

УДК 550.34

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

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧНОСТИ ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация: В работе определены основные параметры динамики сейсмичности Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Таримской плиты и области горообразования Памира.

Ключевые слова: динамика сейсмичности, литосфера, поддвижение, надвигание, кумулятивная сейсмическая энергия, повторяемость землетрясений, период сейсмической активизации, период сейсмического затишья, сейсмическая мощность, цикличность сейсмичности, амплитуда, период, фаза, спектр, частота, дискретная геофизическая среда.

ТЯНЬ-ШАНДЫН СЕЙСМИКАЛУУЛУГУНУН ДИНАМИКАСЫ

Кыскача мазмуну: Макалада Тянь-Шандын жана Казак калканынын айрылышуу райондорунун, Тарим плитасынын жана Памир тоо пайда болуу аймагынын сейсмикалуулугунун динамикасынын негизги параметрлери аныкталган.

Негизги сөздөр: жер титирөөлөрдүн динамикасы, литосфера, астына жылышуу, үстүнө жылышуу, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, жер титирөөлөрдүн кайталанышы, сейсмикалык активдештирүүнүн мезгили, сейсмикалык басандоо мезгили, сейсмикалык кубаттуулук, сейсмикалык активдештирүүнүн циклдери, амплитуда, период, фаза, спектр, жыштык, дискреттик геофизкалык чөйрө.

DYNAMICS OF SEISMICITY OF THE TIEN SHAN

Abstract: Main parameters of the seismicity dynamics of the Tien Shan and adjacent areas of the Kazakh Shield, the Tarim Basin and Pamir mountain building region are determined in the paper.

Keywords: Dynamics of seismicity, lithosphere, subduction (underthrust), overthrust, cumulative seismic energy, earthquakes' recurrence, seismically active period, seismically calm period, seismic power, cyclicity of seismic activation, amplitude, period, phase, spectrum, frequency, discrete geophysical medium.

Введение

Тянь-Шань – область внутриконтинентального горообразования. На юге литосфера Тарима поддвигается под литосферу Тянь-Шаня и литосфера Памира надвигается на литосферу Тянь-Шаня, а на севере литосфера Казахского щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня, навстречу литосфере Тарима [1]. Сейсмичность определённой территории характеризуется её подверженностью землетрясениям, распределением в пространстве и во времени их очагов, обусловленными тектоническими подвижками пород земной коры и верхней мантии. Обычно изучается механика землетрясений и разломов [2, 3]. Динамика сейсмичности разных регионов рассмотрены в работах зарубежных исследователей [4, 5]. Динамика сейсмичности Тянь-Шаня мало изучена.

Цель работы заключается в изучении сейсмичности единого блока первого порядка Тянь-Шаня, результаты которого могут послужить основой последующего изучения сейсмичности меньших блоков следующего порядка. Основной задачей исследования является определение ряда основных параметров динамики сейсмичности исследуемого

региона. Для этого рассматривается распределение землетрясений в пространстве и во времени в квадрате с координатами $\varphi=38^{\circ}-45^{\circ}$ $\lambda=64.5^{\circ}-85^{\circ}$, который охватывает Тянь-Шань и районы сочленения Казахского щита, Тарима и Памира.

Опыт изучения сейсмичности предшественниками позволяет на начальном этапе исследования в качестве параметров динамики сейсмичности определённого региона или определённой зоны принять, в частности: 1- накопление и высвобождение энергии; 2 - повторяемость землетрясений; 3 - чередующиеся периоды (частота) сейсмической активизации и затишья в последовательности землетрясений геофизической среды; 4 - гармонические составляющие последовательности магнитуд или энергетических классов (в частности максимальных годовых, месячных и т.д.) землетрясений.

Исходные данные, методика и результаты.

Основой исследования послужил обобщённый каталог землетрясений (с древнейших времен - 250 г. до н. э. и по настоящее время), составленный в ходе выполнения проекта МНТЦ-1176 («CASRI» 2006-2009 гг.) сейсмологами Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана [6, 7, 8, 9, 10]. В него вошли данные каталогов землетрясений Института Физика Земли РАН, Сейсмологического бюро СУАР Китая, Института сейсмологии НАН КР, Геологической службы США (USGS) и др. Обобщённый каталог землетрясений получился неоднородный: для ранних лет составлен по археологическим и летописным данным, для более поздних лет были использованы макросейсмические материалы и по мере развития сейсмической сети появились инструментальные данные. С 1960-х годов каталог составлен преимущественно с использованием данных сейсмической сети. Однако, отмечено, что если выбрать землетрясения с энергетическим классом $K \geq 13$, то каталог может быть близким к однородному с 1883 г.

Высвобождение сейсмической энергии при последовательностях землетрясений [11] - один из важных параметров динамики сейсмичности. На рисунке 1 приведено изменение кумулятивной сейсмической энергии. График е неровно-ступенчатый. Верхний и нижний пределы флуктуации очерчиваются парой прямых линий, параллельных к средней линии (линейный тренд). Важно отметить, что интервал времени от последней точки графика до нижней прямой представляет собой максимальное время ожидания наступления периода активизации. Разница между верхней и нижней прямыми линиями выражает возможную суммарную энергию периода сейсмической активизации.

На рисунке 1а. показана кумулятивная энергия с 1889 г. (со времен Чиликского землетрясения) по 2010 г. Линейный тренд выражается формулой:

$$E = (0,2035t - 347.5)10^{17}, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где E – кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t – время (год), коэффициент 0.203 – представляет собой скорость высвобождения энергии Дж/год. Разница между верхней и нижней прямыми линиями есть возможная максимальная энергия (высвобождаемая при землетрясениях) периода сейсмической активизации. Она составляет около $4.5E+18$ Дж. В данном интервале времени выделяются периоды сейсмической активизации с 1889 г. по 1911 г., с 1944 г. по 1955 г., с 1974 г. по 1992 г. с относительно большими скоростями

высвобождения энергии, разделённые периодами понижения активизации с относительно малыми скоростями высвобождения энергии. Суммарная сейсмическая энергия за 1889-2010 гг. составила $5.76E + 18$ Дж. В этом регионе высвобождаемая в год сейсмическая энергия:

$$E/122 = 5.76 \cdot 10^{18} / 122 = 4.72 \cdot 10^{16} ; \text{Дж/год} .$$

Эту величину можно принять, как сейсмическую мощность. Общая площадь исследуемого региона составляет $S=1.502E+6$ км². На площади в один кв.км в год высвобождается энергия $3.14E+10$ Дж/(год·км²), что представляет собой поток сейсмической энергии. Если учитывать, что землетрясения приурочены, в основном, к сейсмогенным зонам, площадь которых меньше условно в 5 раз, то фактическая общая площадь равна примерно $3E+5$ км². Соответственно, величина потока сейсмической энергии в сейсмогенных зонах составит около $1.57E+11$ Дж/(год·км²).

График кумулятивной сейсмической энергии с 1911 г. (со времен Кеминского землетрясения) приведён на рисунке 1б. Линейный тренд выражается формулой:

$$E = (0,1161t - 221,7)10^{17} , \text{Дж} , \quad (2)$$

где $\sum E$ – кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t – время (год), коэффициент 0.116 – скорость высвобождения энергии Дж/год. Разница между верхней и нижней прямыми линиями представляет собой возможную максимальную суммарную энергию периода сейсмической активизации. Она составляет около $3E+17$ Дж. На графике достаточно чётко выделяются периоды сейсмической активизации с 1944 г. по 1955 г. и с 1974 г. по 1992 г. с проявлениями 5-6 сильных землетрясений.

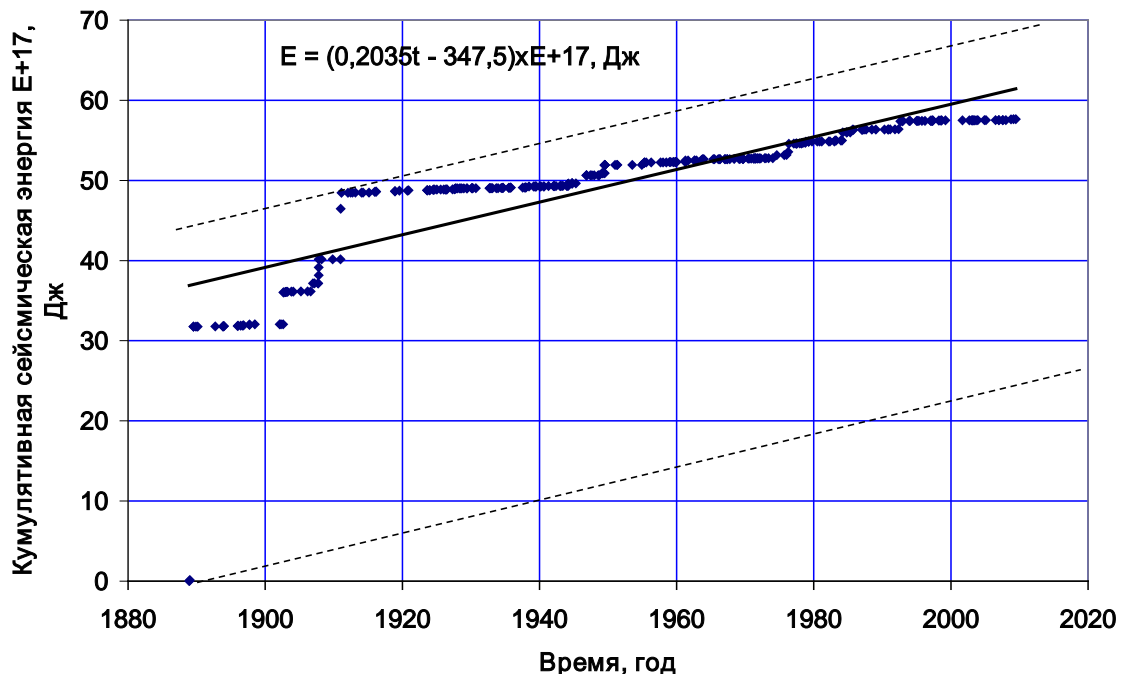


Рисунок 1.а. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 13$ в Тянь-Шане и его окрестностях с 1889 г. по 2010 г. Сплошной линией обозначена средняя линия (линейный тренд), пунктирными линиями – верхняя и нижняя пределы флуктуации.

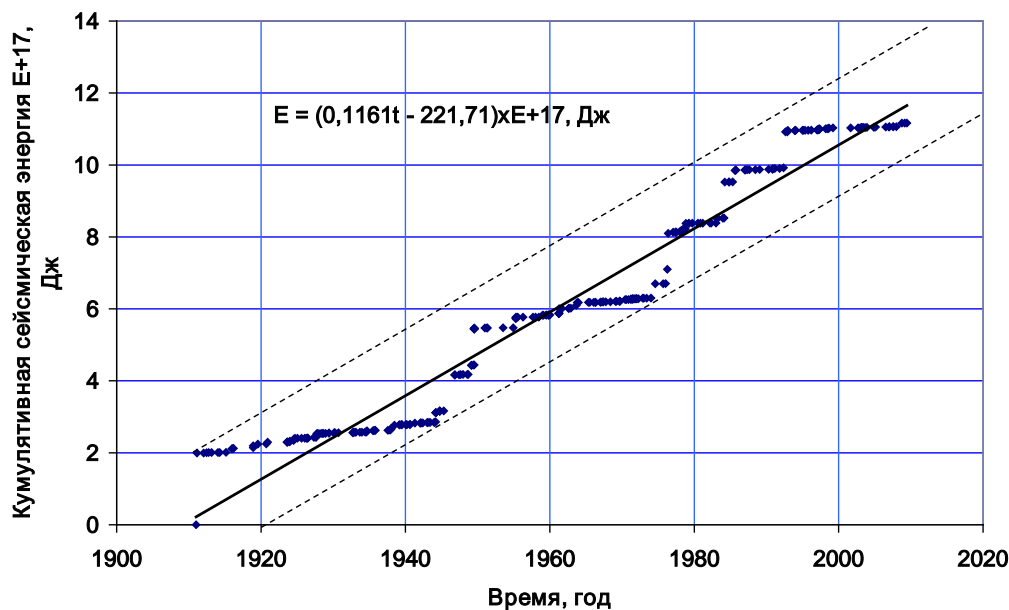


Рисунок 1.б. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 13$ в Тянь-Шане и его окрестностях с 1911 г. по 2010 г. Сплошной линией обозначена средняя линия (линейный тренд), пунктирными линиями – верхняя и нижняя пределы флуктуации.

На рисунке 1.в показана кумулятивная энергия с 1944 г. по 2010 г. Линейный тренд выражается формулой:

$$E = (0,1293t - 250,5)10^{17}, \text{ Дж}, \quad (3)$$

где $\sum E$ – кумулятивная сейсмическая энергия (Дж), t – время (год), коэффициент 0,129 – скорость высвобождения энергии Дж/год.

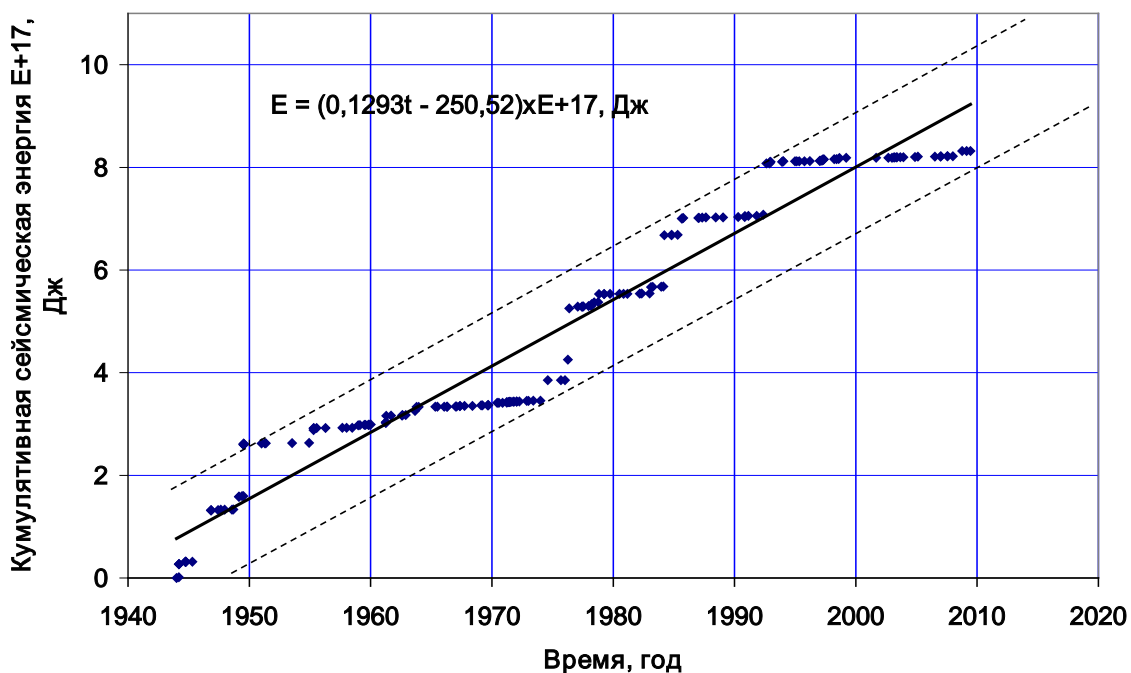


Рисунок 1.в. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами $K \geq 13$ в Тянь-Шане и его окрестностях с 1944 г. по 2010 г. Сплошной линией обозначена средняя линия (линейный тренд), пунктирными линиями – верхняя и нижняя пределы флуктуации.

На графике можно определить время начала периода затишья (например проявленного с 1993 г.). Суммарная сейсмическая энергия периода сейсмической активизации (разница между верхней и нижней прямыми) принимает значение порядка $2.5E+17$ Дж. Суммарная сейсмическая энергия за 1944-2010 гг. достигла $8.32E+17$ Дж. Соответственно, в этом регионе (с общей площадью $S=1.502E+6$ кв.км.) в год фактически высвобождается сейсмическая энергия:

$$E / 67 = 8.32 \cdot 10^{17} / 67 = 1.24 \cdot 10^{16} ; \text{Дж/год} .$$

На площади один кв.км в год высвобождается энергия, т.е. поток сейсмической энергии составляет $8.26E+9$ Дж/(год·км²). Данная величина на порядок меньше, чем поток сейсмической энергии $1.57E+11$ Дж/(год·км²) за период с 1889 г. по 2010 г.

Повторяемость землетрясений (закон Гутенберга–Рихтера) - один из следующих параметров динамики сейсмичности [12]. График повторяемости землетрясений данного региона приведён на рисунке 2. Для исследуемой территории в рассматриваемый период с 1889 г. по 2010 г. представительным энергетическим классом является $K \geq 14$. При этом энергетический класс землетрясений разделён на интервалы классов: 13.6-14.5; 14.6-15.5; 15.6-16.5; 16.6-17.5; 17.6-18.5 и приняты фиксированные интервалы, такие как 14, 15, 16, 17, 18. Повторяемость землетрясений с $K=14-18$ для периода с 1889 г. по 2010 г (рисунок 2) выражается формулой:

$$\lg N = -0.435K + 6.368, R^2 = 0.98, \quad (4)$$

где N – годовая частота землетрясений, K - энергетический класс, R^2 – величина достоверности аппроксимации.

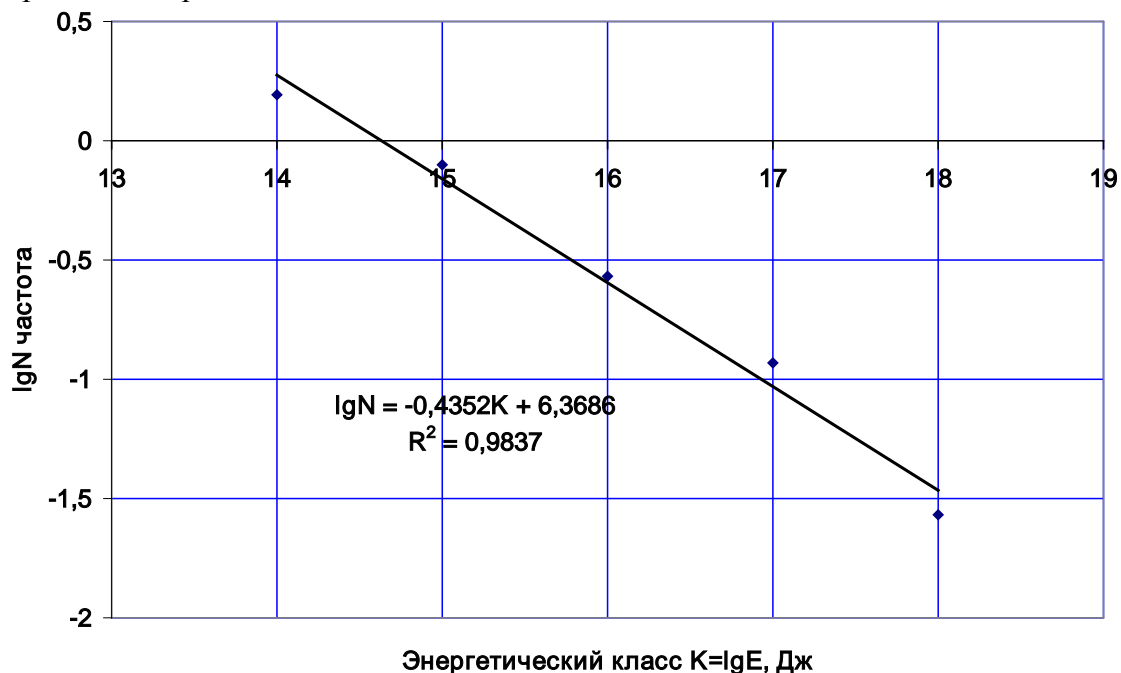


Рисунок 2. График повторяемости землетрясений с $K=14-18$ Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Тарима, Памира

Соответственно, возможное время повторения землетрясений:

$$\lg T = 0.435K - 6.368, R^2 = 0.98, \quad (5)$$

где T – возможное время повторения в год, K - энергетический класс. Вероятность повторения землетрясений выражается формулой:

$$\lg P = -0.435K + 7.92, R^2 = 0.98, \quad (6)$$

где P – вероятность в %, K - энергетический класс.

Повторяемость землетрясений с $K=14-17$ для периода с 1944 г. по 2010 г. выражается формулой:

$$\lg N = -0.397K + 5.776, R^2 = 0.98, \quad (7)$$

где N – годовая частота землетрясений, $K=14-17$ - энергетический класс, R^2 – величина достоверности аппроксимации. Возможное время повторения землетрясения:

$$\lg T = 0.397K - 5.776, R^2 = 0.98, \quad (8)$$

где T – возможное время повторения в год, K - энергетический класс. Вероятность повторения землетрясений выражается формулой:

$$\lg P = -0.397K + 7.30, R^2 = 0.98, \quad (9)$$

где P – вероятность в %, $K=14-17$ - энергетический класс, R^2 – величина достоверности аппроксимации. Вероятность повторения землетрясений P_i другого интервала энергетических классов K_i можно определить по формуле:

$$P_i = N_i / \sum N, \quad (10)$$

где N_i -число землетрясений с энергетическим классом K_i по формуле (7), $\sum N$ - сумма чисел землетрясений в фиксированном интервале классов землетрясений. В таблице 1 приведено расчётное вероятное время повторения землетрясений с $K=14-17$, а в таблице 2 - вероятность повторения землетрясений по формулам (8, 9), соответственно.

Таблица 1.

Вероятное время повторения землетрясений с $K=14-17$ Тянь-Шаня

Энергетический класс $K = \lg E$, Дж	Вероятное время повторения землетрясения, год
14	0.6
15	1.5
16	3.8
17	9.4

Таблица 2.

Вероятность повторения землетрясений с $K=14-17$ Тянь-Шаня

Энергетический класс $K = \lg E$, Дж	Вероятность повторения землетрясения P , %
14	55
15	22
16	8
17	3

В связи с вышеизложенным следует отметить, что при оценке сейсмической опасности необходимо дифференцированно определить возможность всех землетрясений $K \geq 13$, которые могут произойти и привести к повреждению и разрушению зданий и сооружений, а не ограничиваться определением максимального энергетического класса K_{\max} или максимальной магнитуды определённой сейсмической зоны.

Цикличность периодов сейсмической активизации и затишья последовательности максимального энергетического класса K_{max} землетрясений [9, 13, 14] является следующим важным параметром динамики сейсмичности. Выше на графике кумулятивной сейсмической энергии Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Тарима, Памира (см. рисунок 1) выделены периоды сейсмической активизации, разделённые периодами понижения активизации. В работе [9] на основе анализа изменения максимальных годовых энергетических классов K_m за 1900-2010 гг. выделены три фазы активизации и три фазы затишья относительно среднего $K_{max} = 14.8$. С точки зрения теории статистики уровень среднего значения обеспечивает 50% вероятность выделения аномалии. Для более точного выделения циклов сейсмической активизации нами уточнена выборка значений максимальных годовых энергетических классов K_{max} за 1883-2011 гг., определены среднее значение $K_{max} = 14,76$ и величина стандартного отклонения $S = 1.58$ (рисунок 3). На основе уровня $(14.76 + 1.58) = 16.34$ с более 68% обеспечением вероятности определения периодов сейсмической активизации, выделены периоды сейсмической активизации и затишья (таблица 3).

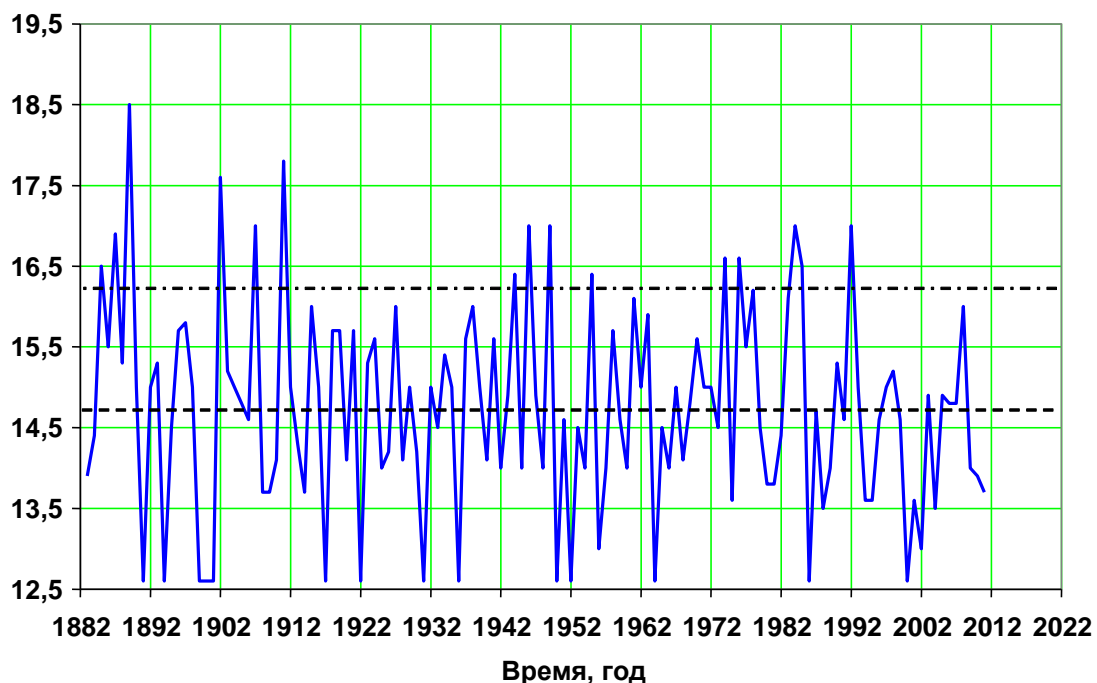


Рисунок 3. Изменение значений максимальных годовых энергетических классов K_{max} землетрясений Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Тарима, Памира в квадрате $\varphi = 38^\circ - 45^\circ$ $\lambda = 64.5^\circ - 85^\circ$ за 1883-2011 гг. Пунктирной линией обозначено среднее значение S_{φ} , пунктирной линией с точкой – $S_{\varphi} + \sigma$ уровень 68 % вероятности.

В первом и во втором периодах активизации проявились катастрофические землетрясения. В третьем периоде активизации произошли четыре крупных землетрясения. В четвёртом периоде активизации проявились пять крупных землетрясений. Продолжительность наблюдаемых периодов активизации различная, достигает до 19 лет.

Аналогично, продолжительность отмеченных периодов сейсмического затишья различная, достигает до 32 лет.

Таблица 3.

Периоды сейсмической активизации и затишья K_{\max} годовых

№	Периоды сейсмической активизации, годы	Продолжительность, лет	Периоды сейсмического затишья, годы	Продолжительность, лет
1	с 1985 по 1889	5	с 1890 по 1901	12
2	с 1902 по 1911	10	с 1912 по 1943	32
3	с 1944 по 1955	12	с 1956 по 1973	18
4	с 1974 по 1992	19	с 1993	не завершённая

На пиках сейсмической активизации проявились крупные землетрясения: Чиликское (1989, $K=18.5$), Кашгарское (1902, $K=17.6$), Каратагское (1907, $K=17$), Кеминское (1911, $K=17.8$), Чаткальское (1946, $K=17$), Хаитское (1949, $K=17$), Маркансуйское (1974, $K=16.6$), Газлийское (1984, $K=14$), Суусамырское (1992, $K=17$). При этом более определённо выделяются сейсмические циклы относительно пиков сейсмических активизаций. Длительность сейсмического цикла составляла: 12 лет (1889-1911), 35 лет (1911-1946), 43 года (1949-1992).

Следует отметить, что в пределах вышеуказанных периодов активизации отмечаются короткопериодные относительные затишья, а в периодах затишья – короткопериодные относительные активизации (см. рисунок 3). Чередование разных периодов активизации и затишья даёт основание предполагать, что для более детального изучения динамики сейсмичности необходимы исследования гармонических составляющих последовательности K_{\max} землетрясений.

Гармонические составляющие последовательности землетрясений – следующий важный параметр динамики сейсмичности [13, 14]. Для определения гармонических составляющих нами проведён спектральный анализ значений максимальных годовых энергетических классов землетрясений Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Тарима, Памира за 1983-2011 гг. с использованием метода Фурье. Количество гармоник выбрано так, чтобы разница экспериментальных $S(x)$ и расчётных $F(x)$ максимальных энергетических классов составляли сотые доли и менее, т.е. эти ряды сходились. Такое относительно строгое условие (требование) было достигнуто при значительном количестве гармоник, например, около 100. Функция $F(x)$ представляет собой сумму гармоник. Графики функций $S(x)$ и $F(x)$ приведены на рисунке 4. Они в основном совпадают, числовые ряды сходятся. Это означает, что сумма выявленных гармоник с различными периодами, амплитудами и фазами достаточно точно дают последовательные значения максимального энергетического класса землетрясений.

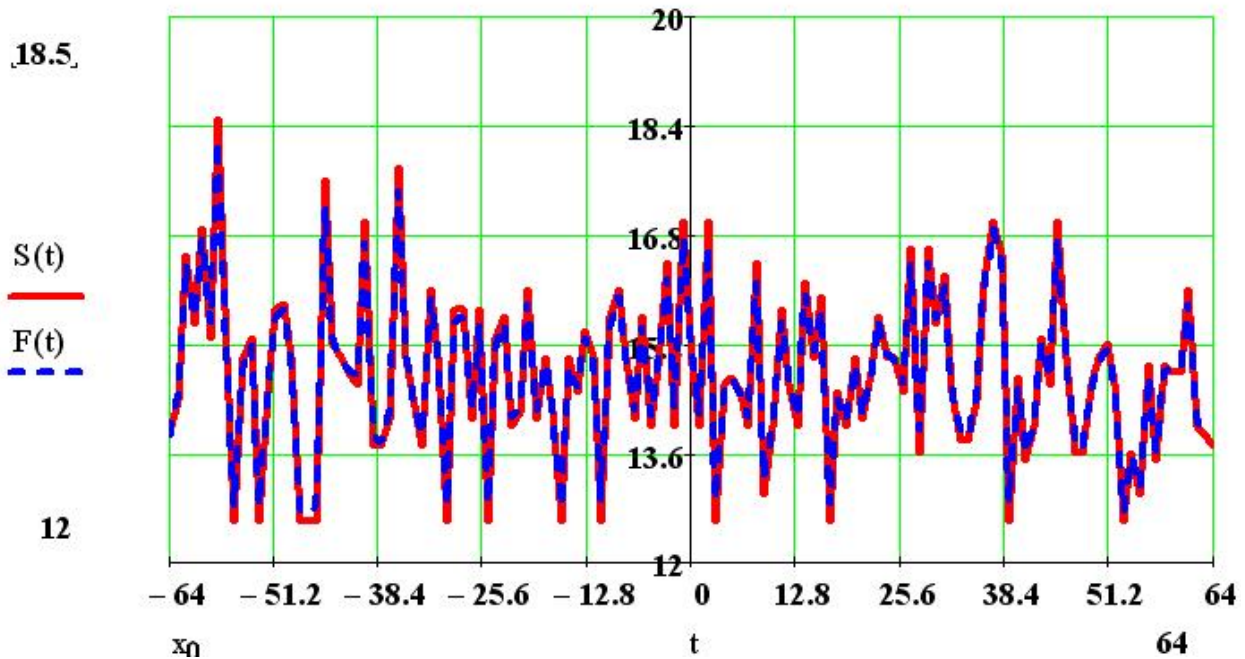


Рисунок 4. Графики изменения значений максимальных годовых экспериментальных $S(t)$ и расчетных $F(t)$ энергетических классов землетрясений Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Тарима, Памира в квадрате $\varphi=38^{\circ}-45^{\circ}$ с.ш. $\lambda=64.5^{\circ}-85^{\circ}$ в.д. за 1883-2011 гг. (от -64 по +64).

Спектр периодических составляющих последовательности землетрясений Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Тарима, Памира линейчатый (рисунок 5, таблица 4).

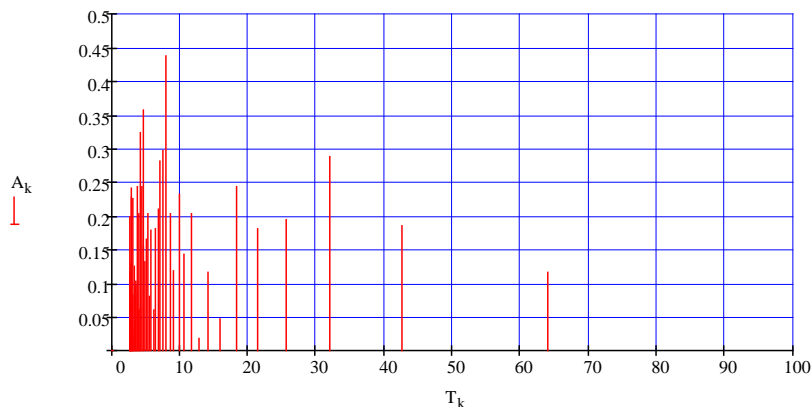


Рисунок 5. Спектр гармоник последовательности K_{\max} землетрясений Тянь-Шаня и районов сочленения Казахского щита, Тарима, Памира в квадрате $\varphi=38^{\circ}-45^{\circ}$ с.ш. $\lambda=64.5^{\circ}-85^{\circ}$ в.д. за 1883-2011 гг. Амплитуда гармоника обозначена A_k (ордината), а период гармоника - T_k (абсцисса).

Линейчатый спектр означает, что данная область имеет дискретные собственные частоты выделения сейсмической энергии. Они представляют собой своеобразный квант энергии. В связи с этим можно отметить, что геофизическая среда дискретная, где взаимодействуют внутренние и внешние процессы с различной периодичностью и природы.

Следует отметить, что гармоники сейсмичности с относительно длинными периодами (условно более 9 лет) совпадают с периодами, в частности, изменения солнечной активности (22, 11 лет) и с магнитогидродинамическими колебаниями. Гармоники сейсмичности со средними (условно 3-7 лет) периодами совпадают с гравитационными волнами, а высокочастотные гармоники (менее 3 лет) сейсмичности - с внутренними гравитационными волнами (в слоях Земли) и собственными колебаниями Земли.

Таблица 4.

Амплитуды (A_k , в долях энергетического класса K_m), периоды (T_k , в год), фазы (w_k , в градусах) ряда некоторых гармонических составляющих (с первой по 50 гармоники), номер гармоники (k)

k – номер гармон	Ак-амплитуда	Тк-период	wk - фаза	k - номер гармон	Ак-амплитуда	Тк-период	wk - фаза
1	0.032	128	59.687	26	0.133	4.923	18.107
2	0.117	64	-19.941	27	0.155	4.741	-89.567
3	0.185	42.67	0.525	28	0.356	4.571	48.03
4	0.289	32	83.664	29	0.243	4.414	16.104
5	0.195	25.6	-27.946	30	0.324	4.267	-81.198
6	0.181	21.33	39.258	31	0.061	4.129	79.596
7	0.244	18.29	-18.125	32	0.06	4	31.714
8	0.046	16	-27.971	33	0.203	3.876	17.628
9	0.116	14.22	64.211	34	0.068	3.765	-74.679
10	0.018	12.8	81.281	35	0.244	3.657	13.11
11	0.202	11.64	67.873	36	0.102	3.5556	-88.319
12	0.144	10.67	-47.223	37	0.097	3.459	-30.425
13	0.233	9.846	40.261	38	0.017	3.368	-41.557
14	0.119	9.143	-65.376	39	0.125	3.282	-21.143
15	0.204	8.533	84.482	40	0.084	3.2	50.838
16	0.437	8	-53.273	41	0.226	3.122	-55.631
17	0.296	7.529	87.182	42	0.032	3.048	88.371
18	0.28	7.111	61.843	43	0.133	2.977	-19.639
19	0.209	6.737	-76.444	44	0.13	2.909	39.294
20	0.182	6.4	46.61	45	0.241	2.844	27.153
21	0.061	6.095	69.542	46	0.227	2.783	-29.762
22	0.178	5.818	-71.195	47	0.199	2.723	-30.876
23	0.081	5.565	14.081	48	0.07	2.667	47.979
24	0.203	5.333	-79.957	49	0.089	2.612	55.762
25	0.164	5.12	33.602	50	0.115	2.56	-17.772

Здесь выделяются преимущественные характерные гармоники с относительно большими амплитудами, например, $A_k \geq 0.20$: $T_4=32$ год, $T_7=18.2$ год, $T_{11}=11.6$ лет, $T_{13}=9.8$ лет, $T_{15}=8.5$ лет, $T_{16} = 8$ лет, $T_{17}=7.5$ лет, $T_{18}=7.1$ год, $T_{19}=6.7$ лет, $T_{24} = 5.3$ год, $T_{28}=4.57$ лет, $T_{29}=4.4$ год, $T_{30} = 4.26$ лет, $T_{33}=3.88$ лет, $T_{35}=3.66$ лет, $T_{41} = 3.12$ год, $T_{45} = 2.84$ год, $T_{46}=2.78$ лет. Гармоники с близкими периодами вызывают своего рода эффект биения.

Отмечено, что для землетрясений характерны определённые наборы избранных гармоник – системы своеобразных квантов энергий, которые отражают геодинамику дискретной среды Тянь-Шаня, в том числе динамику сейсмичности, преопределённой

внутренними и внешними процессами различной природы. В таблице 5 приведены некоторые из них.

Таблица 5.

Наборы характерных (ряда) гармоник крупных землетрясений на пиках сейсмической активизации (1889, 1902, 1907, 1911, 1946, 1949, 1974, 1984, 1992 гг.)

Землетрясение	Периоды гармоник T, лет (год)
Чиликское	64, 32, 21.3, 14.2, 11.6, 9.8, 7.1, 6.7, 6.4, 4.4, 4.2, 3.8, 3.6, 2.8
Кашгарское	64, 25.6, 21.3, 14.2, 7.1, 6.7, 6.4, 5.8, 4.9, 4.4, 2.7
Каратагское	64, 42.6, 25.6, 21.3, 14.2, 10.6, 5.3, 5.1, 4.7, 4.5, 4.4
Кеминское	64, 42.6, 32, 21.3, 11.6, 8.5, 7.1, 5.3, 5.1, 4.7, 4.5, 4.4, 4.2, 3.8, 3.6, 2.8, 2.7
Чаткалское	32, 21.3, 14.2, 11.6, 8.5, 7.5, 7.1
Хаитское	42.6, 32, 21.3, 18.2, 14.2, 9.8, 8.5, 7.1, 6.4, 5.1, 4.9, 4.5, 4.4, 3.8, 3.6, 2.8, 2.7
Маркансуйское	64, 32, 21.3, 18.2, 14.2, 10.6, 8, 6.4, 5.8, 5.1, 4.9, 4.5, 4.4, 4.2, 3.8, 3.6
Газлийское	32, 25.6, 11.6, 10.6, 8, 7.5, 7.1, 6.7, 5.1, 4.9, 4.7, 4.5, 4.4, 4.2, 3.8, 2.7
Суусамырское	42.6, 21.3, 18.2, 14.2, 8.5, 8, 7.5, 7.1, 6.7, 5.8, 4.7, 4.4, 4.2, 3.6, 3.1

Число гармоник в наборах рассмотренных крупных землетрясений различное. Периоды некоторых гармоник в наборах совпадают. В связи с этим можно сказать, что оценка ожидаемой сейсмической опасности (даже периода повышенной вероятности) по сумме ограниченного количеством гармоник содержит некоторую неопределённость. Неопределённость оценки сейсмической опасности может возрастать, когда сумма гармоник определяется без учёта их фазы.

Заключение

1. На данном (начальном) этапе исследования определены и рассмотрены параметры динамики сейсмичности Тянь-Шаня: чередующиеся периоды (частота) сейсмической активизации и затишья в последовательности землетрясений геофизической среды; накопление и высвобождение энергии; повторяемость землетрясений; гармонические составляющие последовательности магнитуд или энергетических классов (в частности максимальных годовых, месячных и т.д.) землетрясения. Получены эмпирические формулы изменения динамических параметров сейсмичности, которые выражают развитие сейсмического процесса в едином тектоническом блоке Тянь-Шаня. Отмечено, что одним из фундаментальных параметров сейсмичности являются «кванты» сейсмических энергий, выраженные в виде гармонических составляющих в последовательности землетрясений. Гармоники с близкими периодами вызывают своего рода эффект биения.
2. Динамика сейсмичности является новым направлением сейсмологии и геодинамики дискретной геофизической среды, и открывает перспективные горизонты в исследовании фундаментальных проблем.

Литература

1. Omuralieva A., Nakajima J., Hasegawa A. Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large _ and small – scale mountain building. // *Tectonophysics*, 2009, 485, 30-44.
2. Касахара К. Механика землетрясений М. Мир, 1985. 264 с.
3. Scholz C. H. *The Mechanics of earthquakes and faulting* (2nd edition). Cambridge University press, 2001. 471 p.
4. Turcotte D., V. Keilis-Borok V. *Dynamics of seismicity*. Project EAR-9804859. 1998-2001.

5. Сафонов Д.А. Динамика сейсмичности Южного Сахалина на основе современных инструментальных и макросейсмических данных. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Южно-Сахалинск, 2008. Р.146.
6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. Под редакцией Кондорской Н.В., Шебалина Н.В. М: Наука, 1977. 536 с.
7. Catalogue of earthquakes in Tian Shan Area. Inland Earthquake. Vol.11.Supplement, 1997.184 p.
8. Джанузакоев К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии). Бишкек: Илим. 2003. 216 с.
9. Мамыров Э., Маханькова В.А. Анализ квазипериодичности проявления слабых и сильных землетрясений Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии. 2010. №2. С.66-78.
10. Каталог землетрясений Геологической службы США / USGS <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>>.
11. Tsuboi С. Time rate of earthquake energy release in and near Japan. //Proc. Jap. Acad, 1965, 41,392-7.
12. Gutenberg В., Richter С.Ф. Frequency of earthquakes in California. //Bull. Seismol. Soc. Am., 1944, 34, 185-8.
13. Омуралиев М., Омуралиева А., Землянский А.А. Способ определения места и силы крупного землетрясения за наступающий год и его кварталы, месяцы. Патент KG 1266 С1. 2010.
14. Омуралиев М., Омуралиева А., Землянский А.А. Управляющие параметры проявления сильных землетрясений в зонах активных разломов Тянь-Шаня. //Сборник докладов 7-гоКазахстанско-Китайского Международного Симпозиума 2-4 июня, 2010 г. «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии». Алматы, 2010. С. 161-165.

Рецензент: д.ф.-м.н. Муралиев А.М.