

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ОЦЕНКИ ПОВТОРЯЕМОСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ – ШАНЯ

Молдобеков Канатбек, к.т.н., доцент, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, kmm555@mail.ru Orcid 0000-0002-9702-7882.

Цель работы – моделирование периода повторяемости сейсмодатастроф по статистическим данным местных землетрясений Центрального Тянь – Шаня. Анализ и интерпретация полученных результатов в прогностических целях.

Ключевые слова: землетрясение, период повторяемости, моделирование, прогноз.

PROBABILISTIC ESTIMATIONS OF THE REPEATABILITY OF STRONG EARTHQUAKES OF CENTRAL TIEN-SHAN

Moldobekov Kanatbek, Ph.D., Associate Professor, KSTU them. I. Razzakova, Kyrgyzstan 720044, Bishkek city, Aytmatov Avenue 66, kmm555@mail.ru Orcid 0000-0002-9702-7882.

The purpose of this work is to simulate the periodicity of seismic accidents according to the statistical data of local earthquakes in the Central Tien Shan. Analysis and interpretation of the results obtained for prognostic purposes.

Key words: earthquake, period of recurrence, modeling, forecast.

Результаты статистического анализа данных из опубликованных каталогов [1-6] показывают, что на территории Центрального Тянь-Шаня наиболее сильные землетрясения происходили с величиной энергетического класса $K=14,0-15,6$ (с магнитудой $m=5,8-6,6$). При

этом разрушительные катастрофы (с величиной энергетического класса K более 16) за последние 50-100 лет не зарегистрированы. В этом отношении регион характеризуется землетрясениями с меньшей разрушительной энергией.

В то же время представляет значительный интерес изменение периодичности землетрясений с течением времени. Так, на рис.1 показана изменение суммарного числа землетрясений в году за период с 2000 по 2015 гг. Как видно, что сейсмическая активность на интервале 2000-2009 гг. остается постоянной, т.е. сейсмический режим не изменяется. Далее, начиная с 2010 года, активность повысилась в два раза, а к 2015 году она выросла в три-четыре раза по сравнению с предшествующим периодом.

На основании этих данных был построен график повторяемости землетрясений (рис.2) по формуле закона повторяемости Гутенберга – Рихтера [9]:

$$LgN = a - bm , \tag{1}$$

где m -магнитуда землетрясения, b -угол наклона графика.

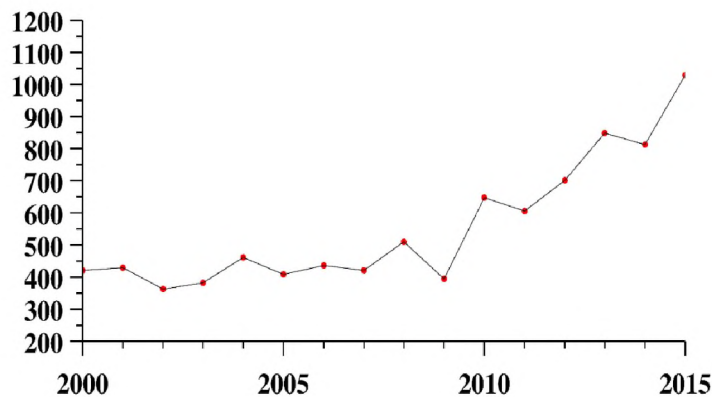


Рис.1. Изменение суммарного числа землетрясений в год.

Это же выражение можно написать относительно энергетического класса землетрясения K , величина которого выражается формулой:

$$K = LgE ,$$

тогда распределение числа землетрясений представляется как

$$LgN = \alpha - \gamma K . \tag{2}$$

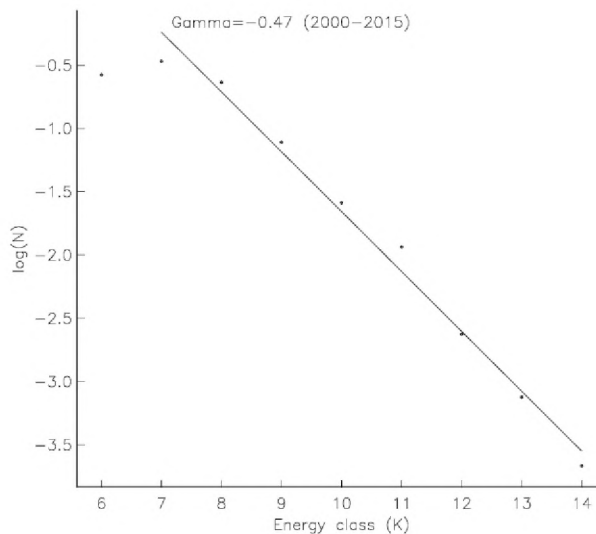


Рис.2.График повторяемости землетрясений. Угол наклона $\gamma = -0,47$

Определив значение $\gamma = -d \lg N / dK$ по графику (рис.2), можно рассчитать активности сейсмического режима [10]:

$$A_i = \frac{[(1 - 10^{-\gamma}) * S_0 N_E]}{10^{-\gamma(K_{\min} - K_0)} * ST}, \quad (3)$$

где N_E - общее число всех землетрясений, используемые при построении графика повторяемости (ГП); γ -наклон ГП; K_{\min} -минимальный энергетический класс, который используется при построении ГП; K_0 -энергетический класс, по которому определяется сейсмическая активность (обычно берут $K_0 = 10$); S_0 -фиксированная единичная площадь нормирования ($S \approx 1000 \text{ км}^2$); S- площадь рассматриваемой территории (зона); T-время выборки в годах.

После определения параметров сейсмического режима (γ, A_i) производим вероятностную оценку максимально возможной величины энергетического класса K_{\max} (или магнитуды m) для данной территории. Для этого используем распределение Пуассона:

$$P = 1 - e^{-\frac{t}{T}}, \quad (4)$$

где t – время ожидания сильного землетрясения; T – период повторяемости; P – вероятность того, что за время ожидания t произойдет хотя бы одно событие, период повторяемости которого равен T.

По вышеописанной методике определялись и определяются параметры сейсмического режима любого региона, которые и составляют основы расчёта вероятностной карты сейсмической активности (опасности) изучаемой территории. На основании формулы (4) период повторяемости будет определяться выражением

$$T = -\frac{t}{\ln(1-P)}. \quad (5)$$

Например, при t=50 лет и P=0,1 значение повторяемости T=475 лет. Это противоречит результатам ретроспективного анализа статистических данных, где имеет место от 2 до 30 лет.

Для детального изучения сейсмического режима нами анализирован временной ряд, построенный по значениям максимального энергетического класса K_{\max} в году. Далее, полученная совокупность данных подвергалась Фурье-анализу. Периодограмма построена по значениям K_{\max} за период с 1950 года по 2013 год, т.е. получены 64 значения. Временной интервал между K_i берется одинаковым и равным году. Периодограмма для данной совокупности показана на рисунке 3.

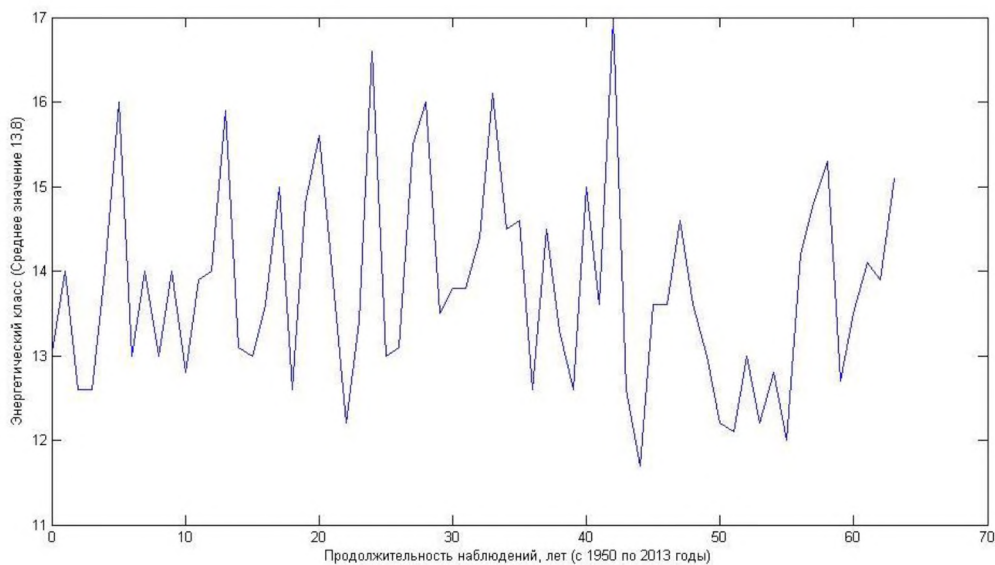


Рис. 3. Периодограмма значений K с 1950 по 2013 гг.

Требуется определить характер спектра – имеется ли основная частота, есть ли значимые гармоники и т.д. При такой постановке задачи нас интересует только половина вычисленной спектральной функции (при положительных частотах) и правильное распределение значений частот вдоль оси абсцисс. Значение амплитуды спектральной функции роли не играет. Кроме того, как правило, амплитуду нулевой гармоники полагают равной нулю, поскольку она представляет собой постоянную составляющую сигнала.

Далее, вычисляя среднее значение представленной совокупности, получим $K_{cp}=13,8$. При этом предполагается, что исследуемый временной ряд является стационарным и эргодическим. Вычитая это значение K_{cp} , будем иметь $\Delta K = K - K_{cp}$, как изображено на рисунке 4.

Применим к этим данным быстрое преобразование Фурье, используя пакет прикладных программ Matlab при условии, что число исходных данных $64 = 2^6$. При этом принимаются во внимание следующие предположения.

Преобразование Фурье справедливо для сигнала, имеющего бесконечные временные пределы. В рассматриваемом случае выборка конечна, т.е. «окно». В результате получаем спектр (рисунок 5), где рассматривается область положительных частот.

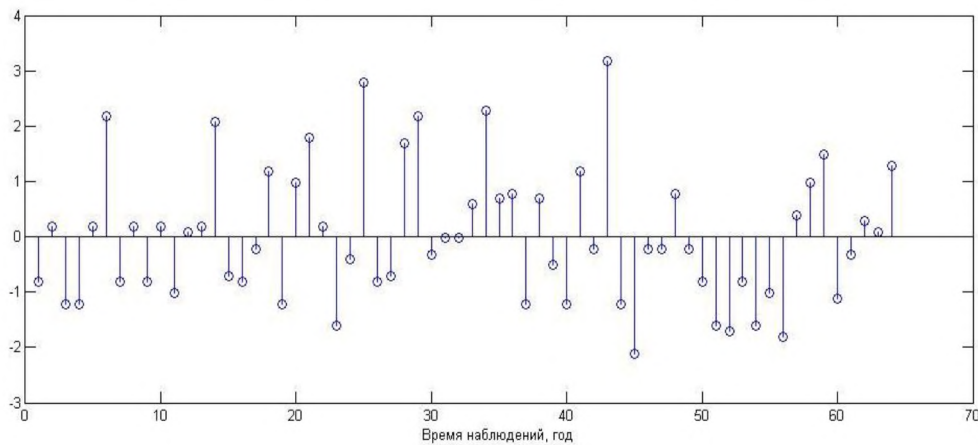


Рис. 4. Периодограмма значений $\Delta K = K - K_{cp}$

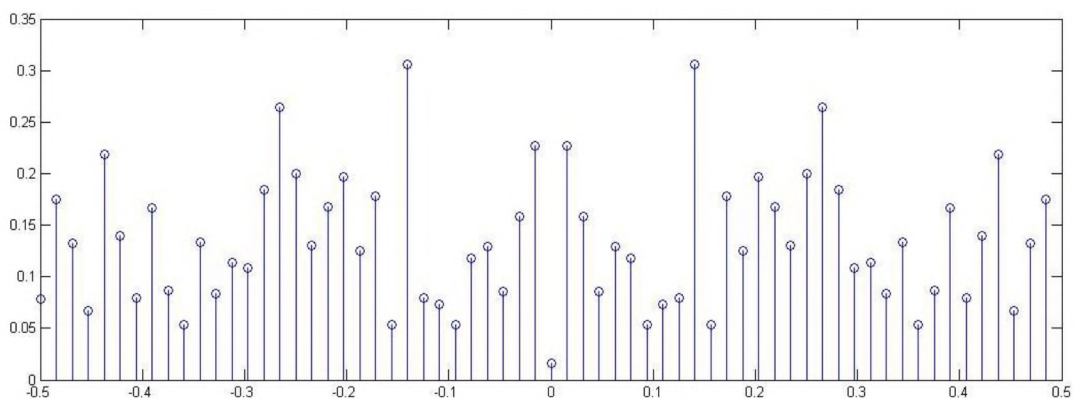


Рис.5. Спектр гармоник, соответствующий периодограмме (рис.4)

Получили 4 гармоники с максимальными значениями амплитуды:

- частота = $0,02 \text{ года}^{-1}$, период 50 лет; амплитуда 0,24;
- частота = $0,14 \text{ года}^{-1}$, период 7 лет; амплитуда 0,31;
- частота = $0,28 \text{ года}^{-1}$, период 3,6 лет; амплитуда 0,26;
- частота = $0,44 \text{ года}^{-1}$, период 2,3 лет; амплитуда 0,23.

Для улучшения разрешения увеличим число данных, дополнив нулями экспериментальную последовательность до количества

$$128=2^7.$$

Применив преобразование Фурье, получим результат, показанный на рисунке 6:

Видно, что число линий возросло в 2 раза, их амплитуда уменьшилась в 2 раза. Однако параметры по оси частот гармоник с максимальными амплитудами остались теми же.

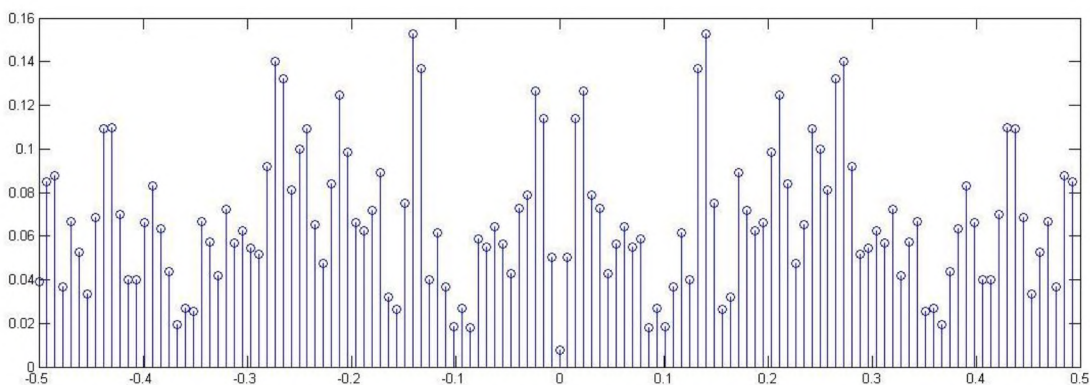


Рис. 6. Спектр гармоник, соответствующий периодограмме(рис.4).

Аналогичное преобразование было применено к другой совокупности экспериментальных данных в количестве 121 позиция, полученных за период с 1902 года по 2015 год. Соответствующая периодограмма показана на рисунке 7.

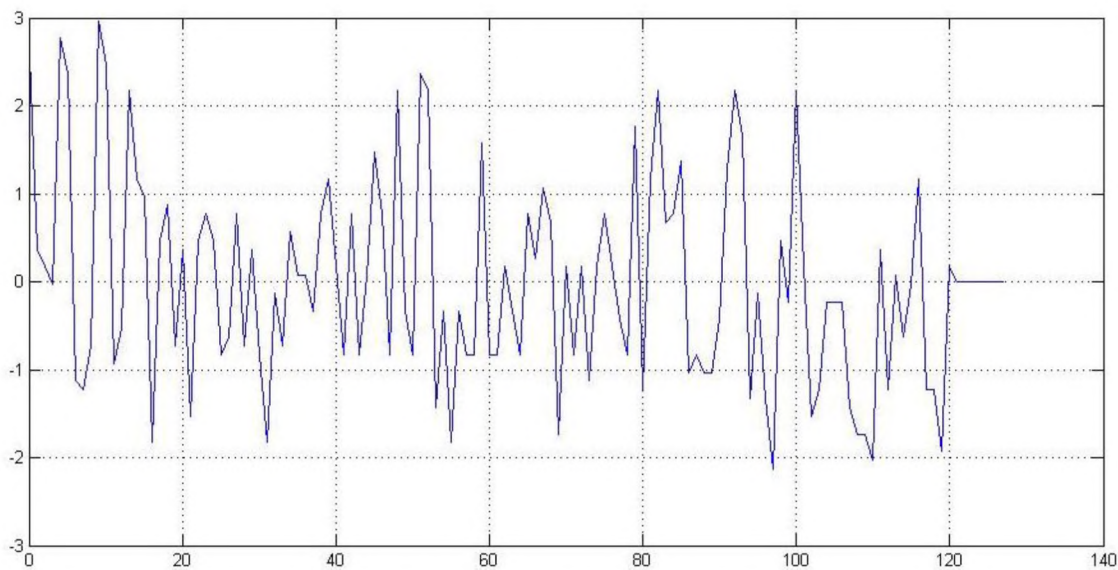


Рис. 7. Периодограмма значений K с 1902 года.

Дополнив число данных с 121 до 128 нулями, получили спектр, изображенный на рисунке 8.

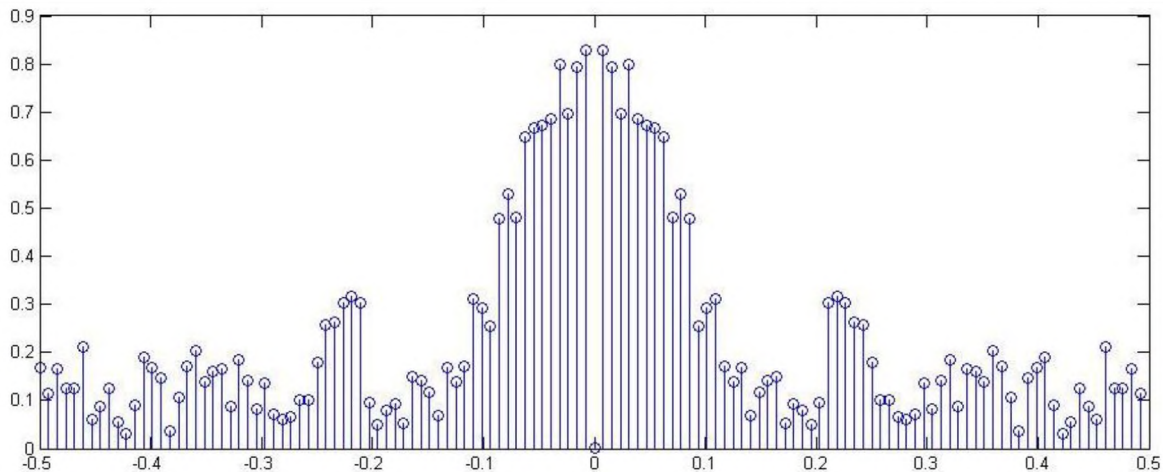


Рис.8. Спектр, полученный по данным рисунка 7.

Здесь выделяются гармоники с максимальными амплитудами:

- частота =0,01 года⁻¹, период 100 лет; амплитуда 0,85;
- частота =0,02 года⁻¹, период 50 лет; амплитуда 0,82;
- частота =0,03 года⁻¹, период 33 лет; амплитуда 0,83;
- частота =0,05 года⁻¹, период 20 лет; амплитуда 0,8;
- частота =0,08 года⁻¹, период 12,5 лет; амплитуда 0,55;
- частота =0,22 года⁻¹, период 4,5 лет; амплитуда 0,35;

Результаты моделирования зависимости К от времени с использованием данных рисунка 5 по формуле

$$K=0,22*\text{SIN}(6,28*0,02*A1)+0,31*\text{SIN}(6,28*0,14*A1)+0,27*\text{SIN}(6,28*0,28*A1)+0,22*\text{SIN}(6,28*0,44*A1)$$

показаны на рисунке 9.

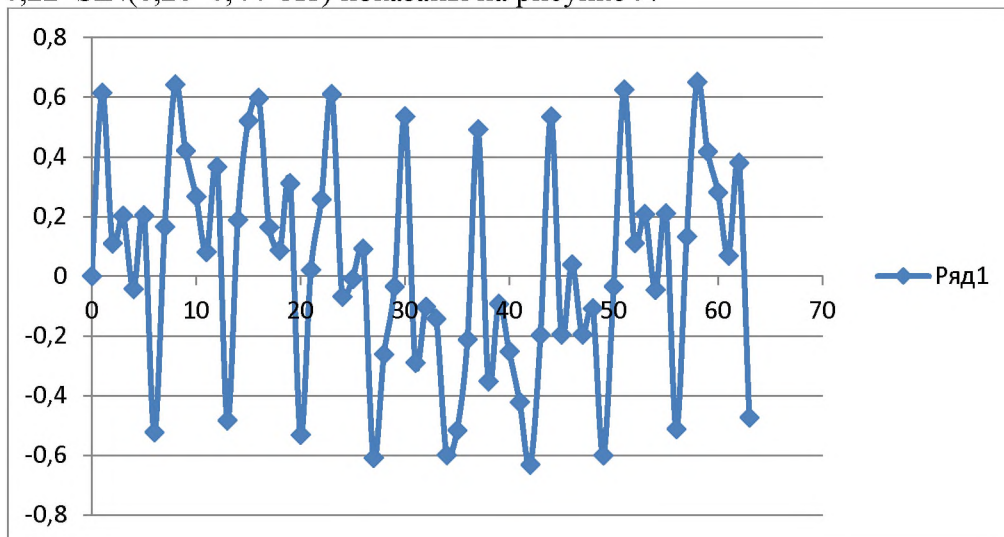


Рис.9. Моделирование периодограммы значений К по результатам разложения в ряд Фурье

Как видно, что результаты моделирования дают следующие значения величин периода повторяемости землетрясений: T=2,3; 3,6; 7; 50 лет. Сравнительный анализ расчетной и экспериментальной (рис.3, 4) периодограмм показывает достаточную сходимость полученных характеристик. Некоторые расхождение могут быть обусловлены принятыми предположениями при моделировании.

В заключение отметим: во-первых, результаты моделирования хорошо сходятся с экспериментальными (наблюденными) данными; во-вторых, значения периода повторяемости T сильных землетрясений составляют: 2,3; 3,6÷12,5; 20÷33 и 50÷100 лет;

в-третьих, полученные нами значения T сильно отличаются от тех данных (200÷500 лет), которые используются как нормативные при составлении карты сейсмического районирования территории Кыргызской республики.

Литература

1. Абдрахматов К.Е., Березина А.В. и др. Приложение к электронному журналу. Вестник ИС НАН КР. Бишкек, 2016.
2. Мамыров Э. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Монография. Бишкек: Инсанат, 2012, 234 с.
3. Муралиев А.М., Абдыраева Б.С., Малдыбаева М.Б. «Каталог механизмов очагов землетрясений Центральной Азии за 2009 год» Землетрясения Северной Евразии, 2009. – Обнинск ГС РАН, 2014 г.
4. Молдобеков К., Молдобекова С. «Исследование сейсмической активности территории Кыргызской Республики (часть 1)». Известия КГТУ №31 2014 г.
5. Молдобеков К., Молдобекова С. «Динамика сейсмической активности территории Кыргызской Республики (часть 2)» Известия КГТУ №31 2014 г.
6. Молдобеков К., Молдобекова С. «Алгоритмы определения максимально возможной силы землетрясений в зоне ВОЗ» Известия КГТУ №32 2014 г.
7. Мамыров Э., Маханькова В.А., Берёзина А.В., Молдобекова С., Хан В.В. Прогноз вероятного места сильных землетрясений на территории Кыргызстана //Журнал «Вестник Института сейсмологии». 2013 г., №1, с.52-63.
8. Молдобеков К., Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С. Закономерности распределения осей главных напряжений в очагах землетрясений Северного Тянь – Шаня. Известия КГТУ им. И. Раззакова. Бишкек, Издательский центр «Текник», 2017 (в печати).
9. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология. М.: ИЛ, 1963. -670 с.
10. Методы детального изучения сейсмичности. Отв. Ред. Ю.В. Ризниченко. – М.:ИФЗ АН СССР, №9 (176), 1960. -114 с.