

УДК 550.343.9

**Камчыбеков М.П.,**  
*Институт сейсмологии НАН КР,*  
*Бишкек, Кыргызстан*

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК КРУПНЫХ ГОРОДОВ КЫРГЫЗСТАНА

### Аннотация

В основу определения вероятностной сейсмической опасности положены известные теоретические разработки по данной проблеме. Карты вероятностной сейсмической опасности получены на основе анализа данных по сеймотектоническим и сейсмическим характеристикам изучаемого региона и предназначены для оценки вероятностного сейсмического риска.

**Ключевые слова:** вероятностная сейсмическая опасность, график повторяемости, каталог землетрясений, тектонические разломы.

## КЫРГЫЗСТАНДЫН ЧОҢ ШААРЛАРЫНЫН СЕЙСМИКАЛЫК ТОБОКЕЛДИКТЕРИ

### Кыскача мазмуну

Мүмкүндүк сейсмикалык коопсуздукту аныктоонун негизине белгилүү теоретикалык иштеп чыгуулар салынган. Мүмкүн болгон сейсмикалык коркунучтун карталары изилденип жаткан аймактын сеймотектоникалык жана сейсмикалык мүнөздөмөлөрү боюнча маалыматтарга талдоо жүргүзүүнүн негизинде алынышкан жана мүмкүн болгон сейсмикалык тобокелдикке баа берүүгө арналышкан.

**Негизги сөздөр:** вероятностная сейсмикалык коркунуч, график повторяемости, жер титирөөлөрдүн каталогу, тектоникалык сынуусу.

## SEISMIC RISK OF LARGEST CITIES OF KYRGYZSTAN

### Abstract

The known theoretical development was used to the basis of the probabilistic seismic hazard problem. Probabilistic seismic hazard maps created on the basis of analysis of the seismotectonic data and seismic characteristics of the region and are intended for the problem of probabilistic seismic risk assessment.

**Keywords:** probabilistic seismic hazard, plot of recurrence, catalog of earthquakes, tectonic faults.

Определение вероятностной сейсмической опасности является первым этапом на пути оценки вероятностного сейсмического риска. Для построения карт вероятностной сейсмической опасности решались следующие задачи: систематизация и анализ имеющейся информации по сеймотектоническим и сейсмическим характеристикам региона.

В основу методики вероятностной сейсмической опасности положены теоретические разработки Б. Гутенберга-Ч.Рихтера [1], А. Корнели [2], П. Бормана [3], Л. Рейтера [4], Д.Л. Уэлса и К.Л. Копперсмита [5], Н.А. Абрахамсон и У. Сильва [6], К.Д. Линдхолм [7] и др.

Повторяемость землетрясений по данным источников тектонических разломов определяется из геологических норм скоростей смещения «характеристик» и моделей частот по Гутенбергу-Рихтеру [1]. Значения магнитуд землетрясений устанавливаются на основании длины разломов, исходя из расчёта по соотношениям Уэлса и Копперсмита [5]. Повторяемость землетрясений для неизвестных источников оценивается по «сглаженному» уровню исторической сейсмичности. Колебание грунта, вызванное землетрясением, является случайным событием и определяется из эмпирических регрессионных зависимостей, характеризующих движение грунта как логнормальное распределение, являющееся функцией расстояния и магнитуды.

Элементом анализа вероятностной сейсмической опасности является отношение между зависимыми переменными параметрами сильных движений грунта и независимыми параметрами расстояния и магнитуды, так называемой зависимостью затухания.

Модель опасности, принятая для анализа представлена в таблице 1.

Таблица 1

### Модель опасности

Модель опасности	
От известных источников - тектонические разломы - каталог землетрясений	От неизвестных источников - следы древних сейсмических катастроф

**Тектонические особенности исследуемого района.** В соответствии с данной методикой для исследуемых территорий необходимо учитывать влияние как активных, так и наличие других тектонических разломов.

Геологическое строение территории расположения крупных городов, таких как Бишкек и Ош, их тектоническое положение в структуре территории Кыргызстана, а также общие закономерности формирования структурных элементов и особенности сейсмических проявлений освещены в работах многих исследователей: С.С. Шульц [8], Н.М. Синицына [9], О.К. Чедия [10], К.Е. Абдрахматова [11], А.М. Корженкова [12] и др.

Исследуемые районы расположены в северной и южной части Тянь-Шаня. Здесь интенсивно проявляются новейшие и современные тектонические движения. Наличие крупных разломов (рис. 1), значительно осложняют сейсмическую обстановку исследуемых территорий.

**Сейсмичность исследуемой территории.** Сведения о сейсмичности территории можно получить из карты эпицентров землетрясений. На рисунке 2 представлена карта эпицентров землетрясений - общая и очищенная от афтершоков для территории Кыргызстана. Сейсмичность Чуйской впадины является одним из наиболее полно изученных районов. Территория города Бишкек относится к 8 и 9 балльной сейсмоопасной зоне. Многочисленные исследования данного региона, проведённые в разное время разными исследователями, подтверждают высокую сейсмичность исследуемой территории.

Город Ош расположен в пределах Южно-Ферганской сейсмогенерирующей зоны (зоны ВОЗ) с вероятным возникновением очагов землетрясений с магнитудой 7.1-8.0, что также подтверждает высокую сейсмоактивность исследуемого района [16].

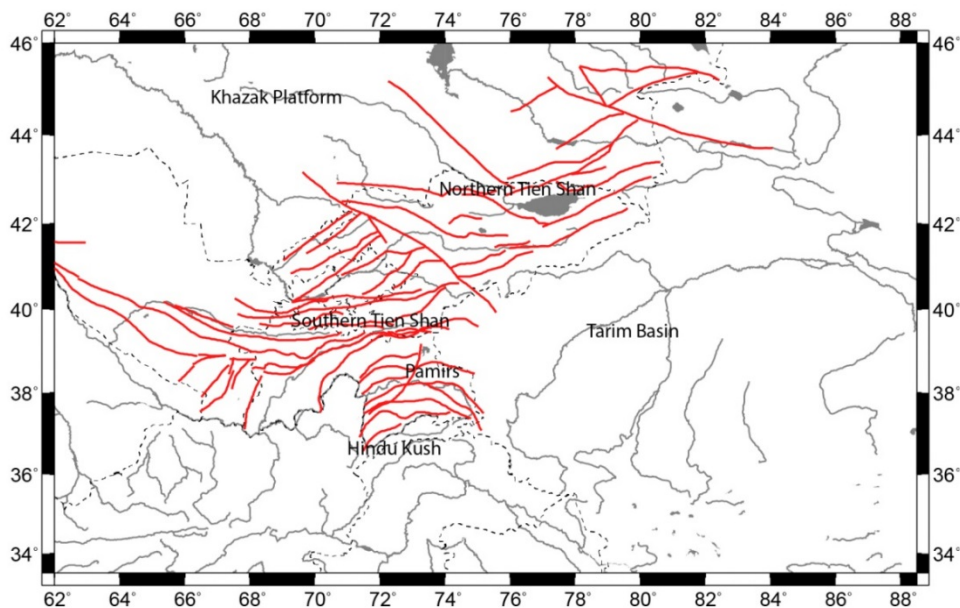


Рис.1. Карта активных тектонических разломов.

Declustering the seismic catalog (result for 0-45 km depth):

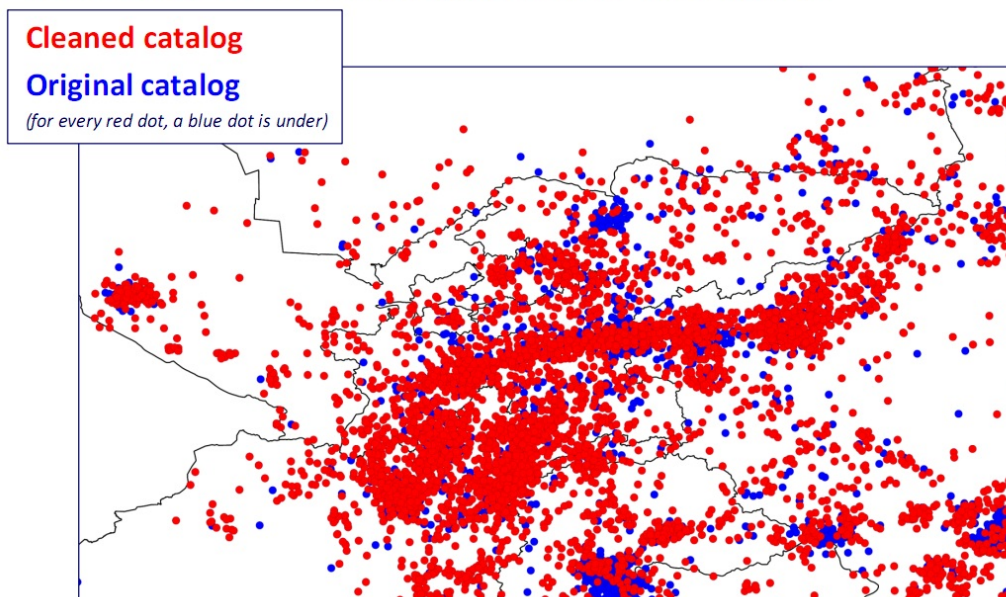


Рис. 2. Карта расположения эпицентров землетрясения. Декластеризация сейсмического каталога (результат для глубины 0-45 км). Очищенный от афтершоков каталог землетрясений. Оригинальный каталог (под каждой красной точкой, находится синяя точка).

**Соотношения между уровнями вероятности.** Вероятностная сейсмическая опасность обычно основывается на том приближении, что возникновение потенциально разрушающих сильных движений от воздействия сильных землетрясений следует Пуассоновскому распределению.

Эти соотношения для общих уровней вероятности показаны в таблице 2.

Таблица 2

## Соотношения для общих уровней вероятностей

Вероятность превышения	В годах, T	Период повторяем. (год)
2%	50	2475
5%	50	975
10%	50	475

Количественные характеристики сейсмического режима. Повторяемость землетрясений и вероятностные значения магнитуд для зон, выделенных по проявлению сейсмичности.

Как известно, главнейшими характеристиками сейсмического режима, в частности долговременного среднего является закон и, соответственно, график повторяемости землетрясений  $N(K)$  или  $N(M)$  – статистическая функция распределения частоты  $N$  возникновения землетрясений по их энергетической величине  $K = \lg E$  (сейсмическая энергия в джоулях) или магнитуде  $M$ . График этой функции, как правило прямолинеен, и определяется тремя главными параметрами сейсмического режима: 1) наклон графика повторяемости землетрясений  $\gamma = -d \lg N / dK$ , которым определяется соотношении между большими и малыми землетрясениями; 2) сейсмическая активность  $A$  – начальная ордината этого графика, отсчитываемая при определённом фиксированном значении величины землетрясения  $K = K_0$ ; 3) величина максимально возможного землетрясения  $K_{max}$  или  $M_{max}$ , которая определяет правое окончание графика повторяемости землетрясений.

В принятом логлинейном приближении график повторяемости (или закон Гуттенберга-Рихтера) в общем виде представляется как  $\lg N = a - \gamma K$ , где  $N$  – среднегодовое число землетрясений данного энергетического класса  $K$ , произошедших на единице площади  $S$  (обычно  $S = 1000 \text{ км}^2$ ). График повторяемости характеризуется его наклоном  $\gamma$ . В магнитудном выражении данная зависимость записывается в виде  $\lg N = a - bM$ . В нашем случае все построения для графиков повторяемости выполнены по значениям моментной магнитуды  $M_w$ .

Для каждой из выделенных зон следует определить параметры сейсмического режима: уравнение графиков повторяемости землетрясений  $\gamma$ , сейсмическую активность  $A$ , величину максимально возможной магнитуды  $M_w$ . На рисунке 3 показан пример определения графика повторяемости землетрясений.

На основании графиков повторяемости можно перейти к вероятностной оценке максимально возможной магнитуды для каждой зоны.

Впервые для территории Кыргызстана вероятностная карта сейсмической опасности получена Абдрахматовым К.Е. и его командой [13], для города Бишкек - Камчыбековым М.П. [14] и для территории Токтогульского водохранилища - Егембердиевой К.А. [15]

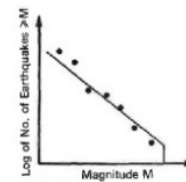
Пример полученных результатов. На рисунке 4 приведена карта вероятностной сейсмической опасности для территории Чуйской впадины с вероятностью превышения 10% за время ожидания 50 лет. Территория города Бишкек показана маленьким треугольником.

**Выводы.** Построены карты вероятностной сейсмической опасности для городов Бишкек и Ош. Полученные карты представляют один из этапов на пути оценки вероятностного сейсмического риска.

Area sources:

First the **Gutenberg-Richter relation** is made for the entire catalog to check the regional relation.

**Completeness** is determined for two time and magnitude intervals and the two regressions are combined into one.



Completeness Interval:				Since 1974 for M 4.9				Since 1995 for M 4.5				(unit)		
Since	Period	38 years		Since	Period	13 years		Since	Period	13 years				
Magnitude	Frequency	Cumulative	Logarithm	Normalized	Magnitude	Frequency	Cumulative	Logarithm	Normalized	Magnitude	Frequency	Cumulative	Logarithm	Normalized
4.9	139	367	2.564666	0.984882	4.8	45	179	2.252853	1.13891	4.9	51	134	2.127205	1.013161
5	58	228	2.357935	0.778131	4.9	51	134	2.127205	1.013161	5	24	83	1.919078	0.801135
5.1	47	170	2.226449	0.650505	5.1	17	59	1.738252	0.654069	5.2	9	42	1.621249	0.509306
5.2	33	123	2.089905	0.531222	5.2	9	42	1.621249	0.509306	5.3	8	33	1.518344	0.404371
5.3	15	90	1.954243	0.374459	5.3	8	33	1.518344	0.404371	5.4	4	25	1.39794	0.281997
5.4	10	75	1.879061	0.295278	5.4	4	25	1.39794	0.281997	5.5	3	21	1.322219	0.208276
5.5	16	85	1.812913	0.23313	5.5	3	21	1.322219	0.208276	5.6	3	18	1.255273	0.141329
5.6	8	49	1.692396	0.110412	5.6	3	18	1.255273	0.141329	5.7	2	15	1.178091	-0.02069
5.7	7	41	1.612784	0.033	5.7	2	15	1.178091	-0.02069	5.8	1	13	1.113941	-0.40264
5.8	3	34	1.531479	-0.0483	5.8	1	13	1.113941	-0.40264	5.9	0	12	1.079181	-0.5006
5.9	2	31	1.491342	-0.0842	5.9	0	12	1.079181	-0.5006	6	0	12	1.079181	-0.5006
6	7	29	1.462398	-0.11739	6	0	12	1.079181	-0.5006	6	0	12	1.079181	-0.5006
6.1	0	22	1.342423	-0.23736	6	0	12	1.079181	-0.5006	6	0	12	1.079181	-0.5006
6.2	6	22	1.342423	-0.23736	6.1	0	9	0.954243	-0.62554	6.1	0	9	0.954243	-0.62554
6.3	4	16	1.206122	-0.37566	6.2	2	9	0.954243	-0.62554	6.2	2	9	0.954243	-0.62554
6.4	5	12	1.079181	-0.5006	6.3	2	7	0.845098	-0.73469	6.3	2	7	0.845098	-0.73469
6.5	3	7	0.845098	-0.73469	6.4	2	5	0.69897	-0.88081	6.4	2	5	0.69897	-0.88081
6.6	1	4	0.60206	-0.97772	6.5	2	3	0.477121	-1.10266	6.5	2	3	0.477121	-1.10266
6.7	0	3	0.477121	-1.10266	6.6	0	1	0	-1.57978	6.6	0	1	0	-1.57978
6.8	0	3	0.477121	-1.10266	6.7	0	1	0	-1.57978	6.7	0	1	0	-1.57978
6.9	0	3	0.477121	-1.10266	6.8	0	1	0	-1.57978	6.8	0	1	0	-1.57978
7	1	3	0.477121	-1.10266	6.9	0	1	0	-1.57978	6.9	0	1	0	-1.57978
7.1	0	2	0.30203	-1.27875	7	0	1	0	-1.57978	7	0	1	0	-1.57978
7.2	1	2	0.30203	-1.27875	7.1	0	1	0	-1.57978	7.1	0	1	0	-1.57978
7.3	0	1	0	-1.57978	7.2	0	1	0	-1.57978	7.2	0	1	0	-1.57978
7.4	1	1	0	-1.57978	7.3	0	1	0	-1.57978	7.3	0	1	0	-1.57978
7.4	1	1	0	-1.57978	7.4	1	1	0	-1.57978	7.4	1	1	0	-1.57978
Sum		367			Sum		179							

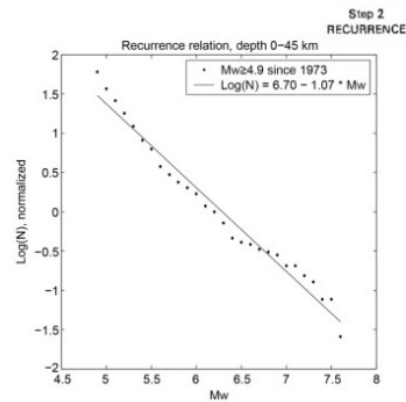


Рис. 3. Пример определения графика повторяемости землетрясений. Площадные источники: отношение Гутенберга-Рихтера предназначено для всего каталога с тем, чтобы проверить региональное отношение затухания; полнота определяется для двух временных и магнитудных интервалов (рассматриваемые максимальные и минимальные магнитуды) и две регрессии комбинируются в одну.

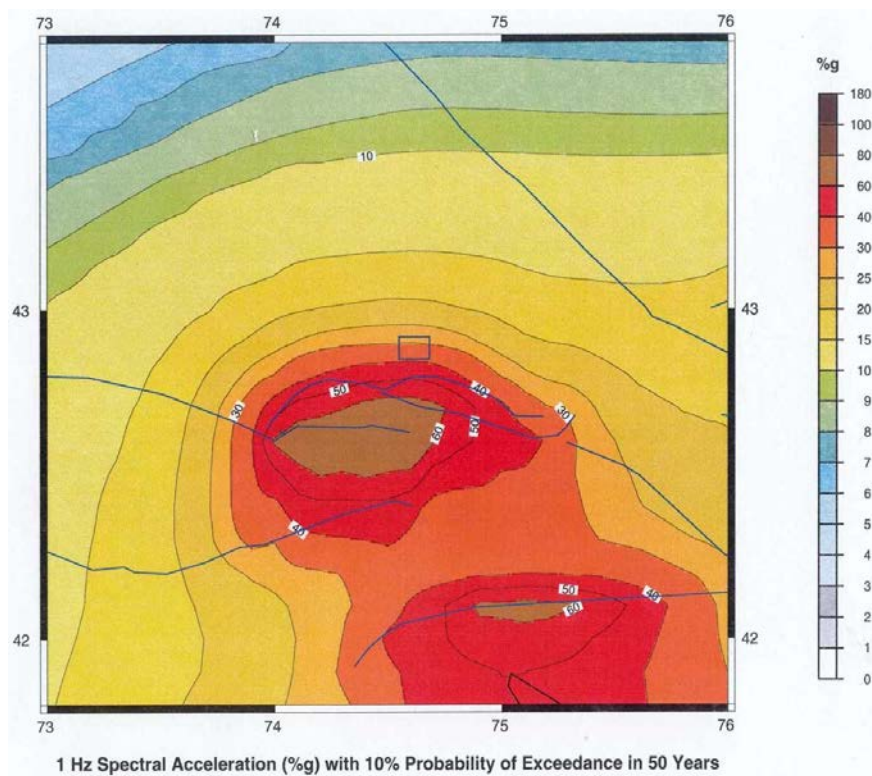


Рис. 4. Карта вероятностной сейсмической опасности для территории г. Бишкек с вероятностью превышения 10% за 50 лет.

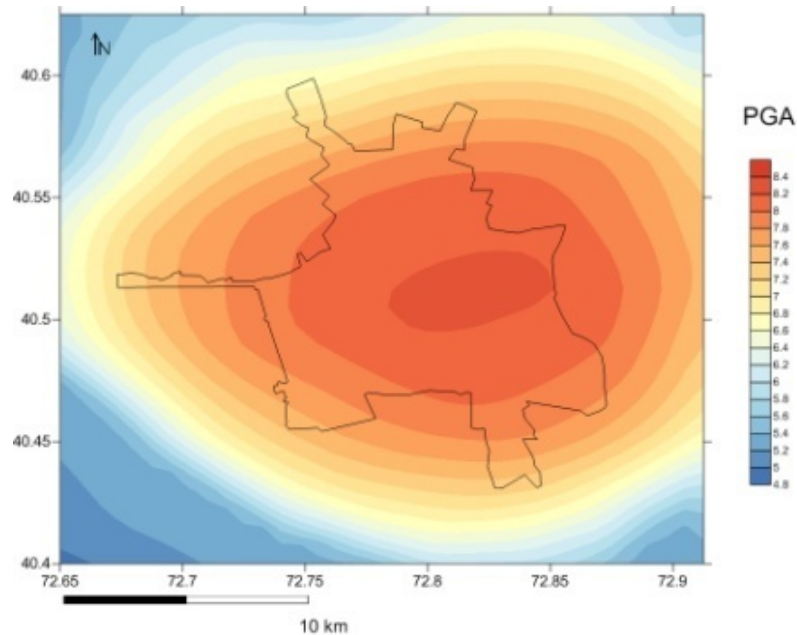


Рис.5. Карта вероятностной сейсмической опасности PGA для территории г. Ош с вероятностью превышения 10% за 50 лет.

### Литература

1. Gutenberg, B., and Richter, C.F. (1942). Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 32, pp. 162-191.
2. Cornell, A. (1968). Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, v. 58, pp. 1583-1606
3. Bormann, P. and Khalturin, V.I. (1975) Relations between different kinds of magnitude determinations and their regional variations. *Proceed. XIVth General Assembly of the European Seismological Commission, Trieste, 16-22 September 1974. Nationalkomitee fur Geodasie und Geophysik, AdW der DDR, Berlin*, pp. 27-39.
4. Reiter, L. (1990). *Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights*, Columbia University Press, New York, p. 254.
5. Wells, D.L., and K.J. Coppersmith (1994). New empirical relations among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, pp. 974-1002.
6. Abrahamson N.A. and Silva W. Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, *Seismological Research Letters*, vol. 68, num 1, pp. 94-127, January/February 1997.
7. Lindholm C.D., Bungum H. Probabilistic seismic hazard: a review of the seismological frame of reference with examples from Norway. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 20 (2000), pp. 27-38.
8. Шульц С.С. Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. - М.: Географгиз, 1948. - 221 с.
9. Сеницын Н.М. Тектоника горного обрамления Ферганы. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1960. -218 с.
10. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1986. - 300 с.
11. Абдрахматов К.Е. Четвертичная тектоника Чуйской впадины. Фрунзе: Илим, 1988. - 120 с.

12. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим -2006. - 290 с.
13. Abdrahmatov K., Havenith H.B., Delvaux D., Jongmans D. & Trefois P. Probabilistic PGA and Arias Intensity maps of Kyrgyzstan ( Central Asia) // (©2003 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands) Journal of Seismology 7: стр. 203-220, 2003
14. Камчыбеков М.П. Количественная оценка сейсмического риска территории и жилых зданий г. Бишкек: автореф. дис. канд. тех. наук. – Бишкек, 2006. – 22с.
15. Егембердиева К.А. Вероятностный сейсмический риск жилых зданий и сооружений на территории, прилегающей к Токтогульскому водохранилищу: автореф. дис. канд. тех. наук. – Бишкек, 2011. – 22с.
16. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (объяснительная записка) / под ред. К.Е. Абдрахматова; НАН КР, Ин-т сейсмологии. – Бишкек, 2013. - 51с.