестник Института Сейсмологии НАН КР. 2020. №1(15). С.50-80.
8. Мамбетова Г. А., Омуралиев М. Сейсмические циклы Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и землетрясение Каркыра-Сарыджаз 28 января 2013 г.  $K=15$  //Вестник Института Сейсмологии НАН КР. 2019. №1(13). С.60-69.
9. Мамбетова Г., Омуралиева А., Омуралиев М. Нелинейная динамика последовательности проявления землетрясений. //Вестник Института Сейсмологии НАН КР. 2020. №1(15). С.50-80.

10. Мамбетова Г., Омуралиев М., Омуралиева А. Мониторинг последовательности землетрясений Тянь-Шаня и районов соседних регионов за 2012–2022 гг. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2022. № 2 (20). С.41-48.
11. Мамбетова Г.А., Абдрахматов К.Е., Омуралиев М. Мониторинг последовательности проявления землетрясений Кыргызстана и приграничных районов соседних стран за 2020 г. // XIV международная конференция молодых ученых и студентов (27-29 апреля 2022 г. г. Бишкек) «современные техника и технологии в научных исследованиях» Москва-Бишкек: НС РАН, 2022, С.87-93.
12. Мамбетова Г.А., Омуралиев М., Омуралиева А.М. Опыт прогноза землетрясения на основе сейсмических циклов Тянь-Шаня за 2022 г. // XV международная конференция молодых учёных и студентов (26-28 апреля 2023 года г. Бишкек) «Современные техника и технологии в научных исследованиях» Москва-Бишкек: НС РАН, 2023, С.325-332.
13. Баранов С. В. Оценка активности афтершокового процесса с помощью Закона Гутенберга-Рихтера и ETAS-модели//Фундаментальные исследования. -2014. -№12 (часть 4). -С. 751–755.
14. Гельфанд И. М., Губерман Ш.А., Извекова М. Л., Кейлис-Борок В.И., Ранцман Е.Я. О критериях высокой сейсмичности // Докл. АН СССР. Сер. геофиз. 1972. Т. 202, № 6. С.28-35.
15. I.M. Gelfand, Sh.I. Guberman, M.L. Izvekova, V.I. Keilis-Borok, E.Ja. Ranzman Criteria of high seismicity, determined by pattern recognition //Tectonophysics. -1972. -V.13, Issues 1–4, -P. 415-422.

*Рецензент: чл.-корр. НАН КР, д. г.-м. н., проф. Абдрахматов К.Е.*