

УДК 550.343.9

**Камчыбеков М.П.,<sup>1</sup> Мураталиев Н.М.,<sup>2</sup>  
Камчыбеков Ы.П.<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Институт сейсмологии НАН КР,  
г. Бишкек, Кыргызстан*<sup>2</sup> *Кыргызский государственный университет строительства,  
транспорта и архитектуры, г. Бишкек, Кыргызстан*

## **СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ТЕРРИТОРИИ ГОРОДОВ ТОКМОК И БАЛЫКЧЫ, КЫРГЫЗСТАН**

**Аннотация.** Оценка сейсмического риска используется при принятии решений в условиях угроз возникновения чрезвычайных ситуаций, при планировании устойчивого развития территорий городов. Для оперативного и эффективного реагирования в случае возникновения сильного землетрясения важны как оценки физических потерь по зданиям и сооружениям, так и ожидаемые социальные потери. При долгосрочном планировании развития урбанизированных территорий приоритетными являются оценки экономических потерь. В данной работе рассматриваются оценки сейсмического риска территории городов Токмок и Балыкчы.

**Ключевые слова:** сейсмическая уязвимость, типы зданий, сейсмическая шкала интенсивности, классификация зданий, сейсмический риск.

## **КЫРГЫЗСТАНДЫН ТОКМОК ЖАНА БАЛЫКЧЫ ШААРЛАРЫНЫН АЙМАГЫНДА СЕЙСМИКАЛЫК ТОБОКЕЛДИК**

**Кыскача мазмуну.** Сейсмикалык тобокелдикти баалоо өзгөчө кырдаалдар пайда болгон учурда чечимдерди кабыл алууда, шаар аймактарын туруктуу өнүктүрүүнү пландаштырууда колдонулат. Күчтүү жер титирөө болгон учурда тез жана эффективдүү чара көрүү үчүн имараттардын жана курулмалардын физикалык жоготууларына, күтүлгөн социалдык жоготууларына да баа берүү маанилүү. Урбанизацияланган аймактардын узак мөөнөттөгү өнүгүүсүн пландаштырууда экономикалык жоготууларды баалоо маанилүү болуп саналат. Бул жумушта Токмок жана Балыкчы шаарларынын аймактарынын сейсмикалык тобокелдиги каралат.

**Негизги сөздөр:** сейсмикалык алсыздык, имараттын түрлөрү, сейсмикалык интенсивдүүлүк шкаласы, имараттын классификациясы, сейсмикалык тобокелдик.

## **SEISMIC RISK OF THE TERRITORY OF THE TOKMOK AND BALYKCHY CITIES, KYRGYZSTAN**

**Annotation.** Seismic risk assessment is used in decision-making under the threat of emergencies, in planning the sustainable development of urban areas. For prompt and effective response in the case of a strong earthquake, both estimates of physical losses for buildings and structures and also expected social losses are important. In long-term planning of the development of urbanized territories, the priority is the assessment of economic losses. This paper considers the seismic risk of the territory of the Tokmok and Balykchy cities.

**Keywords:** seismic vulnerability, building types, seismic intensity scale, building classification, seismic risk.

Проблема сейсмического риска связана с ключевым понятием уязвимости застройки. Под уязвимостью объекта риска понимается свойство здания терять свои качественные или количественные показатели надёжности и безопасности вследствие какого-либо воздействия. Для большого количества объектов, как, например, жилого

фонда, уязвимость может быть определена в виде потенциала повреждений по классу типовых конструкций, подвергнутых данным сейсмическим воздействиям.

Уязвимость показывает повреждаемость здания при изменении интенсивности или магнитуды сейсмических колебаний. В данном случае рассматриваются различные состояния повреждений. Уязвимость конструкций в зависимости от колебаний грунта выражается в терминах кривых уязвимости или функцией уязвимости, которая учитывает неопределённость в спектральном смещении и несущей способности. Метод спектрального смещения (спектральной несущей способности) основан на кривых уязвимости (рисунок 1). Пример кривых повреждений, показывающих вероятность тех или иных состояний повреждений для различных типов зданий, определяется по методике HAZUS [1]. Конструктивные повреждения делятся на 4 состояния повреждений: «легкие», «средние», «обширные», «полные». Для оценки уязвимости применяется аналитическое приближение. Уязвимость элемента обычно выражается как потеря в процентном выражении (или как значение между 0 и 1) для данного уровня опасности. По сравнению с эмпирическим приближением, основанным на основе макросейсмическим данным, в данном случае здания будут рассматриваться по классам уязвимости.

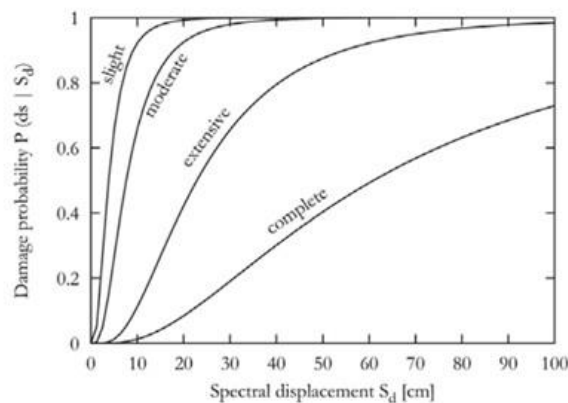


Рисунок 1. Кривые уязвимости для различных степеней повреждений [1].

Важным методическим инструментом при проведении обследования является классификация зданий по уровню их сейсмостойкости. Как правило, большинство исследователей в целях анализа уязвимости опираются на известные шкалы оценки сейсмической интенсивности и расширяют сферу их применения с учётом специфических особенностей конкретного района как исторически сложившегося, в соответствии с принятыми в строительстве зданий нормами по конструктивному типу, этажности, уровню антисейсмического проектирования, качеству проектирования и строительству.

На сегодняшний день существует разные шкалы сейсмической интенсивности: MSK-64 [2], MMSK-92 [3], EMS-1998 [4]. В нашем исследовании применялась современная сейсмическая шкала EMS-1998 как более универсальная и модернизированная шкала. Следует заметить, что при анализе повреждений зданий по шкалам уязвимости может наблюдаться расхождение между показаниями по отдельным признакам. Однако, при пользовании одной шкалой таких затруднений можно избежать. По EMS-98 конструктивную уязвимость различают по 6 классам - от высокой - класса А, до низкой - класса F. Здания каменной кладки соответствуют, большей частью, уязвимости класса А до железобетонной постройки, металлические здания - класса от D до F.

Вопросам сейсмического риска и его решениям посвящены работы [5-8] и др. Проведена работа для территории города Бишкек [9] и для территории Токтогульского водохранилища [10].

В работе [11] составлена база данных всех существующих зданий и сооружений, информация о типах зданий, а именно, дома на одну или две семьи, многоквартирные дома, фермы, офисные здания и промышленные здания, а также информация о годе постройки и качестве здания. База данных содержит информацию о количестве построек разного типа, возраста, качества и др. В нашей Республике классификация зданий существующей застройки по степени сейсмостойкости предусмотрена в СНиП КР 22-01:2018 [12]. В зависимости от конструктивной схемы существующие здания подразделяются на 8 групп с учётом их степени сейсмостойкости: малоэтажные жилые дома из глинистых материалов; деревянные здания; каркасные здания из железобетонных конструкций; здания с несущими стенами из кирпичной (каменной) кладки; каркасные здания из металлических конструкций; здания со специальными системами сейсмозащиты; крупнопанельные здания с железобетонными стенами и перекрытиями; здания с несущими стенами из монолитного железобетона. Каждая группа подразделяется по степени сейсмостойкости.

Первым шагом любого исследования по оценке ущерба и потерь является общее представление о размерах исследуемого района, т.е. определение границ области исследования. Для надёжной оценки сейсмических потерь и оценки рисков в масштабах города, область исследования должны быть разделена на более мелкие географические единицы – геоячейки (geounits). Геоячейка является наименьшей географической единицей, для которой исходная информация включает данные по инвентаризации зданий, демографические данные, грунтовые условия. Для этих геоячеек будут получены и представлены результаты оценки сейсмического риска. Точность исходной информации, а также увеличение точности результатов оценки риска предполагает увеличение количества геоячеек. Тем не менее, увеличение числа географических единиц увеличивает время, затрачиваемое на сбор входных данных, а также расчётное время. Следовательно, количество геоячеек должно быть настолько много, насколько локальные вариации оценки ущерба и потерь могут быть идентифицированы и предусмотрен определённый уровень детальности и разрешения, и настолько мало, чтобы это количество данных можно было бы достаточно быстро обработать в ходе проводимых вычислений.

В рамках города геоячейки соответствуют целым жилым кварталам или небольшим районам. Для сельской местности геоячейка может включать целую деревню или несколько отдельно расположенных населённых пунктов. Геоячейка должна охватывать однородные площади по следующим условиям: сейсмичность; инженерно-геологические условия; рельеф местности; данные сейсмического микрорайонирования; типы зданий; год постройки зданий; социально-экономические условия; плотность населения.

Город Токмок расположен на севере Кыргызстана, в Чуйской долине, на левом берегу реки Чу, по которой в близи города проходит граница между Кыргызстаном и Казахстаном. К северу и югу от Токмака простираются отроги Тянь-Шаня: к югу — Киргизского хребта, а к северу — Заилийского Алатау. В начале XIX века, (около 1825 — 1830 гг.) он был основан, как кокандская крепость. В 1867 году был уездным центром и в 1927 году стал городом. На карте интенсивности сотрясений земной поверхности в баллах при вероятных максимальных землетрясениях на территории Кыргызстана г. Токмок отнесена к 9-балльной зоне [13], и сейсмичность вокруг территории города является высокой [14]. Рельеф городской территории спокойный с уклоном 0.004 – 0.01. Общее падение рельефа с юго-востока на северо-запад с отметками от 850.0 м до 81.0 м на западе. На территории города выделяется несколько литологических разновидностей грунтов: галечники аллювиальные и пролювиально-аллювиальные мелкие до средних с редким включением отдельных валунов с песчано-гравийным заполнителем. Галька гранитового, порфирикового и сланцевого состава, хорошо окатана. Галечники слагают три террасы р. Чу и периферийную часть предгорного шлейфа. В них наблюдаются прослойки и линзы песка

с гравием. Сверху галечники перекрыты чехлом суглинка. Кровля галечников неровная. Разведанная мощность галечников – несколько десятков метров; суглинки желтовато-серого цвета лессовидные макропористые с прослоями и линзами супеси и, реже, глин и торфа мощностью 1.5 - 2.5 м; в западной части Токмака в суглинистой толще преобладают болотные отложения в виде торфа, иловатых глин, переслаивающихся с песком. Мощность их составляет 2.5 – 3.5 м, увеличиваясь на запад от города до 7 – 8 м и более. На территории города Токмок выделены три сейсмические зоны, идущие с востока на запад: 8- балльная зона охватывает восточную и юго-восточную окраины города; наиболее благоприятна для капитального строительства и имеет ровный, слегка покатый в западно-северо-западном направлении рельеф. В её строении принимают участие аллювиальные и пролювиальные галечники с песчаным заполнителем и редкими единичными валунами мощностью более 100 м. С поверхности галечники перекрыты суглинками небольшой (0.5– 1.5 м) мощности. Грунтовые воды залегают на глубине 8.0 – 10.0 метров и более. Основанием фундаментов служат галечники с допускаемыми нагрузками 5.0 – 6.0 кг/см<sup>2</sup>.

9-балльная зона. Зона в центральной части городской территории характеризуется пологим рельефом с незначительным уклоном на запад. Аллювиальная зона сложена галечником с песчаным заполнителем и прослоями и линзами песка и гравия. Галечниковые отложения перекрыты сверху чехлом суглинка мощностью от 1.0 до 2.5 м. Грунтовые воды залегают на глубине 3.0 – 10.0 м. Основанием фундаментов служат галечники с допускаемой нагрузкой 5.0 – 6.0 кг/см<sup>2</sup>.

Зона с интенсивностью более 9 баллов. Зона, охватывающая западную часть города Токмок, характеризуется пониженным рельефом с уклоном на запад; с поверхности на глубину от 3.0 до 5.0 м и более сложена суглинками, с чередующимися прослоями иловатой супеси, песка и торфа. Грунтовые воды местами выходят на поверхность в виде ключей, родников, часто площадного характера или залегают на глубине до 1.0 – 3.0 м от поверхности. Основанием фундаментов на повышенных участках служат суглинки с прослоями песка и супеси. Допускаемые нагрузки 1.0 – 1.5 кг/см<sup>2</sup>.

Для выяснения существующих типов зданий и сооружений, из соображений удобства, территория г. Токмок была разделена на 19 небольших участков, по каждому из которых определены существующие типы жилых зданий и сооружений. На рисунке 2 показана карта территории г. Токмок с разделёнными участками.

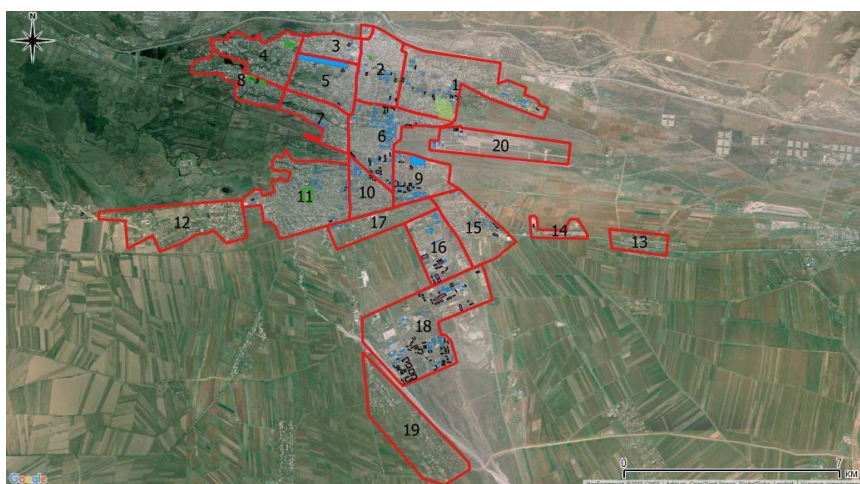


Рисунок 2. Карта территории г. Токмок, с разделёнными на ней участками для классификации зданий и сооружений.

На основании анализа кривых уязвимости по данным типам зданий выявлено, что наиболее сейсмостойкими являются монолитные и крупнопанельные дома. Затем за ними

по степени уязвимости следуют деревянные одно- и двухэтажные дома, кирпичные одно- и четырёхэтажные. Индивидуальные глинобитные дома замыкают этот список, являясь самой неустойчивой конструктивной группой.

На рисунке 3 показана карта сейсмического риска территории г. Токмок. Из рисунка видно, что самый большой процент (80%) разрушений ожидается в западной, более девятибалльной зоне, где располагаются в основном многочисленные глинобитные дома частного сектора, построенные без учёта норм и правил сейсмостойкого строительства. До 60% разрушений могут подвергнуться жилые постройки в центральной, 9- балльной части города, застроенной также глинобитными домами. На рисунке эта часть городской территории окрашена в ярко оранжевый цвет. В восьмибалльной, восточной и юго-восточной части города, застроенной более устойчивыми, в конструктивном отношении зданиями, самый малый процент ожидаемых повреждений (20%).

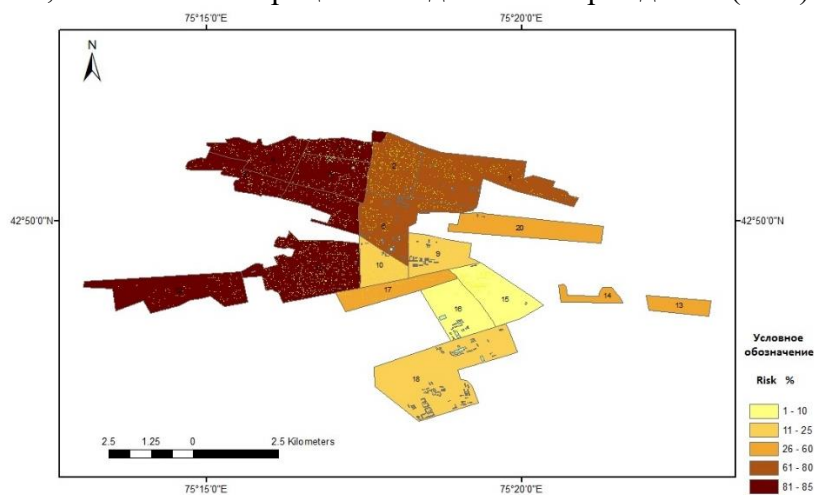


Рисунок 3. Карта сейсмического риска территории г. Токмок.

Город Балыкчы расположен на северо-западном побережье озера Иссык-Куль и является важнейшим хозяйственным центром Иссык-Кульской области. Основан в 1871 году, с 1907 года это маленькое рыбацкое селение Бачино, которое в 1909 году было переименовано в посёлок Рыбачье. В 1954 году он получил статус города и развивался как крупный транспортно-промышленный узел. Город относится к 9 - балльной зоне по карте интенсивности сотрясений земной поверхности в баллах при вероятных максимальных землетрясениях на территории Кыргызстана [13] и сейсмичность вокруг территории города является высокой [14]. Рельеф города Балыкчы представляет плоскость, имеющую наклон с севера на юг, максимальный уклон 5-7%. Инженерно-геологическое условие – грунты, в основном, составляют валунно-галечники. Согласно сейсмическому микрорайонированию, территория города состоит из трёх зон, северная часть которого относится к 8-балльной зоне, центральная зона относится к 9- балльной зоне, южная часть, прилегающая к побережью озера Иссык-Куль, относится к более 9 - балльной зоне.

Территория города Балыкчы поделена на 7 участков - геоединиц. На рисунках 4 показаны участки городской территории.



Рисунок 4. Территория г. Балыкчы, разделённая на 7 участков.

В результате проведённой классификации зданий на территории г. Токмок выделены 8 конструктивных типов зданий: монолитные (4- и 9-этажные) здания, крупнопанельные пяти- и девятиэтажные, кирпичные здания (2-, 3- и 4-этажные), одно и четырёхэтажные каркасные здания с кирпичным заполнением, кирпичные дома без учёта норм сейсмозащиты, одноэтажные деревянные дома, индивидуальные глинобитные дома, построенные без учёта норм и правил сейсмостойкого строительства, кирпичное здание водонапорной башни. В основном год постройки жилых зданий от 50-х до 90-х годов прошлого века.

На территории г. Балыкчы определены 7 конструктивных типов зданий: крупнопанельные пятиэтажные, кирпичные здания (1, 2-, и 4-этажные), кирпичные дома без учёта норм сейсмозащиты, одноэтажные деревянные дома, индивидуальные глинобитные дома, построенные без учёта норм и правил сейсмостойкого строительства. В основном год постройки жилых зданий от 50-х до 90-х годов прошлого века.

На карте сейсмического риска территории г. Балыкчы, представленной на рисунке 5, область наибольших разрушений (80%) соответствует северной, более 9 - балльной зоне, где располагаются глинобитные дома частного сектора, неустойчивые к сильным сейсмическим воздействиям. Северо-западная 9- балльная часть городской территории с ожидаемыми разрушениями до 60%, также застроена несейсмостойкими строениями. Центральная и восточная части города, относящиеся к 8-балльной зоне, окажутся в области наименьших разрушений (20% - 30%).

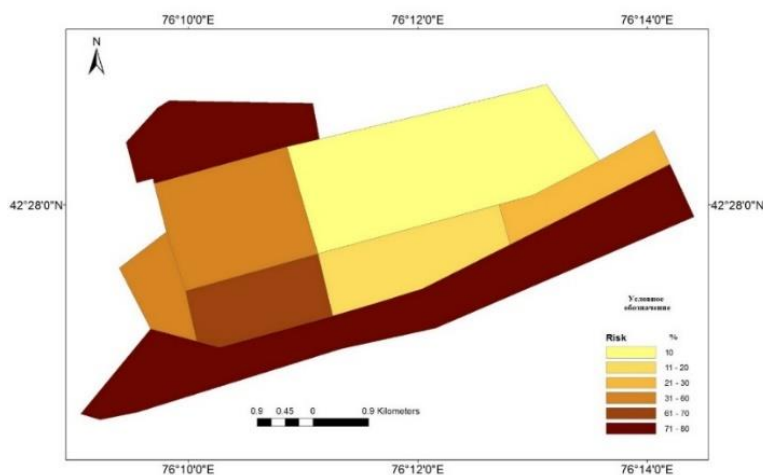


Рисунок 5. Карта сейсмического риска территории г. Балыкчы

**Выводы:**

- Из анализа карты сейсмического риска для г. Токмок 80% разрушений ожидается в западной, более девятибалльной зоне по данным сейсмического микрорайонирования, где располагаются в основном многочисленные глинобитные дома частного сектора, построенные без учёта норм и правил сейсмостойкого строительства. До 60% разрушений могут подвергнуться жилые постройки в центральной, 9- балльной части города, застроенной также глинобитными домами. В восьмибалльной, восточной и юго-восточной части города, застроенной более устойчивыми, в конструктивном отношении зданиями, самый малый процент ожидаемых повреждений (20%).
- На карте сейсмического риска территории г. Балыкчы, область наибольших разрушений, до 80%, соответствует северной, более 9-балльной зоне по данным сейсмического микрорайонирования, а также северная часть, где располагаются глинобитные дома частного сектора, неустойчивые к сильным сейсмическим воздействиям. Северо-западная 9 - балльная часть городской территории с ожидаемыми разрушениями до 60%, также застроена несейсмостойкими строениями. Центральная и восточная части города, относящиеся к 8- балльной зоне, окажутся в области наименьших разрушений (20%-30%).

**Литература**

1. HAZUS (1999), Earthquake Loss Estimation Methodology, Technical Manual, RMS, NIBS and FEMA
2. Медведев С.В. Международная шкала сейсмической интенсивности // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 151-162.
3. Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф. Развитие шкал типа MSK// Вычислительная сейсмология. М.: ГЕОС, 2003. Вып.34. С. 210-253.
4. Grunthal, G. European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 1998; Vol.15, pp.1-99.
5. Сейсмический риск и инженерные решения. Под ред. Ц. Ломнитца и Э. Розенблюта. – М.: Недра, 1981. -375 с.
6. Камчыбеков М.П. Сейсмический риск крупных городов Кыргызстана // Вестник Института сейсмологии НАН КР №2(8), 2016. - С. 24-30.
7. Мавлянова Н.Г. Оценка сейсмического риска для городов Центральной Азии // Геоэкология М.: Наука, № 1, 2020. - С. 52-56.
8. Tyagunov, S., Grünthal, G., Wahlström, R., Stempniewski, L. & Zschau, J.: Seismic risk mapping for Germany, In Natural Hazards and Earth System Sciences. Special Issue: Methods for risk assessment and mapping in Germany, 6, 2006, p. 573—586.
9. Камчыбеков М.П. Количественная оценка сейсмического риска территории и жилых зданий г. Бишкек: автореф. дис. канд. тех. наук. – Бишкек, 2006. – 22 с.
10. Егембердиева К.А. Вероятностный сейсмический риск жилых зданий и сооружений на территории, прилегающей к Токтогульскому водохранилищу: автореф. дис. канд. тех. наук. – Бишкек, 2011. – 22 с.
11. INFAS Database: Das DataWherehouse, Bonn, INFAS GEODaten GmbH, www.infas-geodaten.de, 2001.
12. СНиП КР 22-01:2018 Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки. Бишкек, 2019. – 50 с.
13. Карта интенсивности сотрясений земной поверхности в баллах при вероятных максимальных землетрясениях на территории Кыргызстана (масштаб 1:1000000) // СН КР 20-02:2018 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Бишкек, 2018. – С. 81-117.
14. Камчыбеков М.П., Мураталиев Н.М., Камчыбеков Ы.П., Егембердиева К.А. Сейсмичность территории городов Балыкчи и Токмок, Кыргызстан // Вестник Института сейсмологии НАН КР №2(18), 2021. – С. 62-66.

*Рецензент: д. ф-м. н. А.М. Муралиев*