

УДК 550.34.013.2

## ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ГОРОДОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

© 2020 г. Н. Г. Мавлянова\*

Институт Геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

\*e-mail: georisk2015@mail.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

Территория Центрально-Азиатского региона, включающего Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан, характеризуется сложным геологическим строением и высокой тектонической и сейсмической активностью земной коры. Разрушительные землетрясения XX в., такие как Верненское (современная Алма-Ата), Хаитское, Ашхабадское, Ташкентское, Сусамырское привели к катастрофическим разрушениям и гибели тысяч людей. В сейсмически опасных районах расположены большинство городов, в регионе проживают более 62 млн человек. При анализе сейсмической уязвимости и сейсмического риска необходимо учитывать, что жилая застройка в странах региона характеризуется присутствием большого числа однотипных зданий, но за последние 20 лет строительная палитра возведения зданий резко изменилась: появились новые строительные материалы, конструктивные системы, ранее не применяемые в строительстве. Для обеспечения возможности сравнительного анализа сейсмической уязвимости застройки в разных странах и построения единой карты сейсмического риска для всего Центрально-Азиатского региона следует выработать единую методику оценки сейсмического риска.

**Ключевые слова:** *Центральная Азия, сейсмический риск, сейсмическая опасность, уязвимость, трансграничные природные опасности*

**DOI:** 10.31857/S0869780920010111

### ВВЕДЕНИЕ

Центральная Азия (ЦА) включает 5 республик бывшего СССР: Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан. Данный регион подвержен многим стихийным бедствиям: землетрясения, оползни, обвалы, лавины, сели, наводнения, прорывы высокогорных озер, а также техногенные катастрофы. Наибольший ущерб приносят как сами катастрофические землетрясения, так и возникающие при этом вторичные процессы. В регионе находится более 130-ти объектов с отходами горнодобывающих предприятий, которые содержат радионуклиды, соли тяжелых металлов (кадмий, свинец, цинк), а также токсичные вещества (цианиды, кислоты, силикаты, нитраты, сульфаты и т.п.). Существует постоянная угроза возможных экологических катастроф вследствие разрушения хранилищ, расположенных в районах с высокой сейсмичностью и активностью оползневых процессов. При этом в ряде случаев потенциально опасные источники загрязнения окружающей среды расположены на территориях одной страны, а их негативные воздействия проявляются на территории других [2]. В ЦА будет строиться первая атомная станция на

территории Узбекистана. В начале мая 2019 г. выбрана площадка для строительства атомной станции в 25 км от г. Бухары рядом с водохранилищем Тудакуль. Создана корпорация УЗАТОМ, которая совместно с РОСАТОМОМ будет вести строительство. Ввод в эксплуатацию планируется в 2028 г.

В 1991 г., после распада СССР, на территории ранее единой страны образовалось 15 независимых государств, а существующие общие природные опасности стали трансграничными. В сейсмологии, как и в других отраслях науки, в это время началось разрушение сложившихся структур и научных связей между учеными. Из-за недостаточного финансирования во многих республиках сократилось число сейсмических станций, начался отток квалифицированных кадров из научных организаций. Несмотря на все трудности начала 1990-х годов, когда научно-исследовательским институтам пришлось фактически выживать в тяжелых условиях, специалисты старались продолжать исследования и сохранить мониторинговую сеть. Постепенно стали поступать предложения от зарубежных коллег о научных грантах, об установке современных цифровых

**Таблица 1.** Катастрофические землетрясения в XX в. с магнитудой больше 7 с эпицентрами на территории Центральной Азии

Землетрясения	Дата	Магнитуда, $M_w$	Интенсивность по шкале MSK-64
Каратагское (Таджикистан)	21.10.1907	7.5	9–10
Кеминское (Казахстан)	03.01.1911	8.2	10–11
Сарезское (Таджикистан)	18.02.1911	7.8	9–10
Чаткальское (Кыргызстан)	02.11.1946	7.5	9–10
Казанджикское (Туркменистан)	04.11.1946	7.0	8–9
Ашхабадское (Туркменистан)	06.10.1948	7.3	9–10
Хаитское (Таджикистан)	10.07.1949	7.4	9–10
Газлийское (Узбекистан)	08.04.1976	7.0	8–9
Газлийское (Узбекистан)	17.05.1976	7.3	9–10
Газлийское (Узбекистан)	20.03.1984	7.2	9–10
Сусамырское (Кыргызстан)	19.08.1992	7.3	9–10
Балханское (Туркменистан)	06.12.2000	7.3	8

сейсмических станций. Так в Казахстане, Кыргызстане и Таджикистане стала развиваться современная мониторинговая система, состоящая из комплектов цифровых сейсмических станций, предоставленных по грантам из Германии, Швейцарии, США и Канады. В Туркменистане и Узбекистане сейсмический мониторинг осуществляется за счет государственного финансирования. Проблемы оценки сейсмического риска привлекают все большее внимание научного сообщества, а также правительственных и неправительственных организаций, что привело к реализации проектов по оценке сейсмического риска для некоторых городов региона.

### СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

Центральная Азия – один из сейсмически активных регионов в мире, в соответствии с современными картами сейсмической опасности, интенсивность сотрясений может достигать 9–10 баллов (по шкале MSK-64). По данным [1], с позиций геодинамики и концепции тектоники плит на территории ЦА ярко проявляются результаты столкновения крупнейших плит, которое началось 50–70 млн лет назад: Индостанская с юга и Евразийская с севера, а также более мелкие Туранская и Таримская плиты. Крупнейшие горные структуры, Гималаи, до сих пор сохраняют самые высокие скорости движений – 4–5 см в год, подкачивая энергией и тем самым поддерживая высокий уровень сейсмичности на всей территории ЦА.

Разрушительные землетрясения в ЦА неоднократно происходили в прошлом, затрагивая территории каждой из стран региона, разрушая города и села и унося человеческие жизни. Очевидно, что сильные землетрясения в регионе будут про-

исходить и в будущем. Прогнозные оценки ученых-сейсмологов показывают высокие значения магнитуд потенциальных будущих землетрясений (7 и выше), что соответствует вероятному уровню макросейсмической интенсивности 9 и более баллов (по шкале MSK-64).

Принимая во внимание, что зоны с высоким уровнем сейсмической опасности совпадают с густонаселенными районами, можно констатировать, что в каждой из стран ЦА существующий уровень сейсмического риска очень высокий, и (как показывает печальный опыт недавних землетрясений в других районах планеты) последствия будущих землетрясений могут быть катастрофическими. В XX в. сильные землетрясения с магнитудой  $M > 7$  были зафиксированы на территории каждого из пяти государств ЦА (табл. 1); они неизбежно приводили к колоссальному экономическому ущербу и огромным человеческим потерям.

В любой стране сейсмология начинает развиваться после сильного землетрясения. Так институты и научные центры открывались в странах ЦА после катастрофических землетрясений, произошедших в XX в. По состоянию на 2019 г. в каждой республике действуют научно-исследовательские институты, изучающие проблемы оценки сейсмической опасности и сейсмостойкости зданий и сооружений, центры сейсмического мониторинга. Восстановлены каталоги землетрясений.

### СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК

Несмотря на различные интерпретации и подходы к проблемам оценки риска у различных авторов, общепризнанно, что концепция сейсмического риска отражает оценку потенциальных потерь при вероятных будущих землетрясениях.

При этом основными составляющими факторами, определяющими уровень риска, являются опасность и уязвимость, а также ценности, подверженные существующей угрозе. Сейсмическая уязвимость – важный компонент сейсмического риска и, в конструктивном смысле, она подразумевает способность зданий и сооружений противостоять сейсмическим воздействиям. Чем выше сейсмическая уязвимость зданий и сооружений, тем больший социально-экономический ущерб при прочих равных условиях, могут причинить землетрясения. При оценке сейсмической уязвимости, в первую очередь, принимается во внимание конструктивный тип и материал несущих конструкций зданий, что принципиальным образом определяет их несущую способность и сейсмостойкость. Однако, помимо этого сейсмическая уязвимость зданий и сооружений зависит от множества других факторов, включая архитектурные и объемно-планировочные особенности зданий; их конфигурацию и регулярность конструктивной схемы, как в плане, так и по высоте; качество проектирования и строительства; уровень антисейсмических мероприятий; эксплуатационное состояние, в том числе возможные изменения планировки, затрагивающие конструктивную схему, а также повреждения, накопленные в результате природных или техногенных воздействий. Кроме этого для оценки повреждаемости зданий и сооружений при сейсмических воздействиях важно учитывать свойства грунтовых оснований, их сцепление с фундаментом, а также соотношение параметров системы “грунт – сооружение”, имея в виду, с одной стороны, вероятность возникновения резонансных эффектов усиления колебаний и, как следствие, увеличения нагрузок на элементы конструкций, а, с другой – вероятность проявления вторичных эффектов, связанных с потерей устойчивости грунтов оснований. Анализ всех этих факторов позволяет оценить сейсмическую уязвимость застройки, а в совокупности с оценками сейсмической опасности и распределения элементов, подверженных этой опасности, включая население, объекты инфраструктуры и другие материально-экономические ценности, получить адекватные оценки существующего сейсмического риска.

Сравнивая жилую застройку городов и населенных пунктов стран ЦА, можно отметить значительное сходство типов зданий в разных странах, что обусловлено как географическими, так и историческими особенностями. В частности, в советское время было широко распространено типовое проектирование, во всех республиках использовались единые нормы и правила, и строительство велось на основе единых методов и технологий. Строительство зданий из местных материалов, особенно распространенных в сельской местности, велось и зачастую ведется в настоящее

время на основе схожих технологий и с использованием схожих материалов.

После распада СССР, в 1990-х гг. в республиках появились свои национальные СНиПы по сейсмостойкому строительству, которые базировались на последнем советском СНиПе 1984 г., но отличались в каждом государстве. Созданы национальные карты сейсмической опасности, работа над которыми продолжается. Расширяется и усовершенствуется сейсмическая мониторинговая сеть.

За последние 20 лет строительная палитра возведения гражданских зданий в ЦА регионе, как в городе, так и в сельской местности, резко изменилась: появились новые строительные материалы, конструктивные системы, ранее не применяемые в строительстве. Исчезли привычные, проверенные экспериментально-теоретическими исследованиями и реальными землетрясениями конструктивные системы, практически прекратило свое существование типовое проектирование гражданских зданий. Не проводятся масштабные экспериментальные работы. Резко снизилось качество применяемых материалов. В условиях ограниченного финансирования исследовательских работ в области сейсмостойкого строительства возникает серьезная проблема при оценке сейсмической безопасности жилищно-гражданских зданий современной постройки и выработке концепций смягчения последствий землетрясений [3]. Ввиду того, что именно на сейсмоопасных территориях стран ЦА проживает большая часть населения и расположены жилые, гражданские и промышленные здания и сооружения, а также объекты инфраструктуры проблема оценки и уменьшения сейсмического риска является особенно актуальной.

Таким образом, при анализе сейсмической уязвимости и сейсмического риска необходимо учитывать, что, с одной стороны, жилая застройка в странах ЦА характеризуется присутствием большого числа однотипных зданий, с другой стороны, – в каждой из стран существуют свои различия, как по типам зданий, так и по структуре застройки. Как показывают проведенные исследования, структура застройки (композиционный состав) весьма разнородна, в том числе, существенно различается между собой жилая застройка городов и сельских населенных пунктов [3].

Важно подчеркнуть, что в настоящее время в каждой из стран региона используются собственные (основанные на новых национальных строительных нормах и различающиеся между собой) подходы к классификации существующих типов зданий по сейсмической уязвимости, что затрудняет единый подход к расчетам и трансграничному картированию сейсмического риска. В связи с

этим для обеспечения возможности сравнительного анализа сейсмической уязвимости застройки в разных странах и построения единой карты сейсмического риска для всего Центрально-Азиатского региона была предложена унифицированная методика, разработанная на основе Европейской Макросейсмической Шкалы (EMS-98) и ранее использованная для территории Германии [5]. Шкала EMS-98 представляет собой дополненный и усовершенствованный вариант шкалы МСК-64, которая до настоящего времени является основным инструментом для оценки макросейсмической интенсивности в странах региона. Учитывая, что при разработке шкалы EMS-98 (как и ее предшественницы – шкалы МСК-64) использовались макросейсмические данные прошлых землетрясений в различных странах, в том числе и Центральной Азии, можно говорить об обоснованности ее применения в регионе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правительства стран ЦА придают большое значение реализации целенаправленных мер по защите населения и территорий от сейсмической опасности, созданию условий для проведения научно-исследовательских работ в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Усилия по снижению риска природных катастроф требуют значительных финансовых затрат, при этом основные расходы несет государство, как конституционно ответственное за обеспечение национальной безопасности, включая защиту населения и территорий от природных катастроф. В каждой стране ЦА в бюджет ежегодно закладываются ассигнования на расходы, связанные с чрезвычайными ситуациями, при этом фактические расходы бюджета на такие события значительно превышают запланированные. Для проведения превентивных мероприятий с целью снижения ущерба и социальных потерь от будущих землетрясений необходимо провести оценку и картирование сейсмического риска. Работы по созда-

нию карт сейсмического риска в настоящее время осуществляются для городов Алматы (Казахстан) и Ашхабад (Туркменистан), в которых в XX в. произошли разрушительные землетрясения. Учитывая трансграничную природу стихийных бедствий, для адекватной оценки и уменьшения существующего уровня сейсмического риска необходима совместная координированная работа сейсмологов и инженеров, проектных и плановых организаций, органов управления различного уровня, национальных министерств по чрезвычайным ситуациям и их подразделений на местах. Координация усилий в сейсмоопасных районах вдоль национальных границ позволит идентифицировать и картографировать зоны с наибольшим уровнем риска, разработать эффективную систему мероприятий по управлению риском и обеспечению готовности к будущим сильным землетрясениям как в каждой из стран Центральной Азии, так и в регионе в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов Ф.К., Саломов Н.Г., Старков В.И., Старкова Э.Я., Шозиев Ш.Л. Сейсмогеофизические исследования на территории Таджикистана и проблемы прогнозирования тектонических землетрясений // Геориск. 2017. № 1. С. 30–39.
2. Мавлянова Н.Г., Липатов В.А., Юлдашев О.Р. Трансграничные проблем преодоления стихийных бедствий в международных региональных организациях Евразийского региона // Проблемы прогнозирования. 2018. № 3. С. 122–131.
3. Хакимов Ш.А. Сейсмомбезопасность конструктивных систем современных жилищно-гражданских зданий Центрально-Азиатского региона // Геориск. 2017. № 1. С. 54–61.
4. *European Macroseismic Scale* 1998, Grunthal, G. (Ed.): Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie. Conseil de l'Europe, Luxembourg, 1998. V. 15. 99 p.
5. Tyagunov S., Gruntal G., Wahlstrom R., Stempniewski L., Zschau J. Seismic risk mapping for Germany // *Natural Hazards Earth System Sciences*, 2006. № 6. P. 573–586.

## SEISMIC RISK ASSESSMENT FOR CENTRAL ASIA CITIES

N. G. Mavlyanova<sup>#</sup>

*Sergeev Institute of Environmental Geosciences of Russian Academy of Sciences,  
Ulanskii per., 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: georisk2015@mail.ru*

The current definition of Central Asia includes Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan and Uzbekistan. In the 20<sup>th</sup> century, this region experienced devastating earthquakes, which led to enormous economic damage and huge human losses. A forecast assessment of earthquake consequences includes the evaluation of possible (in the form of physical and material) economic, social and environmental losses. An important procedure in the analysis of seismic risk is the assessment of the vulnerability of objects of nature, society and technology to seismic influences. The main factors of seismic risk include the following: seismic danger of the territory, vulnerability of residential and economic facilities and the vulnerability of the population living in this territory,

as well as the preparedness of the population and relevant authorities for earthquakes. In regional international organizations, it is necessary to provide for the financing of joint transborder scientific projects on assessing natural hazards and reducing the possible damage.

**Keywords:** *Central Asia, seismic risk, seismic hazard, vulnerability, earthquakes, transborder natural hazards*

#### REFERENCES

1. Karimov, F.H., Salomov, N.G., Starkov, V.I., Starkova, E.Y., Shozieev, Sh.L. *Seismogeofizicheskie issledovaniya na territorii Tajikistana i problemi prognozirovaniya tektonicheskikh zemletrasenyi* [Seismogeophysical researches on the territory of Tajikistan and tectonic earthquakes prediction problems]. *Georisk*, 2017, no. 1, pp. 30–39. (in Russian)
2. Mavlyanova, N.G., Lipatov, V.A., Yuldashev, O.R. Transboundary problems of overcoming natural disasters for international regional organizations in the Eurasian Region. *Studies on Russian Economic Development*, 2018, vol. 29, no. 3, pp. 322–328. (in Russian)
3. Khakimov, Sh.A. *Seismobezopasnost konstruktivnykh system sovremennykh jilishno grajdanskykh zdanii Tsentralno Aziatskogo regiona* [Seismic safety of modern residential buildings structural systems of Central Asian region]. *Georisk*, 2017, no. 1, pp. 54–61. (in Russian)
4. European Macroseismic Scale 1998, Grunthal, G. (Ed.): Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie. Conseil de l'Europe, Luxembourg, 1998, vol. 15, 99 p.
5. Tyagunov, S., Grunthal, G., Wahlstrom, R., Stempniewski, L., Zschau, J. Seismic risk mapping for Germany. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 2006, no. 6, pp. 573–586.