

УДК 550.34

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

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ И РЕЖИМЫ АКТИВНЫХ СТРУКТУР КЫРГЫЗСКОГО ПОДНЯТИЯ ЗА 2012-2018 ГГ.

**Аннотация.** Описаны иерархия циклов сейсмических процессов и семь активных разломов, генерирующих землетрясения – источники. Иерархия сейсмических циклов показывает, что распределение Пуассона (показательный закон) описывает с малой достоверностью распределение числа промежутков времени между землетрясениями.

**Ключевые слова:** сейсмический цикл, повторяемость землетрясения, кумулятивная сейсмическая энергия, вектор активизации.

## КЫРГЫЗ ТООСУНУН АКТИВДҮҮ СТРУКТУРАЛАРЫНЫН 2012- 2018 ЖЖ. СЕЙСМИКАЛЫК ЦИКЛДЕРИ ЖАНА АБАЛДАРЫ

**Кыскача мазмуну.** Макалада сейсмикалык процесстердин циклдеринин иерархиясы жана жер титирөөлөрдү пайда кылуучу жети активдүү жаракалар келтирилген. Жер титирөөлөрдүн ортосундагы убакыт аралыктардын бөлүнүшүн Пуассон бөлүштүрүүсү аз тактыкта жазылышын сейсмикалык циклдеринин иерархиясы негиздейт.

**Негизги сөздөр:** сейсмикалык цикл, жер титирөөлөрдүн кайталанышы, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, сейсмикалык активдештирүүнүн вектору.

## SEISMIC CYCLES AND REGIMES OF ACTIVE STRUCTURES OF THE KYRGYZ RANGE IN 2012-2018

**Abstract.** The hierarchy of seismic processes' cycles and seven active faults (sources) that generate earthquakes are described in the paper. The hierarchy of seismic cycles shows that the Poisson distribution (exponential law) with low confidence describes the distribution of the number of time intervals between earthquakes.

**Keywords:** seismic cycle, earthquakes' recurrence, cumulative seismic energy, vector of seismic activation.

Кыргызское устойчивое поднятие, имеющее широтное простирание между меридианами около  $72.5^{\circ}$  и  $73.5^{\circ}$ , разделяется на три части - Западно-Кыргызскую, Центрально-Кыргызскую и Восточно-Кыргызскую [1]. Западно-Кыргызская часть поднятия представляет собой северо-вергентную асимметричную антиклинальную структуру, высота которой достигает 4000 м. Северное крыло её оборвано зоной Предкыргызского разлома взбросового типа южного падения. Центрально-Кыргызская часть представляет собой южно-вергентную асимметричную антиклинальную структуру высотой до 3500 м. Южное крыло структуры оборвано зоной Копуробазарского разлома взбросового типа северного падения. В срединной части структуры формируется Каракыстакский разлом взбросового типа также северного падения.

Восточно-Кыргызская часть – это северо-вергентная асимметричная антиклинальная структура, имеющая высоту до 4900 м. Северное крутое крыло складки оборвано зоной Чункурчакского разлома взбросового типа с южным азимутом падения. На северном крыле этого разлома поэтапно образовались две ветви - Шамси-

Тюндюкский и Иссык-Атинский разломы. Южное крыло структуры ограничено Восточно-Таласским разломом северного падения. Восточный край Восточно-Кыргызской части Кыргызского поднятия сочленяется с Окторкойским поднятием северо-восточного простирания, которое ограничено с юга востока одноимённым разломом северо-западного падения.

В пределах Кыргызского поднятия развиваются семь активных разломов, генерирующих землетрясения: Чункурчакский с юго-восточным, центральным и западным сегментами, Окторкойский, Восточно-Таласский, Копуробазарский, Каракыстакский и Предкыргызский.

В статье рассмотрено распределение землетрясений с  $K \geq 5.0$  (по данным ЦД Института сейсмологии НАН КР) в квадрате  $\varphi = 42^{\circ}20' - 43^{\circ}$ ,  $\lambda = 71^{\circ}30' - 76^{\circ}$  и интервале времени 2012-2018 гг. (рис. 1). Отмечается, что в Центрально-Кыргызской части поднятия проявились землетрясения с  $K \leq 8.6$ , а в Западной части поднятия - землетрясения  $K \leq 11.5$ , Восточно-Кыргызской части поднятия проявились землетрясения с  $K \leq 12.6$ .

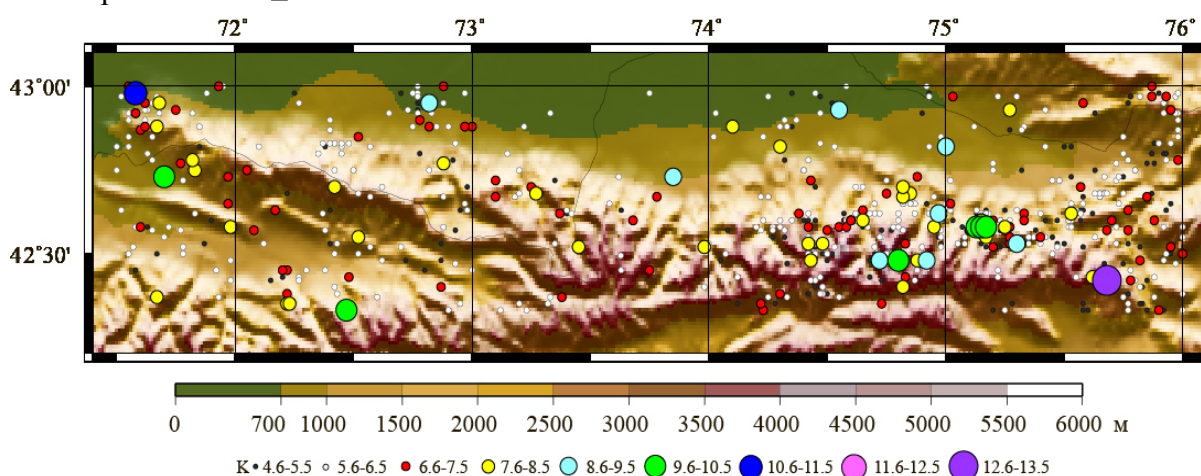


Рисунок 1. Пространственное распределение эпицентров ( $N=787$ ) землетрясений с  $K \geq 5.0$  (по данным ИС НАН КР) в квадрате  $\varphi = 42^{\circ}20' - 43^{\circ}$ ,  $\lambda = 71^{\circ}30' - 76^{\circ}$  за 2012-2018 гг.

Повторяемость землетрясений отражена на графике (рис. 2) и в соответствии с законом Гутенберга-Рихтера [2] выражается формулой:

$$\lg N = -0.4345 \lg E + 4.341 \quad R^2 = 0.988, \quad (1)$$

где  $N$  – средняя годовая частота,  $E$  – сейсмическая энергия (Дж),  $R^2$  – достоверность аппроксимации. Реальную повторяемость землетрясений данного района можно получить из формулы (1) с учётом числа разломов, генерирующих землетрясения – семи источников:

$$\lg N = -0.06207 \lg E + 0,6201 \quad R^2 = 0.988 . \quad (2)$$

Время повторения  $T$  землетрясений на основании формулы (2) выражается формулой:

$$\lg T = 0.06207 \lg E - 0,6201 \quad R^2 = 0.988 . \quad (3)$$

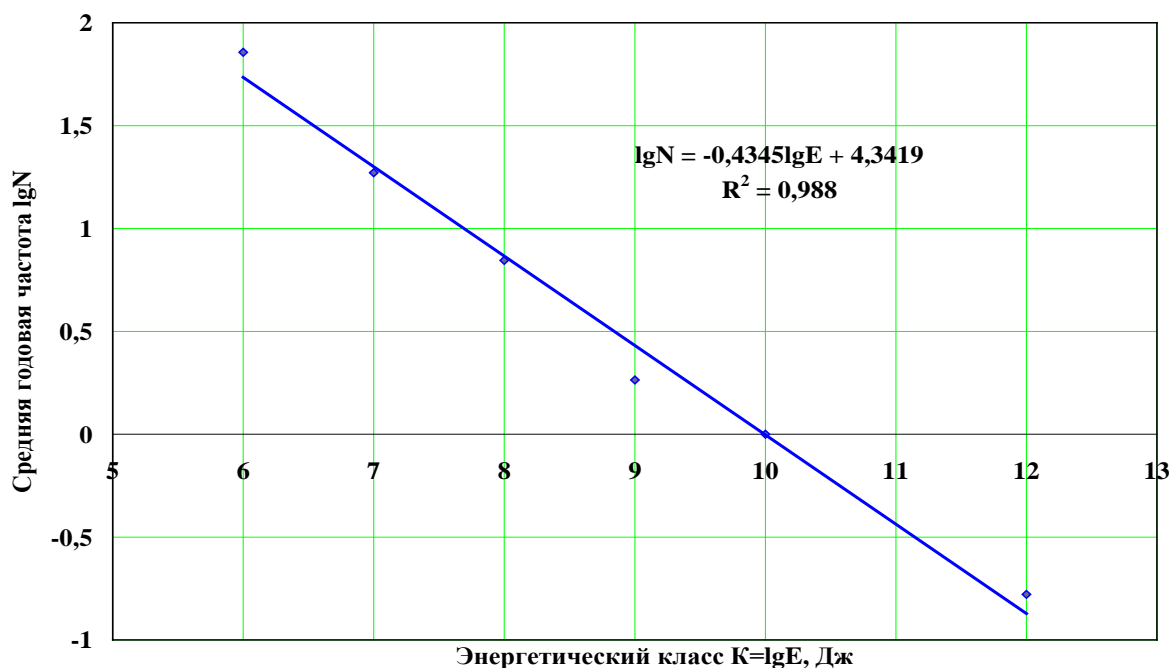


Рисунок 2. График повторяемости землетрясений ( $K \geq 6.0$ ) Кыргызского поднятия в квадрате  $\varphi=42^{\circ}20'-43^{\circ}$ ,  $\lambda=71^{\circ}30'-76^{\circ}$  за 2012-2018 гг.

Последовательность проявления землетрясений Кыргызского поднятия приведена на рис. 3. В ней нелинейными полиномами выделяются иерархии сейсмических циклов [3], например, третьего, второго, первого порядков (условно за 2012-2018 гг.) с характерными периодами сейсмической активизации, спадом активизации и периодом затишья. Энергетические классы землетрясений цикла третьего порядка  $K > 6.0$ , второго порядка  $K \geq 8.0$ , первого порядка  $K \geq 8.7$ .

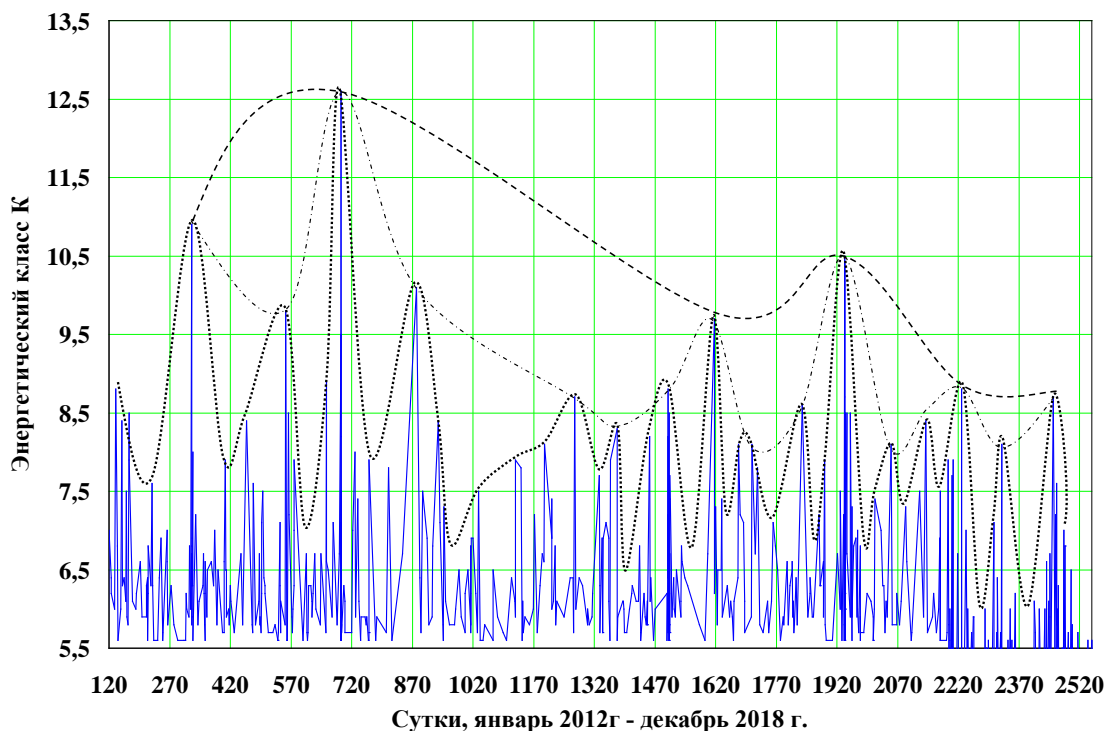


Рисунок 3. Последовательность проявления землетрясений с  $K \geq 5.0$  Кыргызского поднятия Тянь-Шаня с 1 января 2012 г. по 29 декабря 2018 г. Точечной

линией обозначены периоды активизации и затишья третьего порядка, пунктирной линией с точками - периоды активизации и затишья второго порядка, пунктирной линией - периоды активизации и затишья первого порядка, выделенные на основе нелинейных полиномов.

Пики сейсмических циклов третьего, второго и первого порядков приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1. Пики сейсмической активизации циклов третьего порядка.

№ п.п.	год	месяц	число	Время, сутки	Энергетический класс lgE, Дж	Продолжительность цикла, сутки
1	2012	5	16	137.143	8.8	
2	2012	11	19	324.445	10.9	187.302
3	2013	7	9	557.321	9.8	232.876
4	2013	11	23	693.404	12.6	136.083
5	2014	5	28	880.101	10.1	186.697
6	2015	6	21	1270.986	8.7	390.885
7	2015	10	5	1376.829	5.6	105.843
8	2016	2	8	1502.433	8.8	125.604
9	2016	6	2	1616.529	9.7	114.096
10	2016	9	3	1709.774	8.1	93.245
11	2017	1	5	1833.632	8.6	123.858
12	2017	4	21	1939.029	10.4	105.397
13	2017	8	14	2054.440	8.1	115.411
14	2017	11	7	2139.91	8.4	85.47
15	2018	2	3	2228.156	8.8	88.246
16	2018	5	12	2326.843	8.1	98.687
17	2018	9	17	2454.957	8.7	128.114

Таблица 2. Пики сейсмической активизации циклов второго порядка.

№ п.п.	год	месяц	число	Время, сутки	Энергетический класс lgE, Дж	Продолжительность цикла, сутки
1	2012	11	19	324.445	10.9	
2	2013	11	23	693.404	12.6	368.959
3	2016	6	2	1616.53	9.7	736.429
4	2017	4	21	1939.029	10.4	322.499
5	2018	2	3	2228.156	8.8	289.127
6	2018	9	17	2454.957	8.7	226.794

Таблица 3. Пики сейсмической активизации циклов первого порядка.

№ п.п.	год	месяц	число	Время, сутки	Энергетический класс lgE, Дж	Продолжительность цикла, сутки
1	2013	11	23	693.404	12.6	
2	2017	4	21	1939.029	10.4	1245

Продолжительность цикла третьего порядка составляет от 85 до 390 суток, продолжительность цикла второго порядка составляет от 226 до 736 суток, а продолжительность цикла первого порядка до 1245 суток. Иерархия сейсмических циклов с различной продолжительностью означает, что распределение числа промежутков между землетрясениями имеет ряд (несколько) мод. Это реальное наблюдаемое распределение не может быть достоверно описано распределением Пуассона - показательным законом.

Особенности последовательности проявления землетрясений выражены в вариации приращений переходов энергетических классов ( $IgE$ , Дж) от предыдущего к последующему (рис. 4). Величина приращения изменяется от -4.1 до 4.6, стандартное отклонение составляет 1.14. Здесь отмечается своеобразная «пульсация» - периодическое закачивание и разрядка энергии. Градиент сейсмической энергии в последовательности землетрясений имеет среднее значение  $-1.12E+11$  Дж/сутки, стандартное отклонение составляет  $2.1E+12$  Дж/сутки (рис.5).

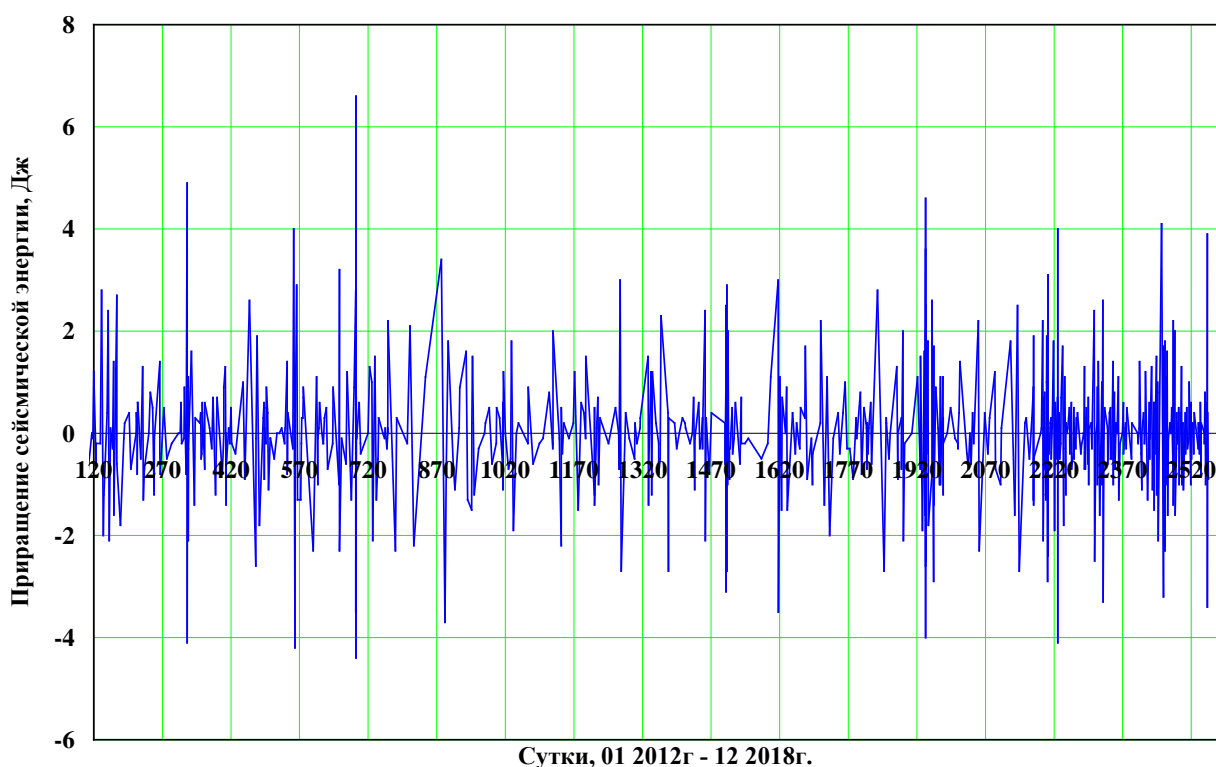


Рисунок 4. Вариация значений приращения энергетических классов в последовательности проявления землетрясений Кыргызского поднятия за 2012-2018 гг.

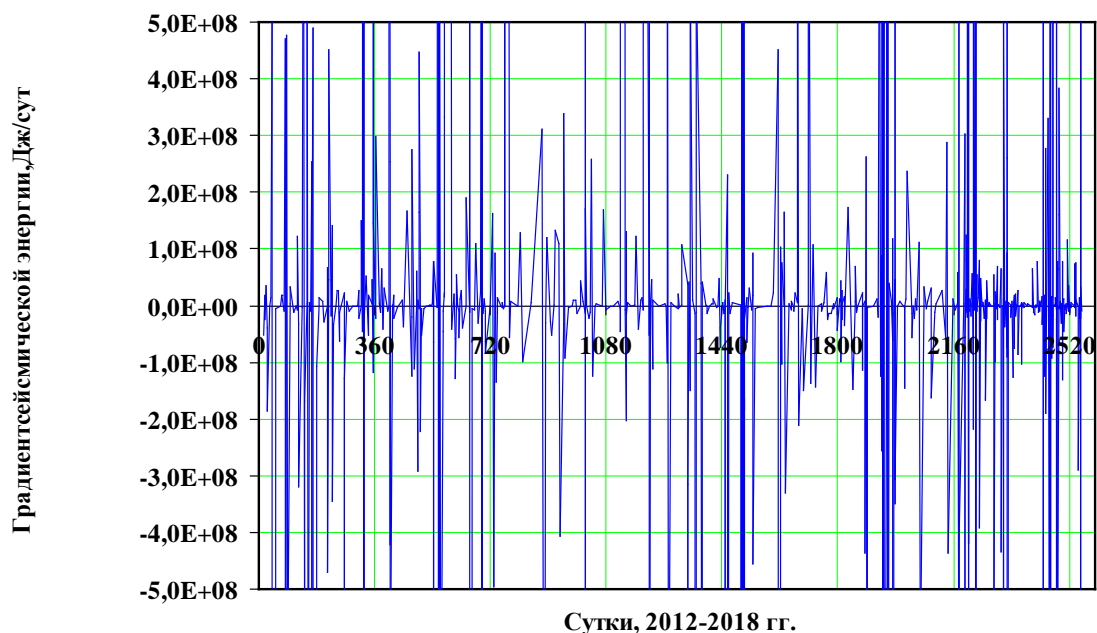


Рисунок 5. Вариация значений градиента сейсмической энергии в последовательности проявления землетрясений Кыргызского поднятия за 2012-2018 гг.

График кумулятивной сейсмической энергии неровный, ступенчатый, отражает сейсмические циклы (рис. 6). Её изменение выражается эмпирической формулой [4]:

$$E_k = (0.0137t + 1.7112) \cdot E + 11, \text{Дж} \quad (3)$$

где  $E_k$  – кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  – время (сутки), коэффициент  $0.011 \cdot 10^{11}$  имеет единицу измерения Дж/сут и представляет собой скорость высвобождения сейсмической энергии.

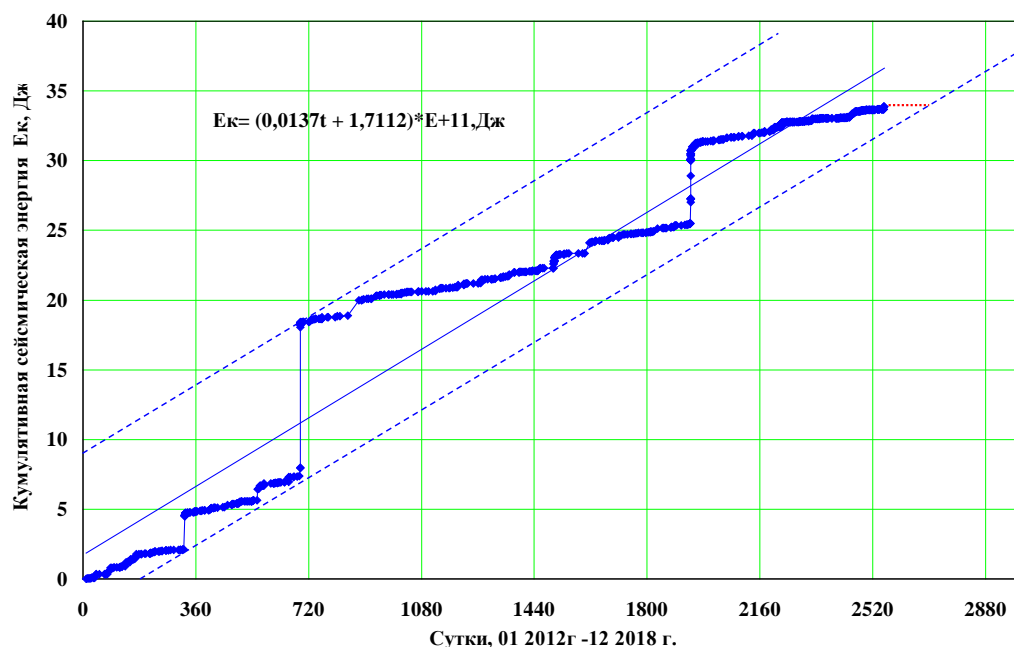


Рисунок 6. Кумулятивная сейсмическая энергия (синие точки, соединённые линией), высвобожденная при землетрясениях с  $K \geq 5.0$  в Кыргызском активном поднятии Тянь-Шаня с января 2012 г. по декабрь 2018 г. Сплошной линией обозначен тренд, пунктирными линиями обозначены нижняя и верхняя границы флуктуации значений кумулятивной сейсмической энергии,

горизонтальной точечной линией обозначен вероятный интервал времени затишья, после которого наступит возможная активизация.

График кумулятивной сейсмической энергии и нижний предел её флуктуации позволяют отметить, что возможная сейсмическая активизация наступит во второй половине 2019 г.

На распределении землетрясений по времени вдоль Кыргызского поднятия отмечается проявление векторов [1] сейсмической активизации (рис.7).

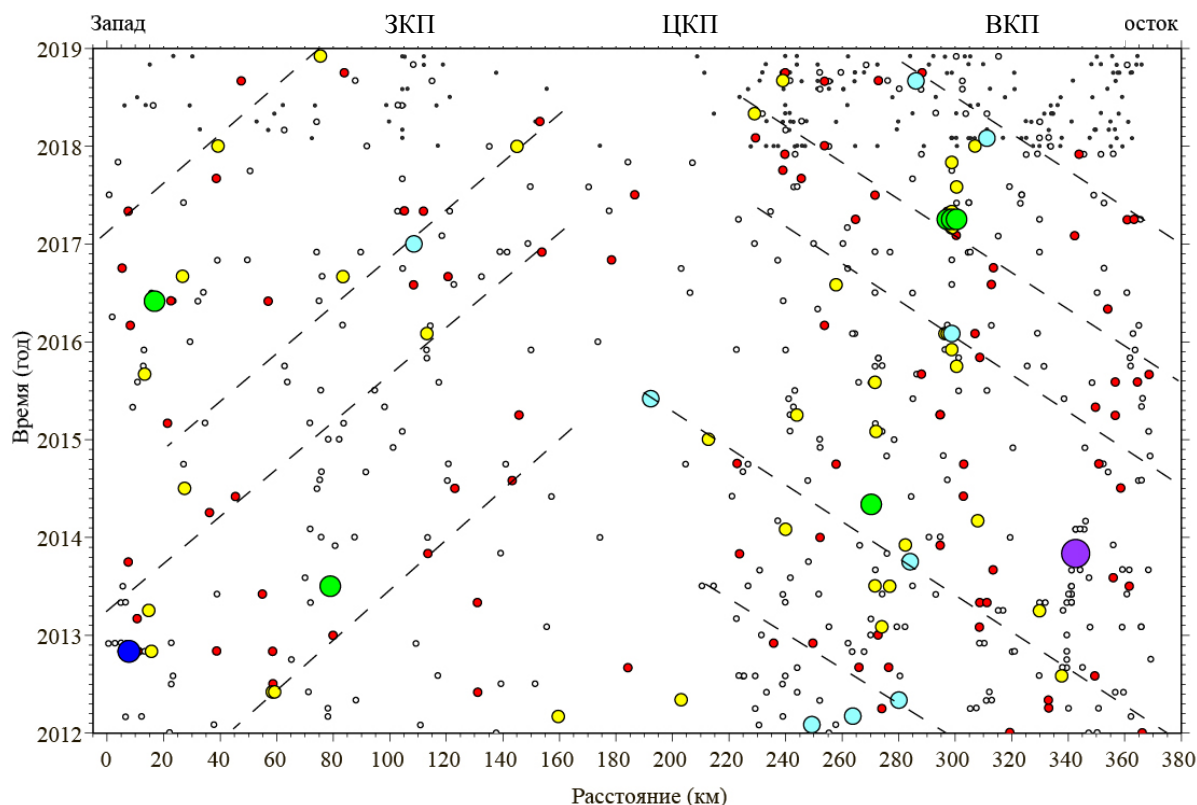


Рисунок 7. Векторы сейсмической активизации вдоль Кыргызского поднятия за 2012-2018 гг. ЗКП - Западно-Кыргызская часть поднятия, ЦКП - Центрально-Кыргызская часть поднятия, ВКП - Восточно-Кыргызская часть поднятия. Пунктирными линиями показаны предполагаемые векторы активизации.

Векторы сейсмической активизации в Западно-Кыргызской части поднятия направлены с запада на восток, скорость миграции которых составляет около 4 км/сутки. Векторы сейсмической активизации в Восточно-Кыргызской части направлены с востока на запад, скорость миграции которых составляет около 5 км/сутки. При этом активизация охватывает сегменты с длиной около 100 км.

Векторы сейсмической активизации поперёк Восточно-Кыргызской части в районе между долготами  $74^{\circ}$ - $75.7^{\circ}$  за 2012-2018 гг. приведены на рис.8. Векторы направлены с севера (от Киндиктасского поднятия) на юг и скорость миграции составляет около 2.1 км/сутки. При этом наблюдается концентрация землетрясений на висячем крыле Чункурчакского активного разлома.

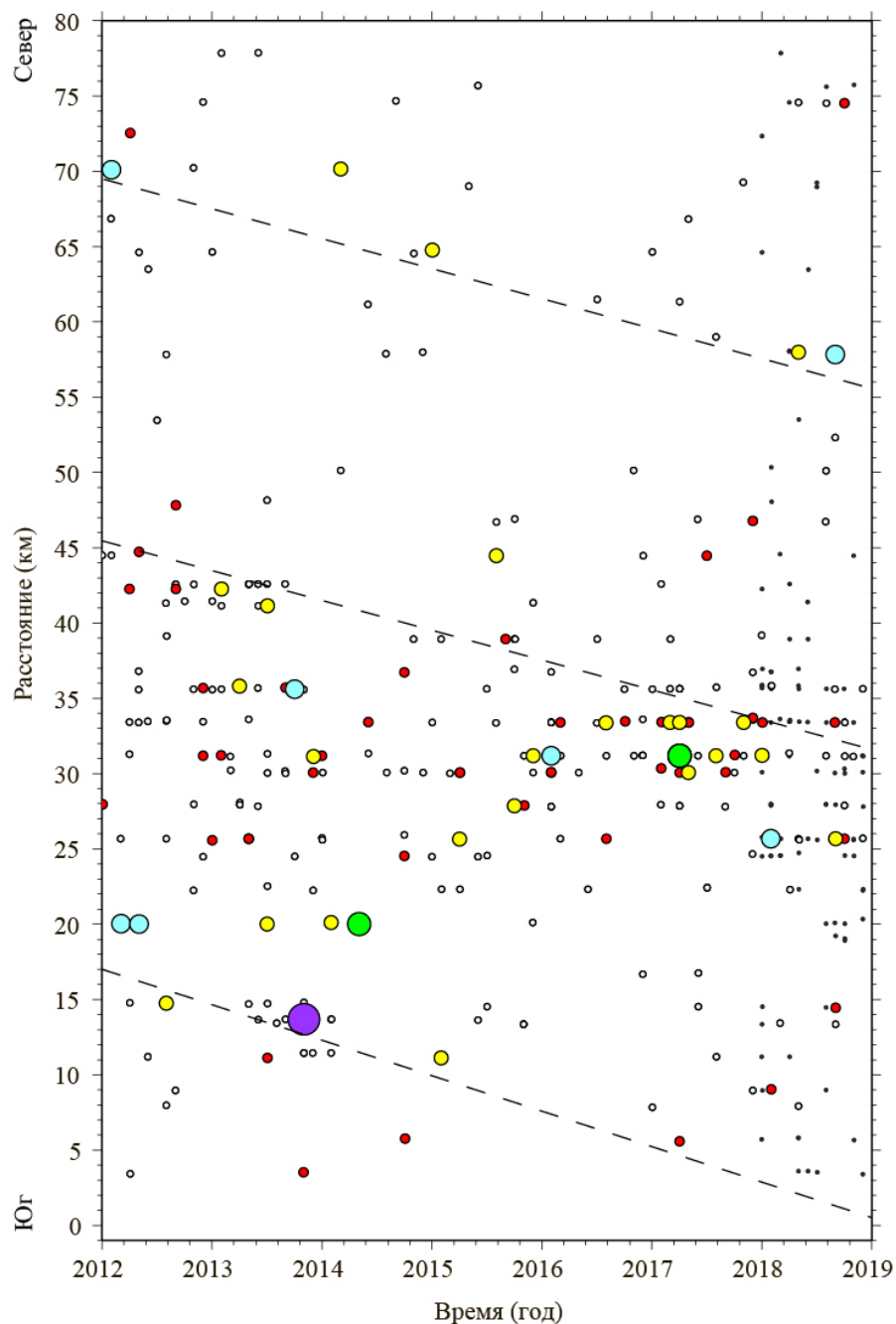


Рисунок 8. Векторы сейсмической активизации поперек Восточно-Кыргызской части поднятия в районе между долготами  $74^{\circ}$ - $75.7^{\circ}$  за 2012-2018 гг. Пунктирными линиями показаны предполагаемые векторы активизации.

### Заключение

В пределах Кыргызского поднятия развиваются семь активных разломов, генерирующих землетрясения.

Повторяемость землетрясений выражается формулой:

$$\lg N = 0.4345 \lg E + 4.341 \quad R^2 = 0.98.$$

где  $N$  – средняя годовая частота,  $E$  – сейсмическая энергия (Дж),  $R^2$  – достоверность аппроксимации. Реальная повторяемость землетрясений может быть получена с учётом числа разломов, генерирующих землетрясения:

$$\lg N = -0.06207 \lg E + 0,6201 \quad R^2 = 0.988.$$



При этом время повторения  $T$  (год) землетрясений:

$$\lg T = 0.06207 \lg E - 0.6201 \quad R^2 = 0.988.$$

На основе изучения последовательности проявления землетрясений Кыргызского поднятия Северного Тянь-Шаня за период 2012-2018 гг. выявлена иерархия сейсмических циклов. Отмечено, что реальное наблюдаемое распределение числа промежутков между землетрясениями не может быть достоверно описано распределением Пуассона - показательным законом.

Кумулятивная сейсмическая энергия выражается эмпирической формулой:

$$E_k = (0.0137t + 1.7112) * E + 11, \text{ Дж},$$

где  $E_k$  – кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  - время (сутки), коэффициент  $0.011 * 10^{11}$  имеет единицу измерения Дж/сут и представляет собой скорость высвобождения сейсмической энергии.

Векторы сейсмической активизации направлены вдоль и поперек активных структур Кыргызского поднятия Тянь-Шаня. Скорость миграции их составляет около 4 км/сутки с запада на восток, 5 км/сутки с востока на запад и 2.1 км/сутки с севера на юг.

### Литература

1. Абдрахматов К.Е., Омуралиева А., Омуралиев М., Калысова Ж. Динамическая сегментация, секторизация и сейсмичность активных структур Кыргызского поднятия на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита. //Вестник ИС НАН КР, 2015, №2(6). С.11-34.
2. Gutenberg B., Richter C.F. Frequency of earthquakes in California //Bull. Seismol. Soc. Am., 1944. 34, 185-188 p.
3. 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.
4. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир. 1985. 264 с.

*Рецензент к.г.-м.н., ВНС А. Б. Джумабаева*