

*Тилек кызы Г., Абдрахматов К.Е., Байкулов С.К.***OPEN QUAKE ПРОГРАММАСЫН КОЛДОНУУ МЕНЕН БИШКЕК ШААРЫНЫН СЕЙСМИКАЛЫК КОРКУНУЧУН ТАЛДОО ЖАНА БААЛОО***Тилек кызы Г., Абдрахматов К.Е., Байкулов С.К.***АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ГОРОДА БИШКЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ OPENQUAKE***Tilek kyzy G., K.E. Abdrakhmatov, S.K. Baikulov***ANALYSIS AND ASSESSMENT OF SEISMIC RISK OF THE CITY OF BISHKEK USING THE OPENQUAKE**

УДК: 55:550.34/343

Кыргызстандын аймагында кыйратуучу жер титирөөлөрдүн болуу ыктымалдыгы абдан жогору. Күчтүү жана кыйратуучу жер титирөөлөрдүн кесепеттерин талдоо көрсөткөндөй, алдын-ала уюштуруучулук, инженердик-техникалык жана билим берүү иш-чаралары материалдык чыгымдарды азайтып, калк арасында курман болгондордун санын кыйла азайтат, башкача айтканда кырсыктын кесепеттерин жоюуга караганда, алдын алуу чараларын көрүү оңой. Ушуга байланыштуу сейсмикалык кырсыктардын кыйратуучу кесепеттерин алдын алуу жолдорунун бири катары сейсмикалык коркунучту изилдөө практикалык жана социалдык жактан чоң мааниге ээ. Макалада Чүй ойдуңунда болгон жер титирөөлөрдүн Бишкек шаарына тийгизген таасири талкууланат. Ушул максатта, Ысык-Ата жаракасы менен чектелген, ар кандай чоңдуктагы бир нече жер титирөөнүн сценарийлеринин негизинде сейсмикалык тобокелдикке талдоо жүргүзүлдү, бул жердин болжолдуу зыянын жана жоготуусун салыштырууга, карама-каршы коюуга мүмкүндүк берет.

Негизги сөздөр: сейсмикалык коркунуч, сейсмикалык тобокелдик, OpenQuake программасы, аялуу, жер титирөөнүн сценарийи, зыян, жоготуулар, кырсык.

Вероятность землетрясений разрушительной силы на территории Кыргызстана очень высока. Анализ последствий сильных и разрушительных землетрясений показывает, что предварительно проведенные организационные, инженерно-технические и просветительские мероприятия уменьшают материальный ущерб и значительно понижают количество жертв среди населения, т.е. легче принять превентивные меры, чем бороться с последствиями катастроф. В связи с этим исследование сейсмического риска, как одного из путей предупреждения разрушительных последствий от сейсмокатастроф, имеет важное практическое и социальное значение. В статье рассмотрены возможные воздействия землетрясений, произошедших в Чуйской впадине, которое могут проявиться на территории города Бишкек. С этой целью использован анализ сейсмического риска на основе сценариев от нескольких землетрясений разной магнитуды, очаги которых приурочены к Исык-Атинскому разлому, что позволит сравнить и сопоставить предполагаемый ущерб и потери города.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, сейсмический риск, программа OpenQuake, уязвимость, сценарий землетрясения, ущерб, потери, катастрофа.

The probability of earthquakes of destructive force on the territory of Kyrgyzstan is very high. Analysis of the consequences of strong and destructive earthquakes shows that pre - conducted organizational, engineering and educational measures reduce material damage and significantly reduce the number of victims among the population, it is easier to take preventive measures than to deal with the consequences of disasters. In this regard, the study of seismic risk, as one of the ways to prevent the destructive consequences of seismic accidents, is of great practical and social importance. The article discusses the possible effects of earthquakes that occurred in the Chui depression, which may occur on the territory of the city of Bishkek. For this purpose, we used the analysis of seismic risk based on scenarios from several earthquakes of different magnitudes, the focus of which are confined to the Issyk-Ata fault, which will allow us to compare and compare the estimated damage and losses of the city.

Key words: seismic hazard, seismic risk, OpenQuake, vulnerability, earthquake scenario, damage, loss, disaster.

Введение. Район исследований занимает центральную часть Чуйской впадины, в пределах которой расположен город Бишкек – столица Кыргызстана с населением более миллиона человек. Город занимает наклонную с юга на север территорию, прорезанную руслами рек Алаарча и Аламедин, которые являются наиболее крупными естественными водотоками впадины. На территории Чуйской впадины происходили и происходят землетрясения, часть из которых относится к разрушительным: 8-9-балльные Новопокровское в конце XII века и Балысагунское 1475 г., 8-9-балльное Меркенское 1865 г., 9-10-балльные Беловодские 1870 г. и 1885 г., 7-8-балльные Георгиевские 1910 г. и 1949 г., 7-8-балльное Токмакское 1926 г., 8-9-балльное Кемино-Чуйское 1938 г., 7-балльное Луговское 2003 г., что может свидетельствовать о высокой вероятности повторения разрушительных сейсмособытий в будущем. Кроме того, здесь ежегодно фиксируются многочисленные сейсмособытия $K \geq 6$ (рис. 1) [1].

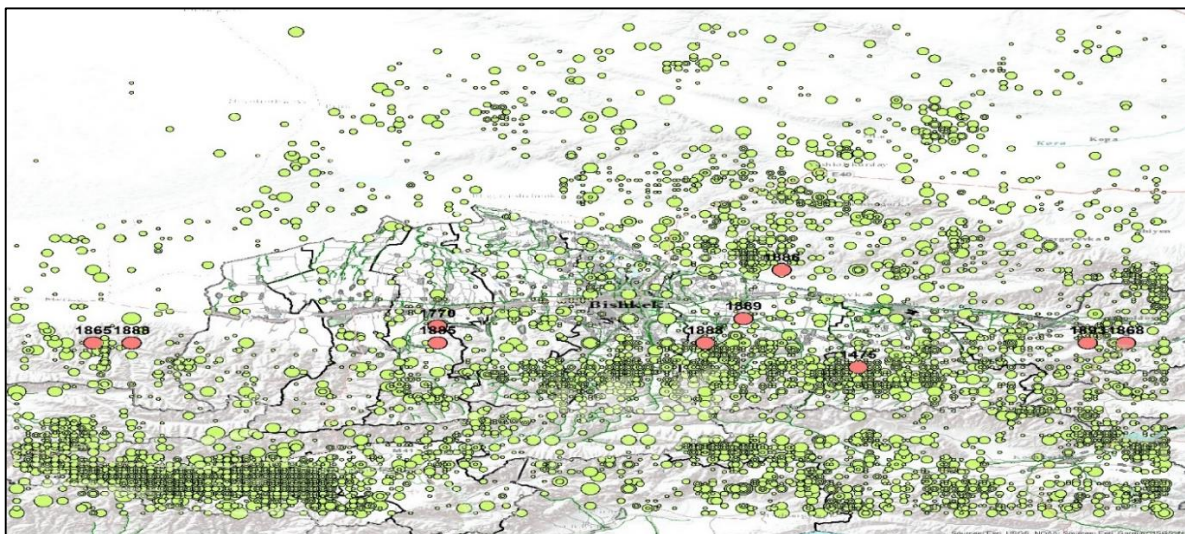


Рис. 1. Карта очагов землетрясений на территории Чуйской впадины, произошедших за период с 1474 г. по 2021 г. [1]. Большие кружочки – очаги разрушительных землетрясений.

Являясь столицей, город Бишкек с каждым годом стремительно развивается, растет его урбанизация, а значит и возрастает роль сейсмической опасности от возможных сильных землетрясений, которые могут привести к разрушениям высотных зданий и сооружений, гибели людей.

Надо отметить-южную окраину г.Бишкек окаймляет активный тектонический Иссик-Атинский разлом, протяженностью до 150 км, что повышает сейсмическую опасность и сейсмический риск территории и объектов (рис. 2).

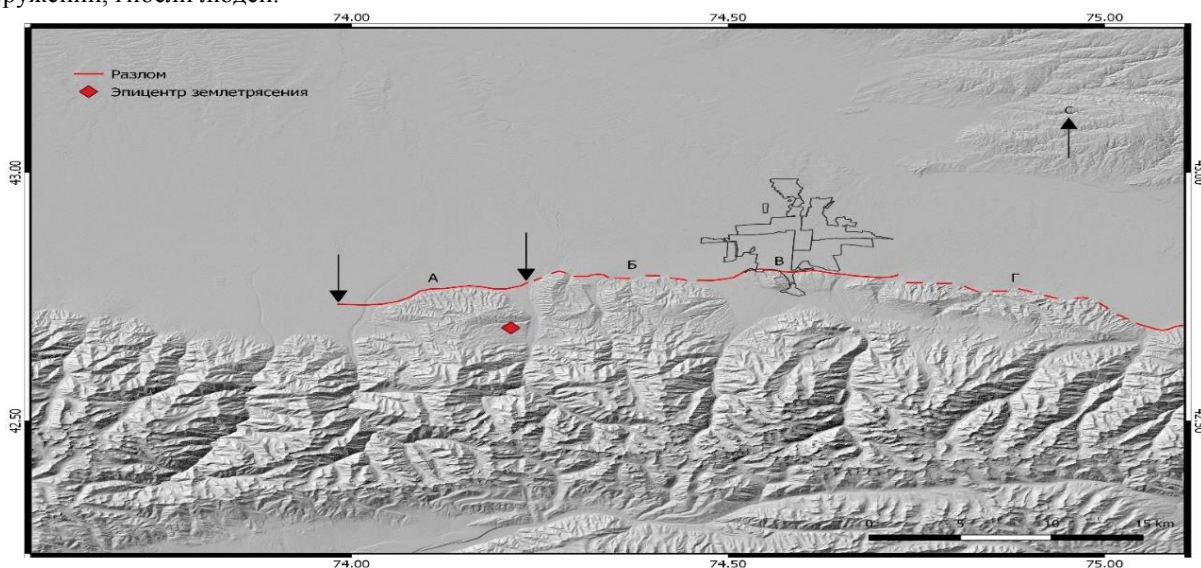


Рис. 2. Иссик-Атинский разлом – красная линия (сегменты А, Б, В, Г.)

Учитывая расположение этого разлома по отношению к г.Бишкеку для расчета ущерба и потери от землетрясений, очаги которых могут быть связаны с данной разломной структурой, в качестве одного из сценарного действия был выбран сегмент А разлома, который протягивается от долины р. Аксу до долины р. Сокулук (рис. 2). К данному сегменту привязан очаг Беловодского землетрясения 1885 г. $M=6,9$. При этом сейсмособытии активизировался участок разлома длиной около 22 км, на котором вдоль предгорий

образовался протяжённый поверхностный разрыв с вертикальным смещением «крыльев» на 1,5-2 м. Проведённое вскрытие траншеей «тела» разлома (метод тренчинга) позволило установить, что за последние 15-21 тыс. лет в сегменте А произошло четыре сильных землетрясения, последствием которых стали вертикальные смещения с одинаковой величиной в 1,5 м. Вероятность повторения подобных событий здесь в будущем высока, что отмечали исследователи [2].

Расчет сейсмического риска для г. Бишкек от таких будущих землетрясений в сегменте А был выполнен с использованием программы OpenQuake-engine. Данное программное обеспечение с открытым

исходным кодом для расчетов сейсмических рисков и опасностей разработано международной компанией «Global Earthquake Model Foundation» (GEM) [3].

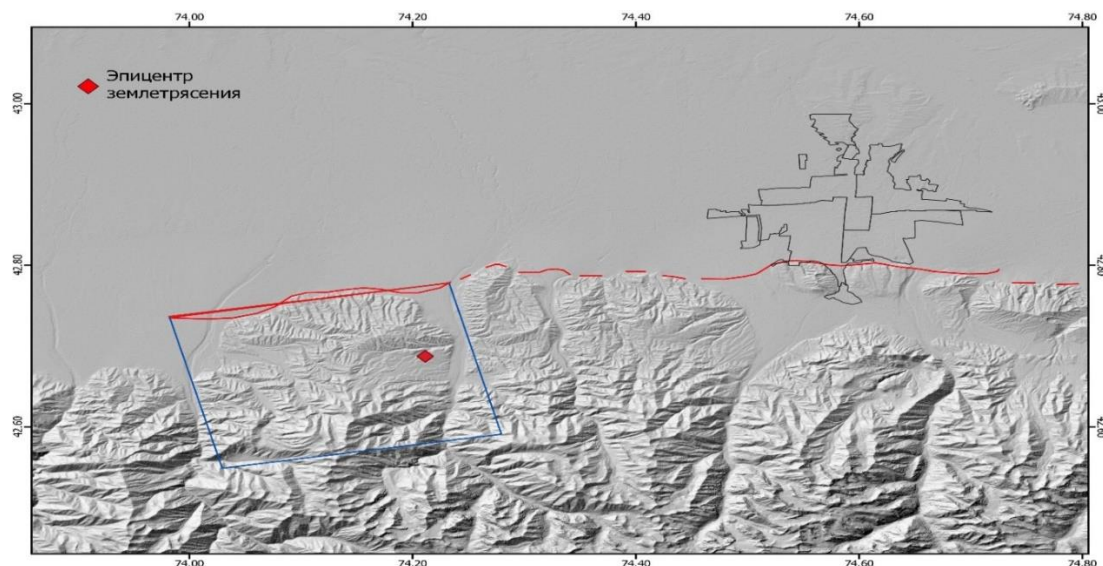


Рис. 3. Иссык-Атинский разлом, используемый в качестве входных данных для программы OpenQuake (прямая красная линия разрыв поверхности, синий – падение разлома вниз).

Данная программа позволяет создавать сценарии землетрясений с различными магнитудами. Она обеспечивает четкую передачу относительного масштаба потенциального ущерба и потерь, которые могут произойти в будущем при определенной магнитуде сейсмического события в определенном месте. В отличие от вероятностного анализа сейсмической опасности данная программа позволяет рассчитывать повреждения и потери для конкретных сценариев землетрясений, например, от Иссык-Атинского разлома (сегмент А). Оценивается вероятностная устойчивость зданий и сооружений при воздействии конкретных сценариев землетрясений, сравниваются и сопоставляются пред-

полагаемые ущербы и убытки города от землетрясений разной магнитуды. Параметрами опасности, используемыми в программе, являются пиковое ускорение грунта (PGA) и спектральное ускорение (SA). Там, где пиковое ускорение грунта дает движение, ощущаемое частицей на земле, спектральное ускорение приближается к ускорению, которое испытывает здание. Так, по сценарию что, если вновь произойдут землетрясения $M=6$, $M=7$ и $M=7.5$ в районе исторического Беловодского землетрясения 1885 г., т.е. недалеко от города Бишкек (около 40 км), то оно вызовет пиковые ускорения грунтов, расчеты которых представлены на рисунке 4, 5 и 6.

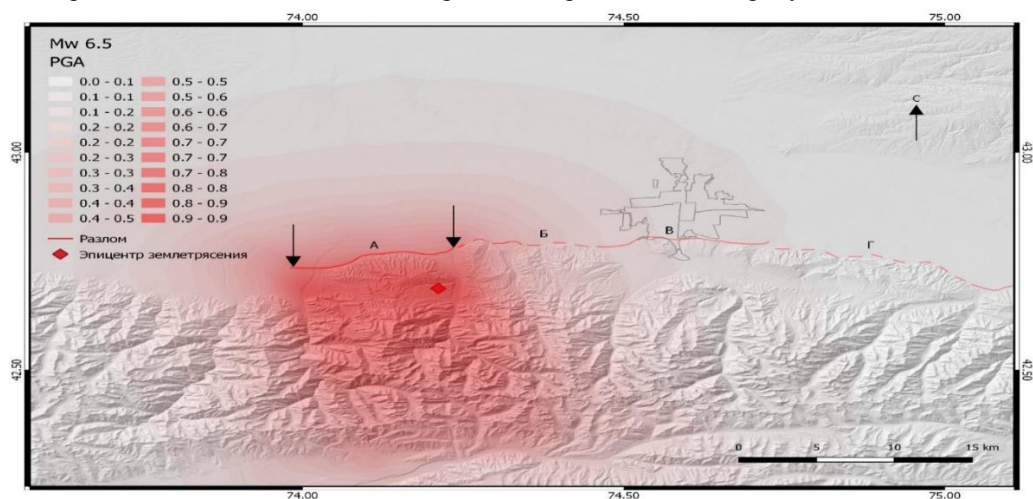


Рис. 4. Пиковые ускорения грунта при землетрясении $M=6.5$.

Движение грунта оценивается с помощью уравнений прогнозирования движения грунта (GMPE) - эмпирических формул, в которых используются такие параметры, как величина и тип разлома. Это позволяет предсказать меру интенсивности в зависимости от расстояния до разлома. В нашем анализе мы использовали три уравнения (GMPE) [4]. Но так как уравнения прогнозирования движения грунта разработаны для конкретных регионов, то мы приняли три

формулы, которые связаны с мелкими землетрясениями (Abrahamson et al., 2014; Chiou and Youngs, 2014; Campbell and Bozorgnia, 2014).

Результаты повреждений и потерь, усредненные по GMPE, в расчете каждого сценария, показывают, что оценка разрушения зданий для каждого сценария распределена неравномерно по территории города (рис. 6). GMPE основаны на скорости поперечной волны в верхних 30 м (измерения «Vs30») [5,6,7].

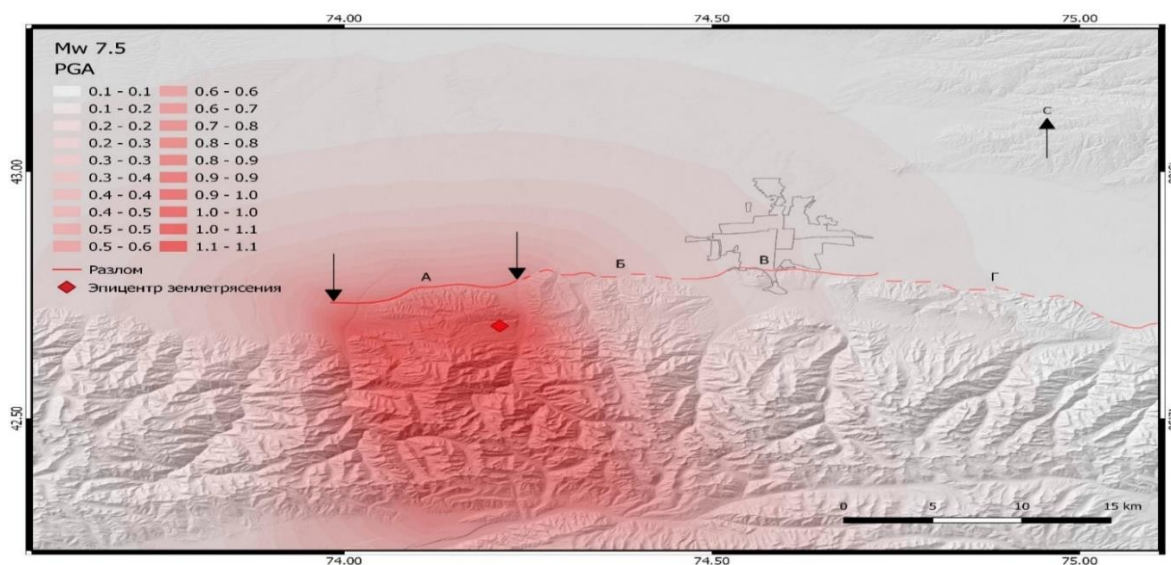


Рис. 5. Пиковые ускорения грунта при землетрясении M=7.5.

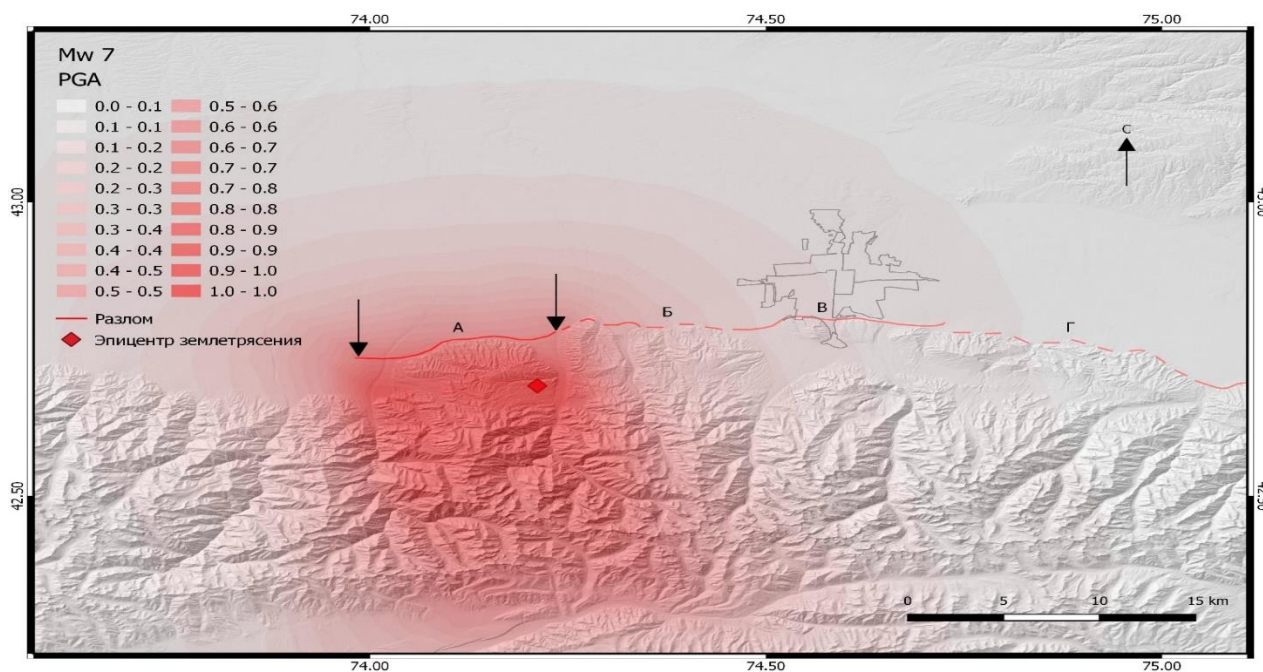
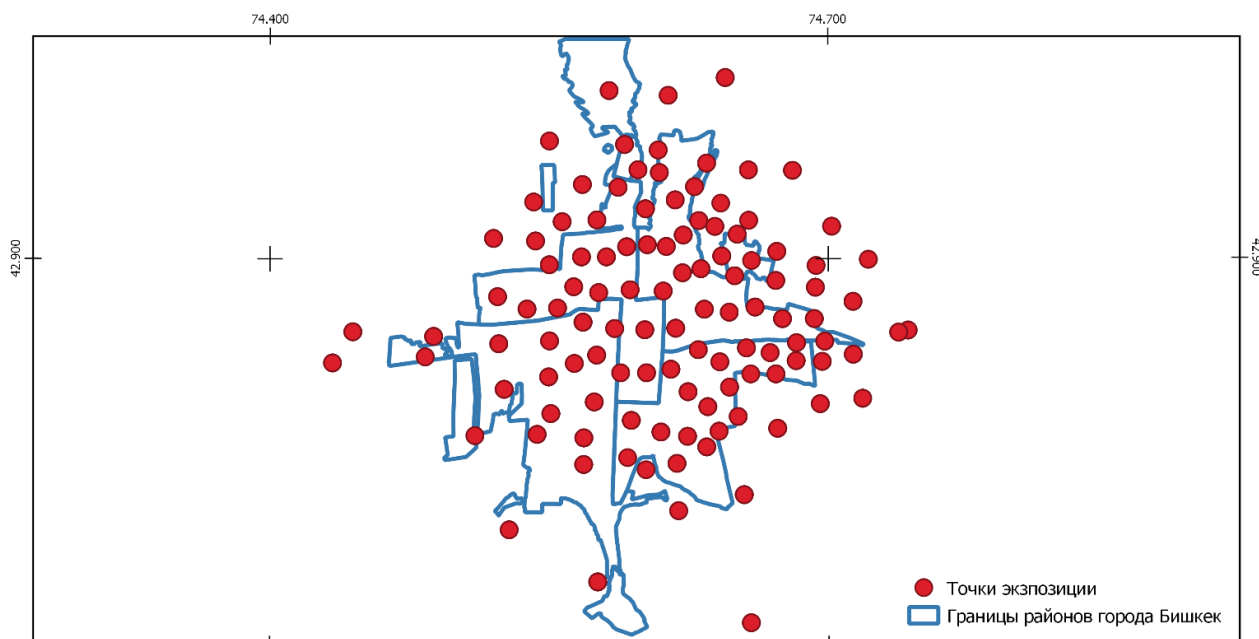


Рис. 6. Пиковые ускорения грунта при землетрясении M=7.

Для каждой точки экспозиции (пространственное распределение элементов, подверженных воздействию опасностей, а также их ценность и класс уязвимости) используется ближайшее измерение Vs30. Модель экспозиции объединяет различные здания по территории и локализует их в одной точке. На рисунке 8 представлена сводка результатов повреждений и потерь для всех сценариев. Используя PGA или SA, OpenQuake-engine рассчитывает ущерб и потери.

Этот расчет требует модели воздействия, которая подробно описывает объекты, подвергающиеся опасности. В модели экспозиции перечисляются таксономия (классификация зданий и сооружений) зданий и количество этажей, количество зданий, стоимость и количество людей, находящихся в данных местах, для дневного и ночного времени суток (модель экспозиции и таксономия показаны в рис. 7) [8].



X	Y	fid	LONGITUDE	LATITUDE	TAXONOMY	BUILDINGS	TOTAL_REPL	OCCUPANTS_	ID_2	NAME_2	ID_1	NAME_1	OCCUPANCY	COST_PER_A
74.7429	42.8717	2693	74.7429	42.8717	MR+MOC/LWAL+DNO/FC/HBET:3-5	2	762286	208	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	280
74.7429	42.8717	2689	74.7429	42.8717	MUR+CLBRS/LWAL+DNO/FW/HBET:1-3	3	194121	11	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	280
74.7429	42.8717	2692	74.7429	42.8717	MR+MOC/LWAL+DNO/FC/HBET:1-2	4	358376	20	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	280
74.7429	42.8717	2700	74.7429	42.8717	MUR+ADO/LWAL+DNO/FW/HBET:1	32	199936	166	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	245
74.7378	42.8709	2301	74.7378	42.8709	W/LWAL+DUC/FW/HBET:1-2	4	203212	20	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	280
74.7378	42.8709	2298	74.7378	42.8709	CR+PC/LWAL+DUC/FC/HBET:1-16	6	10248900	912	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	595
74.7378	42.8709	2299	74.7378	42.8709	CR+PC/LFLS+DUC/FC/HBET:5-9	6	13035700	912	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	595
74.7378	42.8709	2291	74.7378	42.8709	MCF+MOC/LWAL+DNO/FC/HBET:1-5	7	8607810	532	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	280
74.7378	42.8709	2294	74.7378	42.8709	CR+CIP/LFM+DUC/FC/HBET:1-7	7	12518500	1064	4	BiÅikek	2	BiÅikek	Res	595

Рис. 7. Модель экспозиции и таксономия.

Эти сценарии показывают, что возможные человеческие жертвы M=6,5 составляет 13 человек, при M=7 40 и при M=7,5 90 жертв. Возможное полное разрушение зданий при M=6,5 около 55, при магнитуде 7 возможно 150 зданий и при магнитуде 7,5 около 300 зданий. Возможный ущерб от землетрясения магнитудой M=7,5 может быть оценен в 132 млн.

долларов, при землетрясении магнитудой M=7 составляет около 75 млн. долларов. Также при землетрясения магнитудой M=6,5 возможный ущерб может быть оценен 34 млн. долларов США. с учетом того, что эпицентр землетрясения находится около 35 - 40 км от города Бишкек.

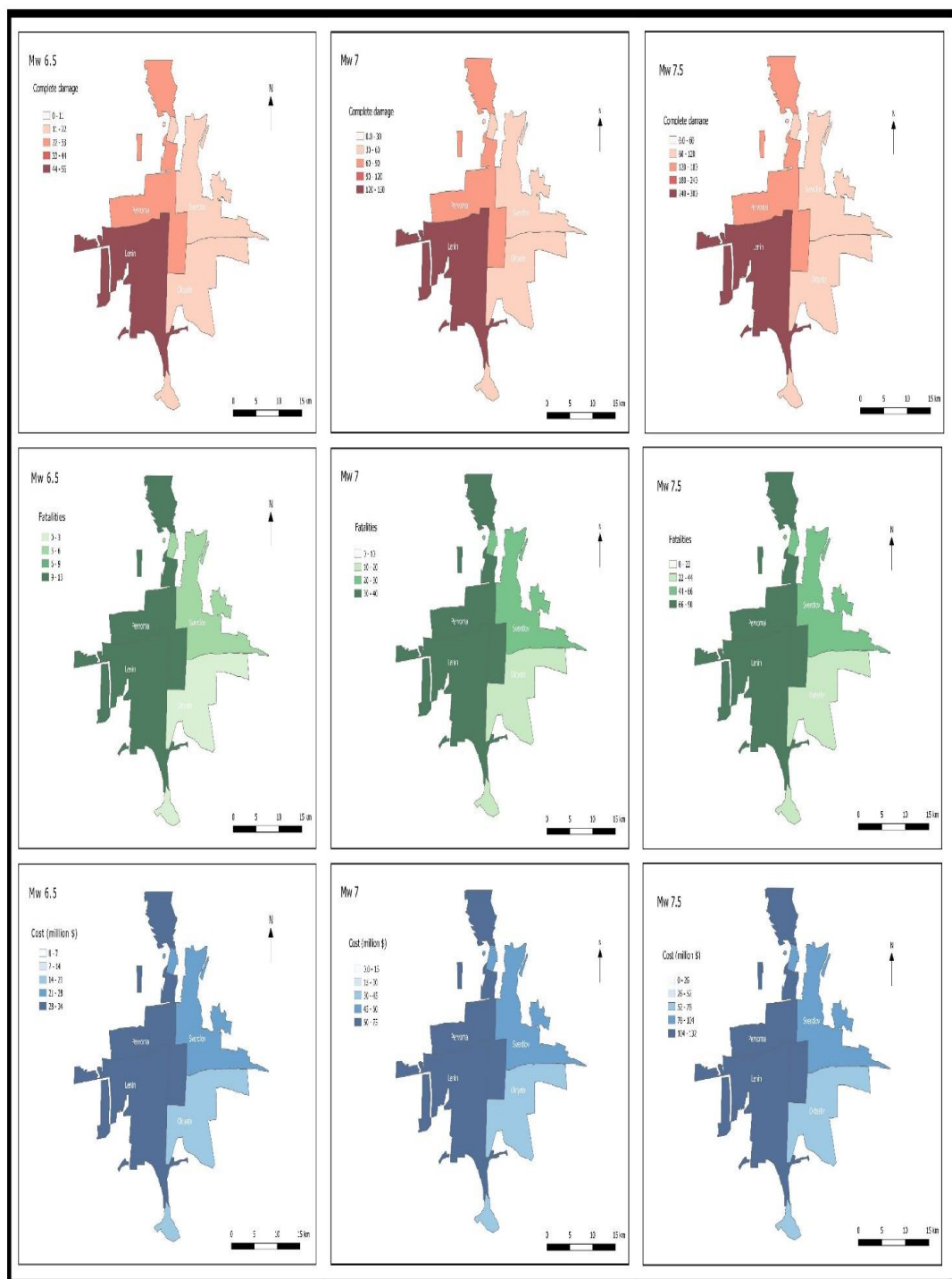


Рис. 8. Ущерб от землетрясений разной магнитуды (Полное разрушение зданий, стоимость и жертвы среди населения).

Отсюда можно сделать вывод – сейсмический риск можно уменьшить за счет правильного расчёта сейсмостойкого строительства и укрепления существующих зданий, а также подготовленности населения к сейсмкатастрофе. Оценка сейсмического риска

направлена на измерение размера потенциального воздействия будущих землетрясений, что позволит государственным органам и обществу провести превентивные мероприятия на том или ином участке города. На практике снижение риска землетрясений

может проявляться в виде информирования общественности о рисках, проведение новой или усовершенствованной программы в землепользовании или строительстве, совершенствовании мер реагирования на стихийные бедствия, планы и укрепления инфраструктуры (например, модернизация) или защита через страхование.

Литература:

1. Каталоги землетрясений на территории Кыргызстана Института сейсмологии НАН КР.
2. Абдрахматов К.Е., Джумабаева А.Б. сегментация Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань). / Вестник Института сейсмологии НАН КР №1(3), 2014.
3. <https://www.globalquakemodel.org/>
4. Hussain, E., Elliott, J. R., Silva, V., Vilar-Vega, M., and Kane, D.: Contrasting seismic risk for Santiago, Chile, from near-field and distant earthquake sources, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, 1533-1555, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1533-2020>, 2020.
5. Akkar, S., Sandvikkaya, M. A., and Bommer, J. J.: Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East, Bulletin of Earthquake Engineering, 12, 359-387, <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>, <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>, 2014.
6. Chiou, B. S.-J. and Youngs, R. R.: Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground 35 Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, 30, 1117-1153, <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M>, <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M>, 2014.
7. <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>
8. GEM: The OpenQuake-engine User Manual. Global Earth quake Model (GEM) Open-Quake Manual for Engine version 3.2.0, Tech. rep., <https://doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.3.2.0>, 2018.
9. Абдрахматов К.Е., Джумабаева А.Б., Джанабилова С.О. Новейшая структура северного Тянь-Шаня и Чилико-Кеминская транспрессионная зона. / Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2015. №. 3. С. 48-52.