

УДК 550.34

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

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧНОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ АКТИВНЫХ БЛОКОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. Приведены результаты изучения иерархии сейсмических циклов в последовательности проявления землетрясений, высвобождения кумулятивной сейсмической энергии, повторяемости землетрясений и их интенсивности, пиковой скорости колебаний, пикового ускорения в иерархии активных блоков Тянь-Шаня второго порядка. Установлено, что иерархия сейсмических циклов является универсальным параметром сейсмических процессов. Активные блоки второго порядка: Восточный, Центральный и Западный, разделённые зонами Таласо-Ферганского и Джунгарского разломов, имеют свойственные иерархии сейсмические циклы.

Ключевые слова: иерархия активных блоков литосферы, блок второго порядка, иерархия сейсмических циклов, универсальный параметр сейсмических процессов, высвобождение кумулятивной сейсмической энергии, повторяемость энергетического класса, интенсивность, пиковая скорость колебания, пиковое ускорение землетрясения.

ТЯНЬ-ШАНДАГЫ ЭКИНЧИ ИРЕТТЕГИ АКТИВДУУ БЛОКТОРДУН СЕЙСМИКАЛУУЛУГУНУН ДИНАМИКАСЫ ЖАНА СЕЙСМИКАЛЫК КОРКУНУЧУ

Кыскача мазмуну. Макалада Тянь-Шандагы экинчи иреттеги активдүү блоктордун иерархиясындагы жер титирөөлөрдүн болушунун ырааттуулугунда сейсмикалык циклдердин иерархиясын, кумулятивдүү сейсмикалык энергиянын бошонуусун, жер титирөөлөрдүн жана алардын интенсивдүүлүгүнүн кайталанышын, термелүүнүн эң жогорку ылдамдыгын жана ылдамдануусун изилдөө жыйынтыктары келтирилген. Сейсмикалык циклдердин иерархиясы сейсмикалык процесстердин универсалдуу параметри болгону көрсөтүлгөн. Талас-Фергана жана Жунгар жарака зоналары Тянь-Шанды Чыгыш, Ортонку жана Батыш экинчи иреттеги активдүү блокторго бөлөт. Ар бир блокко таандык сейсмикалык циклдердин иерархиялары аныкталган.

Негизги сөздөр: литосферанын активдүү блокторунун иерархиясы, экинчи иреттеги блок, сейсмикалык циклдердин иерархиясы, сейсмикалык процесстердин универсалдуу параметри, кумулятивдүү сейсмикалык энергиянын бошонуусу, энергиялык класстын кайталанышы, интенсивдүүлүк (күч), термелүүнүн эң жогорку ылдамдыгы, жер титирөөнүн эң жогорку ылдамдануусу.

DYNAMICS OF SEISMICITY AND THE SEISMIC HAZARD OF THE SECOND ORDER OF THE TIEN SHAN BLOCKS

Abstract. Investigation's results of the hierarchy of seismic cycles in the sequence of earthquake occurrences, cumulative seismic energy release, recurrence of earthquakes and their intensity, peak velocity of oscillations, peak acceleration in the hierarchy of the Tien Shan's second order active blocks are presented in the paper. It is determined that the hierarchy of

seismic cycles is a universal parameter of the seismic processes. The Talas-Fergana and Dzhungar fault zones divide the Tien Shan into the East, Central, and Western second-order active blocks. Each of these blocks has own distinctive hierarchy of seismic cycles.

Keywords: hierarchy of active lithospheric blocks, second order block, hierarchy of seismic cycles, universal parameter of seismic processes, cumulative seismic energy release, recurrence of the energy class, intensity, peak velocity of oscillation, peak acceleration of an earthquake.

Введение

Область горообразования Тянь-Шань - блок литосферы первого порядка, состоит из иерархии блоков [1] второго порядка: Восточный, Центральный и Западный, которые разграничены поперечными зонами Таласо-Ферганского (ТФР) и Джунгарского (ДжР) разломов северо-западного простирания (рисунок 1).

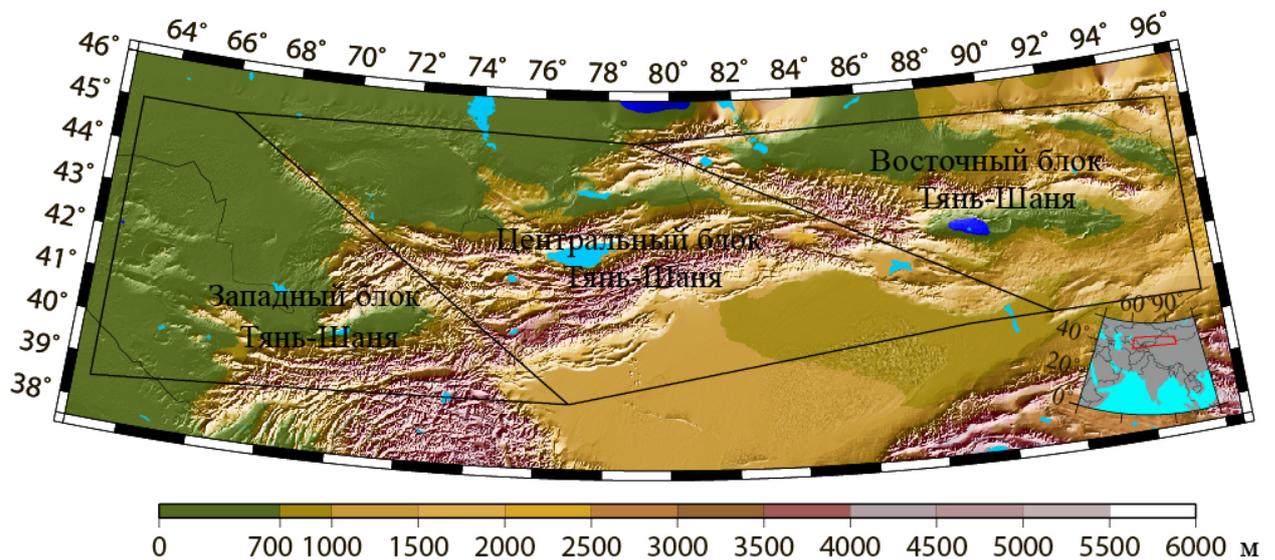


Рис.1. Активные блоки Тянь-Шаня второго порядка: Западный, Центральный и Восточный.

Динамика сейсмичности и сейсмическая опасность блоков второго порядка в Тянь-Шане и его окрестностях изучена по каталогам землетрясений ($K \geq 12$) в квадрате $\varphi=38.5^{\circ}-45.0^{\circ}$, $\lambda=63.0^{\circ}-96.0^{\circ}$ за 1863-2011 гг. [2, 3, 4] (рисунок 2 А, Б, В).

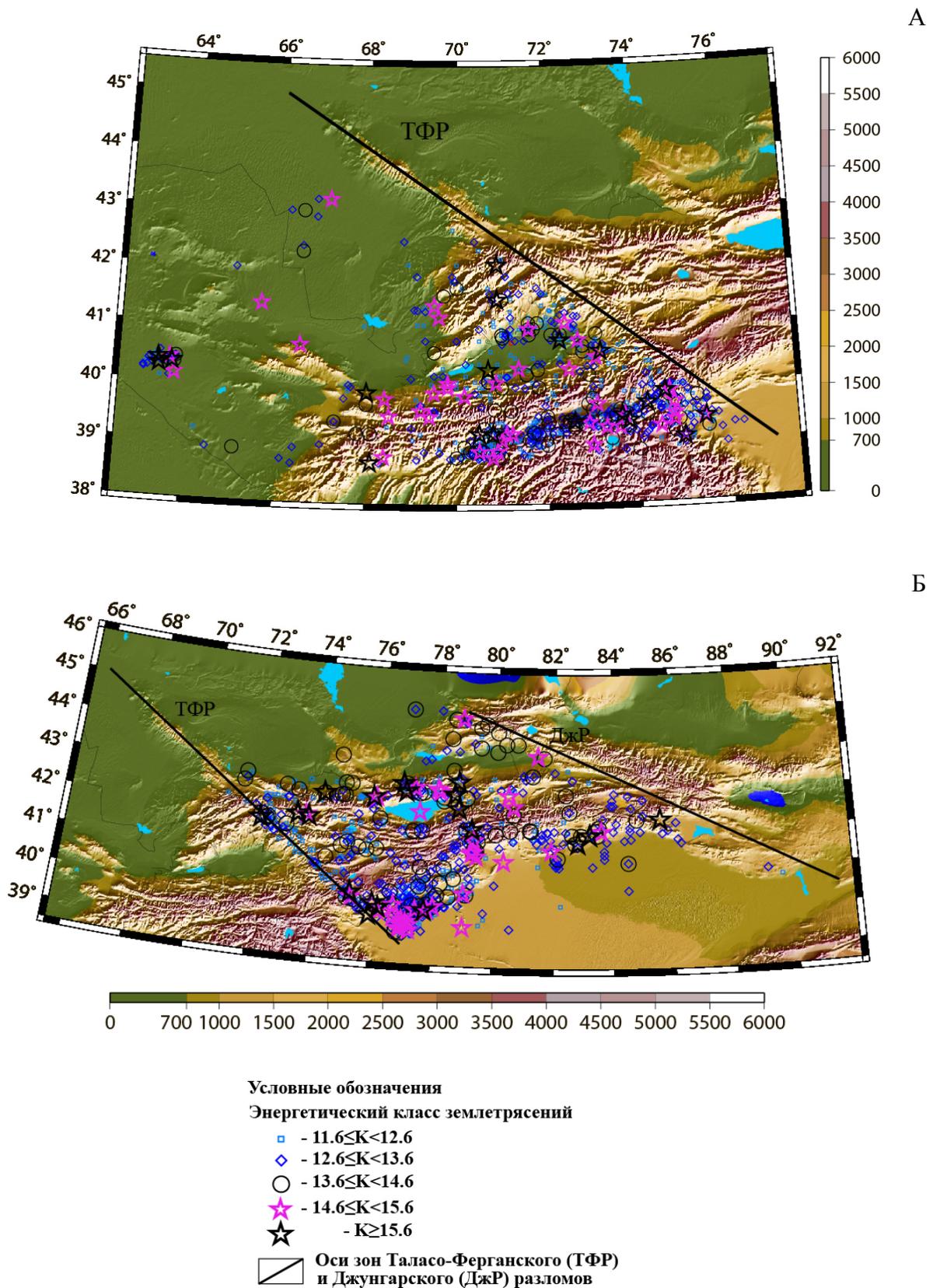


Рис.2.А, Б. Распределение эпицентров землетрясений $K \geq 12$ активных блоков Тянь-Шаня второго порядка: А - Западный, Б – Центральный за 1863-2011 гг. по данным каталогов [2, 3, 4].

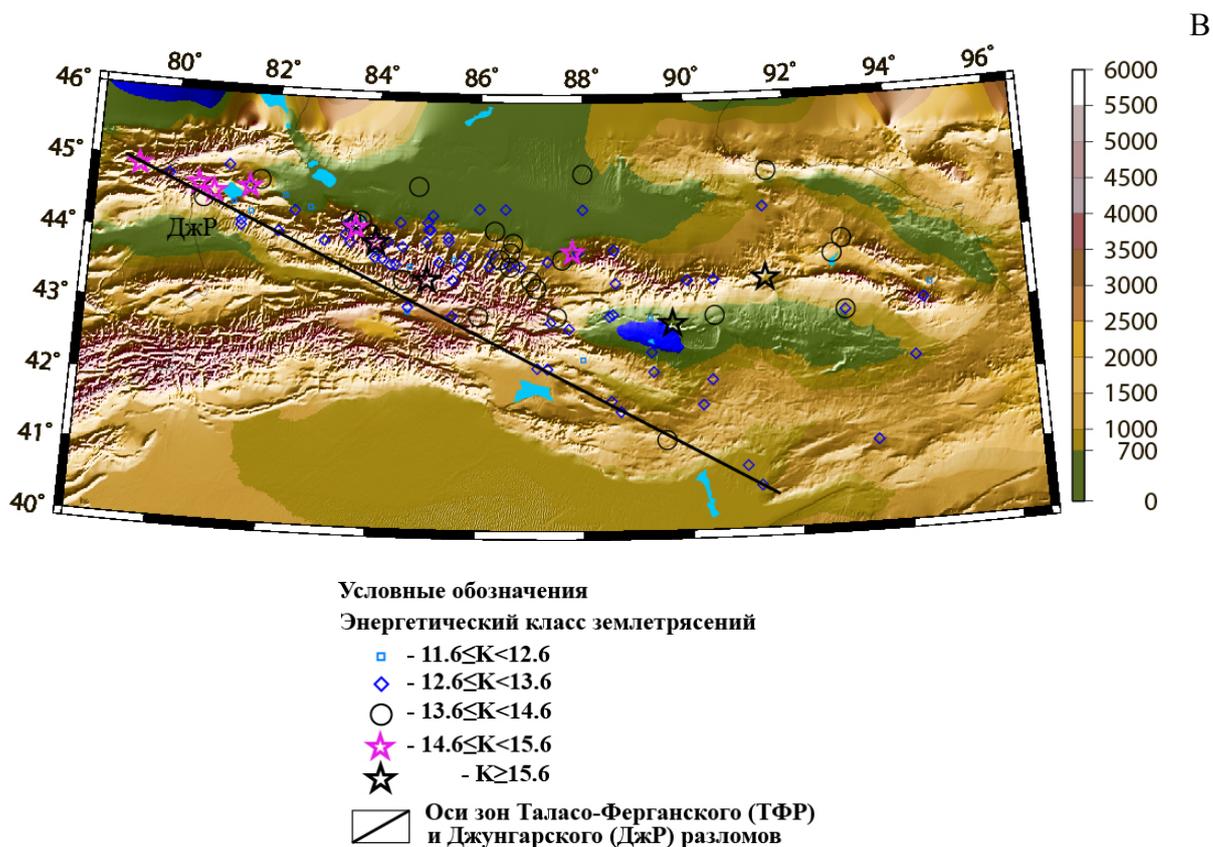


Рис.2.В. Распределение эпицентров землетрясений $K \geq 12$ активных блоков Тянь-Шаня второго порядка: В - Восточный за 1863-2011 гг. по данным каталогов [2, 3, 4].

Чередование периодов сейсмической активизации и затишья при последовательностях землетрясений блоков Тянь-Шаня второго порядка

В последовательностях проявления землетрясений и периодов сейсмической активизации и затишья активных блоков Тянь-Шаня второго порядка отмечаются сейсмические циклы [5, 6].

В Восточном блоке за 1863-2011 гг. (см. рисунок 2В) произошло порядка 112 землетрясений с $K \geq 12$, из которых в 1906 г. и 1914 г., на пике сейсмической активизации, достигли $K=17$ (рисунок 3). Затем наблюдался спад сейсмической активизации цикла первого порядка и в 1944 г. произошло землетрясение с $K=16.4$. К этому времени проявились три цикла третьего порядка с пиками в 1906 г., 1914 г., 1934 г. и в 1944 г. и один цикл второго порядка. Циклы имеют асимметричное строение, графики спада и подъёма сейсмической активизации в цикле характеризуются различными скоростями.

Время повторения циклов третьего порядка составляло 8 лет, 21 год и 14 лет, а время повторения цикла второго порядка – около 34 лет. Далее отмечались два цикла третьего порядка. Время повторения их составляло 11 лет и 29 лет. По пикам циклов второго порядка наметилось затишье сейсмического цикла второго порядка.

В Центральном блоке за 1863-2011 гг. (см. рисунок 2Б) произошло 712 землетрясений с $K \geq 12$. В 1889 г. случилось сильное Чиликское землетрясение с $K=18.5$ на пике сейсмической активизации цикла первого порядка (рис.4). После отметился спад активизации и в 1910 г. произошло Кеминское землетрясение с $K=17.8$. В дальнейшем проявились землетрясения с $K=17$ - в 1946 г.- Чаткальское, в 1992 г.- Суусамырское, в период сейсмического затишья этого цикла первого порядка. Между этими землетрясениями выделялись по пикам ($K \geq 15$) циклов третьего порядка три

сейсмических цикла второго порядка со временем повторения 22 года, 37 лет и 47 лет, соответственно. Четвёртый цикл с 2000 г. находится в периоде затишья. Далее, вероятно наступит активизация до $1992+47=2039$ г. Количество циклов третьего порядка в начале цикла первого порядка было четыре, в последующем увеличилось и достигало пяти. Время повторения циклов третьего порядка составляло 3-14 лет. Циклы имеют асимметричное строение, графики спада и подъёма сейсмической активизации в цикле характеризуются различными скоростями.

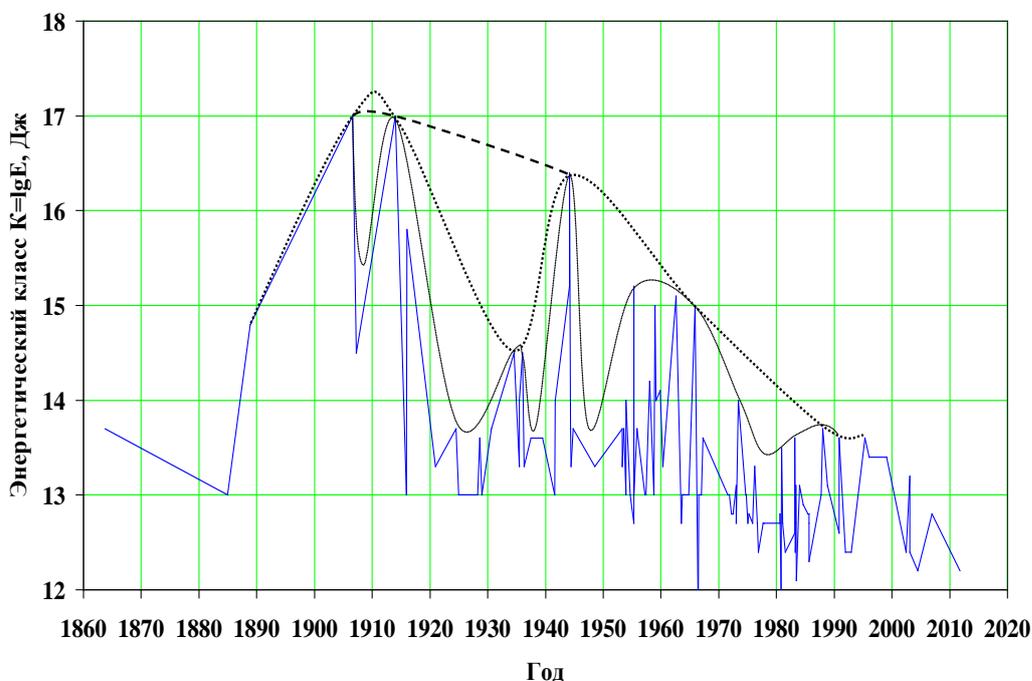


Рис. 3. Последовательность проявления землетрясений ($K \geq 12$, количество 112) Восточного блока Тянь-Шаня второго порядка за 1863- 2011 гг. Сейсмические циклы первого, второго, третьего порядков обозначены пунктирной, точечной и пунктирной с точками линиями, соответственно.

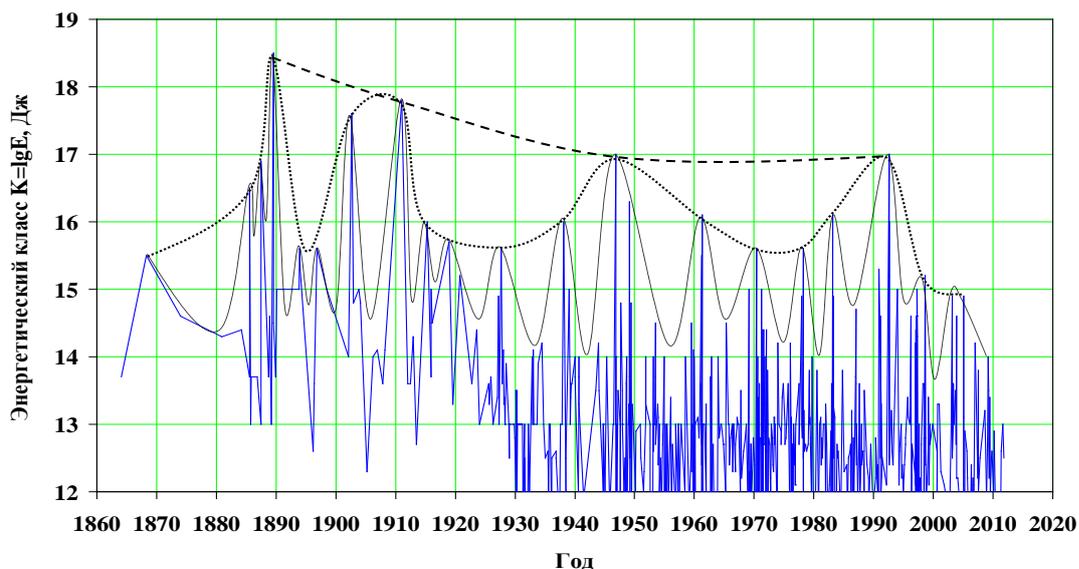


Рис. 4. Последовательность проявления землетрясений ($K \geq 12$, количество 712) Центрального блока Тянь-Шаня второго порядка за 1863- 2011 гг. Сейсмические

циклы первого, второго, третьего порядков обозначены пунктирной, точечной и пунктирной с точками линиями, соответственно.

В Западном блоке за 1863-2011 гг. (см. рисунок 2А) произошло 718 землетрясений с $K \geq 12$. В 1865 г., 1886 г., 1897 г., 1907 г., 1924 г., 1937 г., 1949 г., 1955 г., 1963 г., 1976 г., 1984 г., 1992 г., 2008 г. проявились пики сейсмических циклов (в количестве 13) третьего порядка с энергетическими классами: 15.5, 15.5, 15.8, 17.0, 15.6, 15.6, 17.0, 17.0, 16.4, 15.9, 17.0, 15.3, 16.0, соответственно (рисунок 5). Время повторения циклов третьего порядка составляло 7-17 лет. По этим пикам выделялись циклы второго порядка с пиками $K=17$ в 1907 г., 1949 г. и 1976-1984 гг. Время повторения этих циклов около 43 лет и 28 лет. В новом цикле после 1984 г. в 1992 г. наступило сейсмическое затишье, а с 2008 г. наблюдается активизация. Пик сейсмической активизации, вероятно, проявится до $1984+43=2027$ г. после ожидаемого цикла третьего порядка. Сейсмический цикл первого порядка не отмечается, он держится на уровне $K=17$. Циклы третьего и второго порядков имеют асимметричное строение, графики спада и подъема сейсмической активизации в цикле характеризуются различными скоростями.

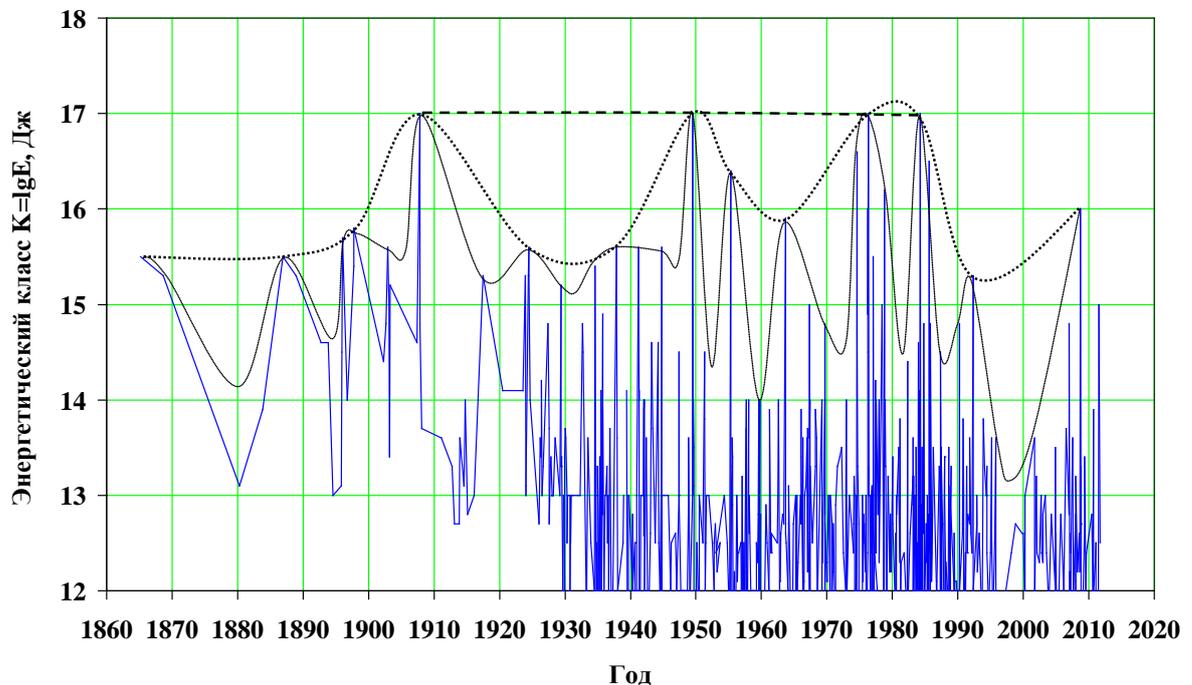


Рис.5. Последовательность проявления землетрясений ($K \geq 12$, количество 718) Западного блока Тянь-Шаня второго порядка за 1863- 2011 гг. Сейсмические циклы первого, второго, третьего порядков обозначены пунктирной, точечной и пунктирной с точками линиями, соответственно.

Таким образом, в последовательностях землетрясений блоков Тянь-Шаня второго порядка выделяются характерные иерархии сейсмических циклов. Отмечено, что иерархия сейсмических циклов представляет собой универсальный параметр сейсмического процесса.

Высвобождение энергии при последовательностях землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка

Изменение кумулятивной сейсмической энергии при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 12$ в Восточном блоке Тянь-Шаня второго порядка с 1863 г. по 2011 г. представлено на рисунке 6. На графике кумулятивной сейсмической энергии

выделяются линейный тренд и нижний, верхний пределы её флуктуации [7, 8]. Наблюдается, что высвобождение сейсмической энергии в 1914 г. достигло верхнего предела и после 1944 г. наступило затишье.

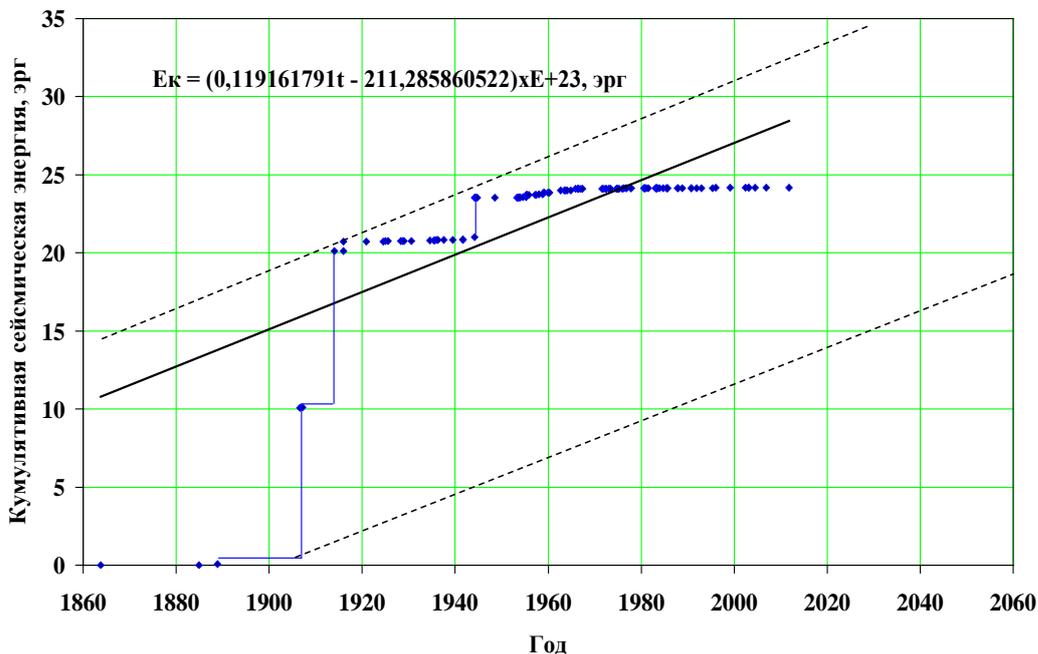


Рис.6. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 12$ в Восточном блоке Тянь-Шаня второго порядка с 1863 г. по 2011 г. Линейный тренд графика обозначен сплошной линией, нижний и верхний пределы флуктуации энергии – пунктирными линиями.

Изменение кумулятивной сейсмической энергии при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 12$ в Центральном блоке Тянь-Шаня второго порядка с 1863 г. по 2011 г. приведено на рисунке 7. На графике кумулятивной сейсмической энергии выделяются линейный тренд и нижний, верхний пределы её флуктуации [7, 8]. Наблюдается, что высвобождение сейсмической энергии в 1915 г. достигло верхнего предела и после наступило затишье.

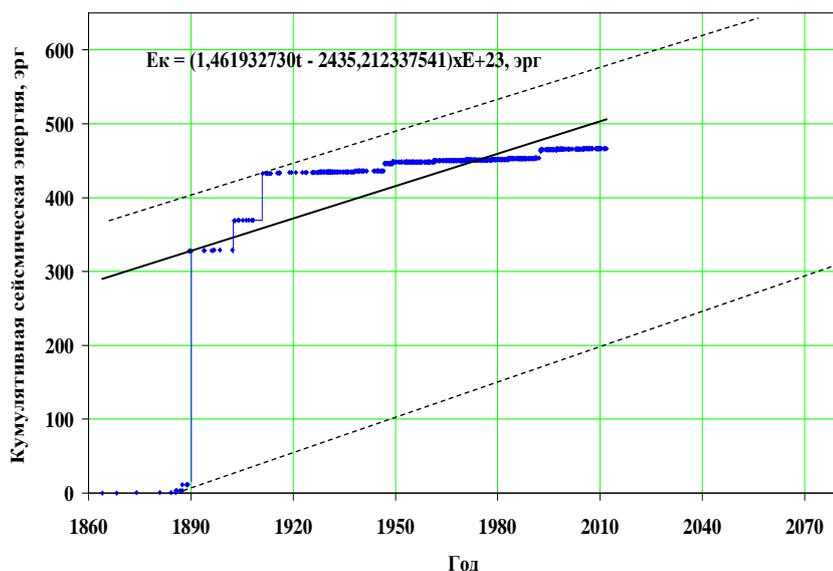


Рис.7. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 12$ в Центральном блоке Тянь-Шаня второго

порядка с 1863 г. по 2011 г. Линейный тренд графика обозначен сплошной линией, нижний и верхний пределы флуктуации энергии – пунктирными линиями.

Изменение кумулятивной сейсмической энергии при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 12$ в Западном блоке Тянь-Шаня второго порядка с 1863 г. по 2011 г. представлено на рисунке 8. На графике кумулятивной сейсмической энергии выделяются линейный тренд и нижний, верхний пределы её флуктуации [7, 8]. Наблюдается, что перед сильными землетрясениями в 1907 г. ($K=17$), 1949 г. ($K=17$), 1976 г. ($K=17$) и 1984 г. ($K=17$) проявилась серия периодов затишья с постепенной активизацией. С 2008 г. вновь наступил период затишья. Время затишья от конечной точки графика кумулятивной сейсмической энергии (по горизонтальной линии) до нижнего предела флуктуации, вероятно, продолжится до 2025 г.

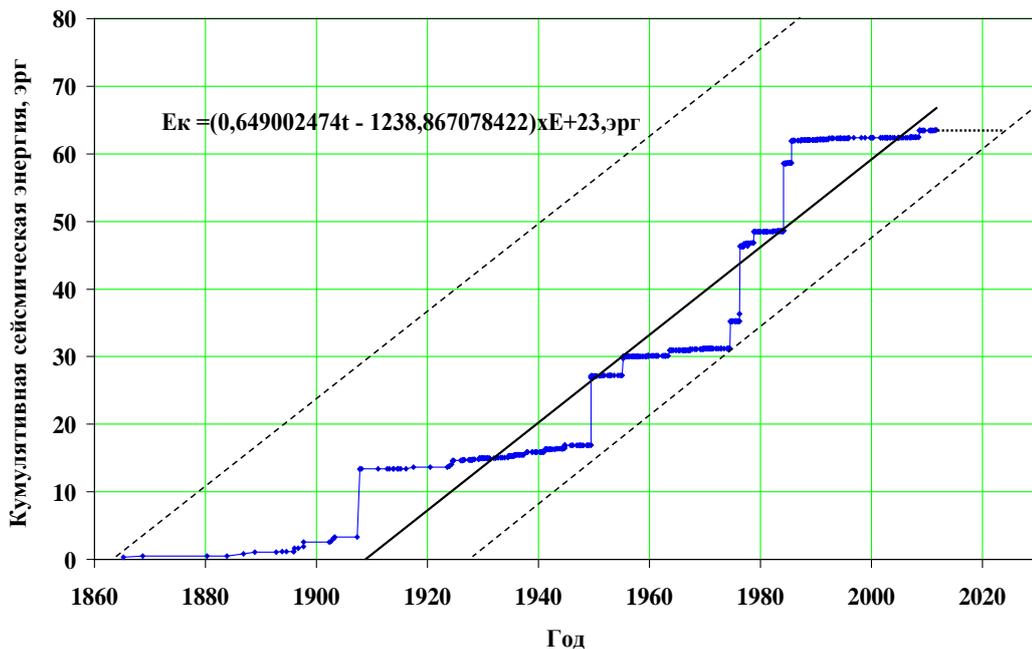


Рис.8. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 12$ в Западном блоке Тянь-Шаня второго порядка с 1863 г. по 2011 г. Линейный тренд графика обозначен сплошной линией, нижний и верхний пределы флуктуации энергии – пунктирными линиями.

Эмпирические формулы трендов кумулятивной сейсмической энергии в блоках Тянь-Шаня второго порядка приведены в таблице 1.

Таблица 1. Линейные тренды кумулятивной сейсмической энергии в блоках Тянь-Шаня второго порядка.

Блок второго порядка	Эмпирическая формула линейного тренда кумулятивной сейсмической энергии
Восточный	$E_k = (0.119161791t - 211.285860522) \times 10^{23}$, эрг
Центральный	$E_k = (1.461932730t - 2435.212337541) \times 10^{23}$, эрг
Западный	$E_k = (0.649002474t - 1238.867078422) \times 10^{23}$, эрг

Из формул в таблице 1 видно, что скорость высвобождения сейсмической энергии в Восточном блоке составляет $0.119161791 \times 10^{23}$ эрг/год, в Центральном блоке - $1.461932730 \times 10^{23}$ эрг/год, в Западном блоке Тянь-Шаня - $0,649002474 \times 10^{23}$ эрг/год. Соответственно, Центральный блок Тянь-Шаня характеризуется относительно высокой скоростью высвобождения сейсмической энергии, а Восточный блок – низкой скоростью высвобождения. Важно отметить, что в высвобождении кумулятивной сейсмической энергии наблюдается чередование периодов активизации и затишья, что отражает иерархию сейсмических циклов.

Повторяемость землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка

В таблице 2 представлена повторяемость землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг. в соответствии с законом Гутенберга – Рихтера [9]

Таблица 2. Повторяемость землетрясений (закон Гутенберга – Рихтера [9]), в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Блок второго порядка	Связь энергетического класса ($K = \lg E$, Дж), средней годовой частоты ($\lg N$) землетрясений-закон Гутенберга – Рихтера и времени повторения землетрясений T (лет)	Достоверность аппроксимации R^2
Восточный	$\lg N = -0,411056446 \lg E + 4.911565449$ $N = 10^{4.911} E^{-0.411}$ $T = 10^{-4.911} E^{0.411}$	0.936
Центральный	$\lg N = -0,425535188 \lg E + 5.77910976$ $N = 10^{5.779} E^{-0.425}$ $T = 10^{-5.779} E^{0.425}$	0.971
Западный	$\lg N = -0,422720300 \lg E + 5.721701286$ $N = 10^{5.721} E^{-0.422}$ $T = 10^{-5.721} E^{0.422}$	0.996

В таблице 3 приведено возможное время повторения землетрясений с $K \geq 14$ в блоках Тянь-Шаня второго порядка на основании формул (таблице 2).

Таблица 3. Время повторения (T , год) землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Название блока, время повторения T (лет) землетрясений	Энергетический класс K				
	18.5-17.6 18	17.5-16.6 17	16.5-15.6 16	15.5-14.6 15	14.5-13.6 14
Восточный		119	46	17	7
Центральный	75	28	10	4	1.5
Западный		29	11	4.1	1.6

Вероятность ($P_k, \%$) времени ожидания (t_k) землетрясения определённого энергетического класса и времени повторения (T_k) в блоках Тянь-Шаня второго порядка можно определить по формуле:

$$P_k = (t_k / T_k) \times 100, \quad (1)$$

где P_k – вероятность времени ожидания землетрясения (%), t_k – время ожидания (лет), T_k – возможное время повторения землетрясения (лет).

В таблице 4 представлена повторяемость максимальной интенсивности [10, 11] – первая изосейста (I_0 , балл) землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Таблица 4. Повторяемость максимальной интенсивности – первая изосейста (I_0 , балл) землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Название блока	Связь максимальной интенсивности (I_0) землетрясений, средней годовой частоты (Ni_0) проявления первой изосейсты и времени повторения максимальной интенсивности (Ti_0)	Достоверность аппроксимации R^2
Восточный	$\lg Ni_0 = -8.8269944261 \lg I_0 + 6.664708621$ $Ni_0 = 10^{6.664} I_0^{-8.826}$ $Ti_0 = 10^{-6.664} I_0^{8.826}$	0.987
Центральный	$\lg Ni_0 = -7.249649435 \lg I_0 + 5.901036457$ $Ni_0 = 10^{5.901} I_0^{-7.249}$ $Ti_0 = 10^{-5.901} I_0^{7.249}$	0.945
Западный	$\lg Ni_0 = -7.594622731 \lg I_0 + 6.186562447$ $Ni_0 = 10^{6.186} I_0^{-7.594}$ $Ti_0 = 10^{-6.186} I_0^{7.594}$	0.988

Вероятность ($P_{I_0}, \%$) времени ожидания (t_{I_0}) определённой максимальной интенсивности землетрясения и времени повторения (T_{I_0}) максимальной интенсивности в блоках Тянь-Шаня второго порядка можно определить по формуле:

$$P_{I_0} = (t_{I_0} / T_{I_0}) \times 100, \quad (2)$$

где P_{I_0} – вероятность времени ожидания определённой максимальной интенсивности (%), t_{I_0} – время ожидания (лет), T_{I_0} – возможное время повторения максимальной интенсивности землетрясения (лет).

В таблице 5 приведена повторяемость пикового ускорения землетрясений [10, 11] в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Вероятность ($P_{пy}, \%$) времени ожидания ($t_{пy}$) определённого пикового ускорения землетрясения и времени повторения ($T_{пy}$) пикового ускорения в блоках Тянь-Шаня второго порядка можно определить по формуле:

$$P_{пy} = (t_{пy} / T_{пy}) \times 100, \quad (3)$$

где $P_{пу}$ – вероятность времени ожидания определённого пикового ускорения (%), $t_{пу}$ – время ожидания (лет), $T_{пу}$ – возможное время повторения пикового ускорения землетрясения (лет).

Таблица 5. Повторяемость пикового ускорения (ПУ, %g) землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Название блока	Связь пикового ускорения (ПУ) землетрясений, средней годовой частоты ($N_{пу}$) проявления пикового ускорения и времени повторения пикового ускорения ($T_{пу}$)	Достоверность аппроксимации R^2
Восточный	$\lg N_{пу} = -1.61866681711 \lg ПУ + 0.974281831$ $N_{пу} = 10^{0.974} ПУ^{-1.618}$ $T_{пу} = 10^{-0.974} ПУ^{1.618}$	0.982
Центральный	$\lg N_{пу} = -1.473096434 \lg ПУ + 1.427947992$ $N_{пу} = 10^{1.427} ПУ^{-1.473}$ $T_{пу} = 10^{-1.427} ПУ^{1.473}$	0.971
Западный	$\lg N_{пу} = -1.448819831 \lg ПУ + 1.38191857$ $N_{пу} = 10^{1.381} ПУ^{-1.448}$ $T_{пу} = 10^{-1.381} ПУ^{1.448}$	0.994

В таблице 6 представлена повторяемость пиковой скорости землетрясений [10, 11] в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Таблица 6. Повторяемость пиковой скорости (ПС, см/сек) землетрясений в блоках Тянь-Шаня второго порядка за 1863-2011 гг.

Название блока	Связь пиковой скорости (ПС) землетрясений, средней годовой частоты ($N_{пс}$) проявления пиковой скорости и времени повторения пиковой скорости ($T_{пс}$)	Достоверность аппроксимации R^2
Восточный	$\lg N_{пс} = -1.5780356331 \lg ПС + 0.845689486$ $N_{пс} = 10^{0.845} ПС^{-1.578}$ $T_{пс} = 10^{-0.845} ПС^{1.578}$	0.982
Центральный	$\lg N_{пс} = -1.442594714 \lg ПС + 1.320375710$ $N_{пс} = 10^{1.320} ПС^{-1.442}$ $T_{пс} = 10^{-1.320} ПС^{1.442}$	0.971
Западный	$\lg N_{пс} = -1.416506131 \lg ПС + 1.27337346$ $N_{пс} = 10^{1.273} ПС^{-1.416}$ $T_{пс} = 10^{-1.273} ПС^{1.416}$	0.994

Вероятность ($P_{пс}, \%$) времени ожидания ($t_{пс}$) определённой пиковой скорости землетрясений и времени повторения ($T_{пс}$) пиковой скорости в блоках Тянь-Шаня второго порядка можно определить по формуле:

$$P_{nc} = (t_{nc}/T_{nc}) \times 100, \quad (4)$$

где P_{nc} – вероятность времени ожидания определённой пиковой скорости (%), t_{nc} – время ожидания (лет), T_{nc} – возможное время повторения пиковой скорости землетрясения (лет).

Заключение

1. Установлен универсальный параметр динамики сейсмических процессов - иерархия сейсмических циклов активных блоков второго порядка. В Восточном блоке время повторения циклов третьего порядка составляло 8 лет, 21 год и 14 лет, цикла второго порядка – около 34 лет, цикл первого порядка начался с 1906 г. В Центральном блоке время повторения циклов третьего порядка составляло 3-14 лет, цикла второго порядка составляли: 22 года, 37 лет и 47 лет, цикл первого порядка начался с 1889 г. В Западном блоке время повторения циклов третьего порядка составляло 7-17 лет, циклов второго порядка - 43 лет и 28 лет, цикл первого порядка неопределённый, держится на уровне $K=17$. Скорость высвобождения кумулятивной сейсмической энергии составляет 0.119×10^{23} эрг/год в Восточном блоке, 1.462×10^{23} эрг/год в Центральном блоке, 0.649×10^{23} эрг/год в Западном блоке.
2. Определены эмпирические формулы повторения различных землетрясений $K=\lg E$ (Дж), максимальной интенсивности I_0 (балл), пикового ускорения ПУ (%g), пиковой скорости ПС (см/сек), вероятности времени ожидания землетрясений $P(\%)$ характерные Восточному, Центральному и Западному блокам второго порядка, со свойственными иерархиями сейсмических циклов. Эти формулы позволяют определить конкретные значения искомых параметров сейсмической опасности в отдельно взятом активном блоке Тянь-Шаня второго порядка. Повторяемости землетрясений с различными, например, сейсмическими энергиями (энергетическими классами), происходят по степенному закону:

$$\begin{aligned} N &= 10^{4.911} \times E^{-0.411}, R^2 = 0.936 \text{ – в Восточном блоке,} \\ N &= 10^{5.779} \times E^{-0.425}, R^2 = 0.971 \text{ – в Центральном блоке,} \\ N &= 10^{5.721} \times E^{-0.422}, R^2 = 0.996 \text{ – в Западном блоке,} \end{aligned}$$

где N – средняя годовая частота, E – сейсмическая энергия (Дж), степени: 0.411, 0.425, 0.422 – размерности (фрактальные) процесса проявления землетрясений в данных блоках, соответственно.

3. Процессы повторения энергетического класса землетрясений (K) имеют фрактальную - дробную размерность меньше единицы, процессы повторения величин: ПУ, ПС – размерности меньше двух, а процессы повторения максимальной интенсивности I_0 - фрактальную размерность больше семи. Естественные фрактальные размерности сейсмических процессов выражают нелинейные геодинамические процессы в дискретной геофизической среде.
4. Установлено, что время T (год) повторения энергетического класса $K=\lg E$ (Дж), максимальной интенсивности I_0 (балл), пикового ускорения ПУ (%g), пиковой скорости ПС (см/сек) землетрясений в блоках Центральный и Западный относительно короткое, а в блоке Восточный – длительное. Соответственно, Центральный и Западный блоки относительно наиболее сейсмически опасны.

Литература

1. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan. Bishkek: Ilim, 2004, 166 p.
2. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 2003. – 216 с.
3. Проект МНТЦ #KR-1176 The Central Asia Seismic Risk Initiative <<http://www.istc.int/ru/project/8BA4EA8987923E8AC3256FE300375E83>>
4. Мамыров Э.М. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Бишкек: «Инсанат», 2012. – 234 с.
5. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. Ин-та физики Земли АН СССР. № 36(203). М: Наука, 1965. С. 66–93.
6. 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.
7. Tsuboi С. Earthquake energy, earthquake volume, aftershock area, and strength of the earth's crust. // J. Phys. Earthq., 1956, v.4, pp.63-66.
8. Касахара К. Механика землетрясений (перев. с англ.) Москва: Мир, 1985, 264 с.
9. Gutenberg В., Richter С.Ф. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. //BSSA, 1956, v. 46, pp. 105-145.
10. Grunthal, G., Musson, R., Schwarz, J., and Stucchi, M., 1998, European Macroseismic Scale (EMS-98): Luxembourg, Conseil de l'Europe, v. 15. <http://media.gfz-potsdam.de/gfz/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch.pdf>
11. Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., and Kanamori, H. Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified Mercalli Intensity in California: Earthquake Spectra, 1999, v. 15, no. 3, pp. 557–564.

Рецензент: д. г.-м. н., проф. Абдрахматов К.Е.