

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2014.2.55426

## ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

© 2014 В.Б. Заалишвили, д.ф.-м.н., проф., Б.В. Дзеранов, к.г.-м.н.,  
Л.Н. Невский, И.Г. Архиреева

Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и PCO-A, Россия, 362002,  
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

На основе учета всей совокупности факторов – сейсмическая опасность, уязвимость застройки, сейсмический риск, – разработана методика оценки и прогноза сейсмического риска. Используя полученные результаты, выполнена оценка сейсмического риска территории города Владикавказа, что позволило выделить наиболее сейсмически уязвимые участки.

**Ключевые слова:** сейсмический риск, застройка, уязвимость, потери.

Увеличение численности населения и развитие промышленности обуславливает освоение новых территорий, в том числе, сейсмически опасных. В настоящее время урбанизация новых районов в развитых странах нередко идет очень высокими темпами. При этом, почти 90% урбанизированной территории, как правило, расположены в областях с высокой степенью риска проявления различных природных опасностей.

В общем случае под риском понимают возможность наступления некоторого неблагоприятного события, влекущего за собой различного рода потери. Существование риска связано с невозможностью с точностью до 100% прогнозировать будущее. Исходя из этого, следует выделить основное свойство риска: риск имеет место только по отношению к будущему и неразрывно связан с прогнозированием и планированием, а значит и с принятием решений вообще.

Чтобы понять актуальность вопроса оценки сейсмического риска, достаточно взглянуть на данные убытков от наиболее крупных землетрясений, приведенные в (табл. 1) [Coburn and Spence, 1992]. Ущерб приведен в миллиардах долларов, и, кроме того, в процентах от валового национального продукта (ВНП) страны, в которой произошло землетрясение, что позволяет более адекватно оценить последствия землетрясения для каждой страны. Так, к примеру, 45 млрд. убытков для Италии – это всего 6,8% от ВНП, а 2,0 млрд. для Никарагуа уже 40,0% ВНП.

Целью оценки риска является оценка потенциального ущерба и потерь от будущих землетрясений (последствия) и вероятности их возникновения в заданный период времени (вероятность).

Оценка сейсмического риска предполагает следующие основные шаги:

**Анализ сейсмической опасности:**

- Идентификация очагов землетрясений;
- Моделирование возникновения землетрясений от этих источников;
- Оценка затухания колебаний землетрясения;
- Оценка влияния грунтовых условий, разжижения, оползней и поверхностных разрывов;

Таблица 1

**Экономические потери от сильных землетрясений  
(Coburn and Spence, 1992)**

Страна	год	Ущерб миллиарды \$	Убытки (% ВВП)
Никарагуа	1972	2,0	40,0
Гватемала	1976	1,1	18,0
Китай	1976	6,0	1,5
Румыния	1977	0,8	3,0
Югославия	1979	2,2	10,0
Италия	1980	45,0	6,8
Мексика	1985	5,0	3,0
Греция	1986	0,8	2,0
Сальвадор	1986	1,5	31,0
СССР	1988	17,0	3,0
США	1989	8,0	0,2
Иран	1990	7,2	7,2
Филиппины	1990	1,5	2,7

**Паспортизация застройки:**

- Идентификация инфраструктуры (зданий и инфраструктуры), которые подвергаются повреждению;
- Классификация зданий и инфраструктуры в соответствии с их уязвимостью;
- Классификация зданий и сооружений в зависимости от загрузки;

**Моделирование повреждений:**

- Моделирование поведения разных классов застройки при сейсмическом воздействии;
- Разработка функции повреждения (отношение между уровнями повреждения и соответствующим уровнем сейсмического воздействия);
- Оценка ущерба от землетрясения, нанесенного застройке;
- Оценка ущерба, причиненного застройке пожарами, возникшими после землетрясения;

**Оценка потерь:**

- Оценка прямых потерь связанных с расходами на ремонт повреждений;
- Оценка косвенных убытков, связанных с потерей функции застройки;
- Оценка жертв, вызванных повреждением.

Кроме того также важны социально-экономические последствия ущерба от землетрясения. Тем не менее, оценка социально-экономических последствий является более сложной задачей, и нет четко определенного метода оценки. Как правило, оценка производилась как коэффициент прямых потерь, чтобы указать порядок таких убытков.

Ряд исследователей рассматривали экономические последствия землетрясений [Cochrane, 1995]. Исследования по оценке таких последствий, продолжаются. Например, [Gordon et al., 1997] изложил основы для оценки общего экономического эффекта от влияния землетрясений на транспортную систему (рассматривались только мосты), используются модели ввода/вывода.

В их числе модели изменения в спросе на перевозки после землетрясения. Однако практическое применение этой модели для оценки риска дорожной сети не было продемонстрировано [Brabhaharan et al., 2001]. Многопрофильный центр ис-



следований в области сейсмостойкого строительства (MCEER) в США занимается разработкой модели для оценки экономических последствий повреждения транспортных сетей.

Было бы целесообразно рассмотреть оценку социально-экономических последствий землетрясений в качестве будущего расширения оценки сейсмического риска.

Первичным результатом оценки сейсмического риска являются полученные базы данных и карты, на которых выделены пространственное распределение ущерба и потерь. База данных к примеру будет включать общую оценку ущерба, число жертв, число людей, пострадавших от ущерба, сроки для основного восстановления и вероятных затрат на ремонт.

База данных охватывает следующие объекты:

- Коммерческие, промышленные и жилые здания;
- Жизненно важные объекты, включая больницы, полицейские участки и пожарные станции;
- Инфраструктура, в том числе:
  - Электрические линии и сети связи, включающие подстанции, телефонные сети, подземные и воздушные линии;
  - Дорожные сети, в том числе мосты;
  - Водные объекты, включая резервуары, насосные станции и водозаборы.

Для инфраструктуры, также будут оцениваться сопутствующие явления (такие как сбой организации дорожного движения).

Графические материалы используются для выделения пространственного распределения повреждений объектов.

Кроме того необходимо отметить большой вклад российских исследователей в области оценки сейсмического риска. К примеру, согласно модели В.И. Кейлис-Борока, И.Л. Нерсесова и А.М. Яглома, экономический эффект сейсмостойкого строительства определяется соотношением между затратами на антисейсмические мероприятия и экономией (т.е. сокращением убытков от землетрясений). Затраты при этом суммируются из всех дополнительных капиталовложений в строительство и покрытия убытков, в случае повреждения зданий и сооружений, а также всех косвенных убытков связанных с повреждением материальных ценностей внутри зданий; временного сокращения производства; вторичных разрушений, а так же ущерба, нанесённого здоровью людей и т.д.

В работах Я.М. Айзенберга, А.И. Неймана за экономический критерий оптимальности антисейсмических усиления сооружений принимаются средневероятные полные затраты, связанные с сейсмической опасностью. В этом случае оптимальные затраты на антисейсмические мероприятия определяются путем минимизации целевой функции, соответствующей критерию оптимальности.

Необходимо отметить громадный вклад, внесенный М.А. Клячко в создание сценариев землетрясений и в их использование для анализа риска и управлению риском. Он одним из первых выполнил исследования в этой области и разработал руководство по разработке и применению сценариев. Кроме того им также предложена оригинальная терминология в этой области.

Большая работа по оценке сейсмического риска г. Владикавказ на примере ул. Куйбышева была проведена Центром геофизических исследований в 2005 г. [Залишвили и др., 2005] В результате этой работы была произведена классификация зданий в зависимости от типа конструкции (табл. 2 и 3).

Таблица 2

## Классы зданий по типу конструкций

Типы зданий	Характеристики
<b>A</b>	Здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома
<b>B</b>	Обычные кирпичные дома, здания крупноблочного и панельного типа, фахверковые строения, здания из естественного тесаного камня
<b>C</b>	Каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки
<b>D</b>	Крупнопанельные здания

На рис. 1 показана диаграмма зависимости уязвимости зданий от интенсивности сейсмического воздействия.

На основе учета всей совокупности факторов: сейсмическая опасность, уязвимость застройки, сейсмический риск разработана методика оценки и прогноза сейсмического риска. [Zaalishvili, 2012; Заалишвили и др., 2011]

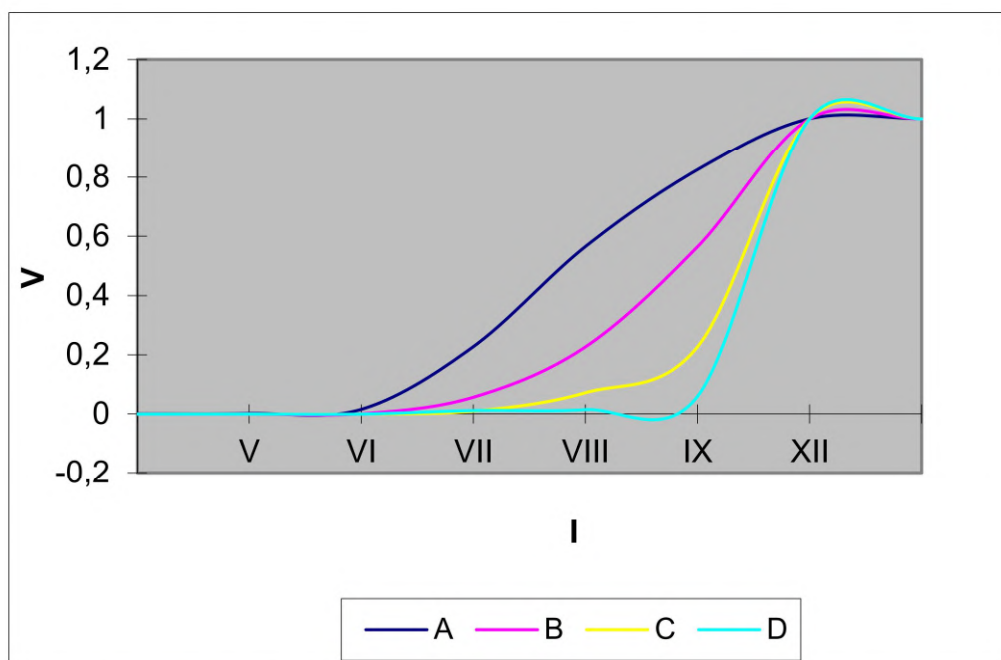


Рис. 1. Диаграмма зависимости уязвимости зданий от интенсивности сейсмического воздействия

Ниже приведен расчёт риска сейсмических потерь для различной интенсивности сейсмического воздействия:

**А) Сейсмическое воздействие 7 баллов шкалы MSK-64:**

– Хольцман

$$RSL=7/8*29427/29427*5885/5885=0.875$$

– Балкинский проезд-улица Пионеров

$$RSL=7/5*706.5/28532*35/2140+7/6*20908,5/28532*375/2140+7/7*6917/28532*1730/2140=0.35$$

– Улица Пионеров-улица Лермонтовская

$$RSL=7/6*34728,4/35432*2410/2660+7/7*703.6/35432*250/2660=1.038$$

– Улица Лермонтовская-улица Фрунзе



Таблица 3

## Сведения по типам зданий и численности населения для расчёта риска сейсмических потерь

Наименование участков в районе улицы Куйбышева	Общая площадь м <sup>2</sup>	Площадь домов м <sup>2</sup> Число домов	Процент застройки	Конструктивные типы зданий и их площадь в м <sup>2</sup> Количество домов (групп) – штук				Численность населения общая, в том числе по отдельным типам зданий-человек				Средняя этажность зданий
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				29427				5885				
Хольцман	166288	29427 38	17.7	-	-	-	29427 38	-	-	-	5885	4
Балкинский проезд-улица Пионеров	177853	28532 178	16.0	706.5 6	20908.9 166	6916.6 6	-	35	375	1730	2140	1.5
Улица Пионеров-улица Лермонтовская	159501	35432 149	22.2	-	34728.4 148	703.6 1	-	-	2410	250	2660	1.5
Улица Лермонтовская-улица Фрунзе	194762	62870 107	32.2	528.5 2	39802 86	22539.5 19	-	26	1372	5517	6915	2.2
Улица Фрунзе-улица Ленина	232448	96070 101	41.3	-	89192.8 93	6877.2 8	-	-	9283	1767	11050	2.3
Улица Ленина-река Терек	207625	103458 89	49.8	-	96764.2 83	6693.8 6	-	-	8925	1425	10350	2.0
<b>Итого</b>	<b>1138477</b>	<b>355789</b> <b>662</b>	<b>31.3</b>	<b>1235</b> <b>8</b>	<b>281396.3</b> <b>576</b>	<b>43730.7</b> <b>40</b>	<b>29427</b> <b>38</b>	<b>61</b>	<b>22365</b>	<b>10689</b>	<b>39000</b>	<b>2.2</b>

$$RSL=7/5*528.5/62870*26/6915+7/6*39802/62870*1372/6915+7/7*22539.5/62870*5517/6915=0.43$$

– Улица Фрунзе-улица Ленина

$$RSL=7/6*89192.8/96070*9283/11050+7/7*6877.2/96070*1767/11050=0.92$$

Улица Ленина-река Терек

$$RSL=7/6*96764.2/103458*8925/10350+7/7*6693.8/103458*1425/10350=0.95$$

#### **Б) Сейсмическое воздействие 8 баллов шкалы MSK-64:**

– Хольцман

$$RSL=8/8*29427/29427*5885/5885=1$$

– Балкинский проезд-улица Пионеров

$$RSL=8/5*706.5/28532*35/2140+8/6*20908.5/28532*375/2140+8/7*6917/28532*1730/2140=0.40$$

– Улица Пионеров-улица Лермонтовская

$$RSL=8/6*34728,4/35432*2410/2660+8/7*703,6/35432*250/2660=1.19$$

– Улица Лермонтовская-улица Фрунзе

$$RSL=8/5*528.5/62870*26/6915+8/6*39802/62870*1372/6915+8/7*22539.5/62870*5517/6915=0.49$$

– Улица Фрунзе-улица Ленина

$$RSL=8/6*89192.8/96070*9283/11050+8/7*6877.2/96070*1767/11050=1.05$$

– Улица Ленина-река Терек

$$RSL=8/6*96764.2/103458*8925/10350+8/7*6693.8/103458*1425/10350=1.09$$

Для характеристики риска сейсмических потерь по аналогии с учебным пособием «Сейсмическая защита и её организация» – ГЮМРИ ЭЛЬДОРАДО 2004 год, были приняты три степени риска: высокий ( $RSL > 1.1$ ), средний ( $1.1 \geq RSL > 1.0$ ) и низкий ( $RSL \leq 1.0$ ).

Проанализированную часть площади города Владикавказа можно представить в виде плана риска сейсмических потерь, с детальностью до любого существующего строения. На таком плане, каждый из шести выделенных ранее участков, будет отображён в соответствии с подсчитанным риском сейсмических потерь и предполагающимся уровнем сейсмического воздействия.

Для территории г. Владикавказа в Центре геофизических исследований составлен набор карт сейсмической опасности для повторяемости 50 лет и вероятностью превышения сейсмической опасности 1%, 2%, 5% и 10%. Полученные данные относятся к так называемым «средним грунтам». Для территории г. Владикавказа отдано предпочтение карте с вероятностью 2%, которая приближается к существующим оценкам уровня сейсмической опасности. При этом южная часть города находится в 8 балльной зоне, а северная – 7-мибалльной. Изучавшаяся площадь, прилегающая к улице Куйбышева, хотя пространственно и располагается вблизи от центральной части города, всё же находится ближе к 8 балльной сейсмической зоне.

Изучение отдельных элементов цепочки позволяет разрабатывать конкретные мероприятия путем использования соответствующих технологий. В итоге проведенной работы была произведена оценка возможных экономических потерь от землетрясения интенсивностью 8 баллов (рис. 2).

Как можно видеть из рис. 3, в случае возникновения эффекта разжижения грунтов в районе расположения микрорайона «Весна» экономические потери могут составить уже не 17,7 млн. руб. а 100 млн. руб.



### Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов

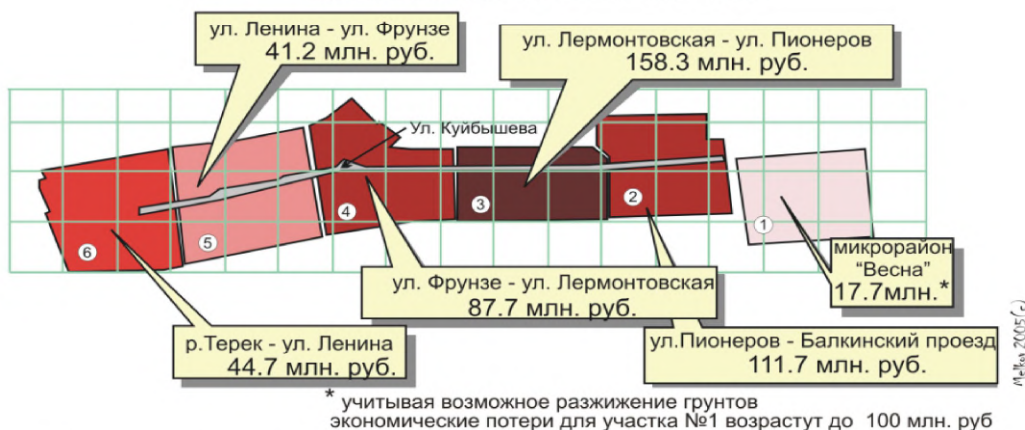


Рис. 2 Экономические потери по ул. Куйбышева при землетрясении интенсивностью 8 баллов.

### Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов

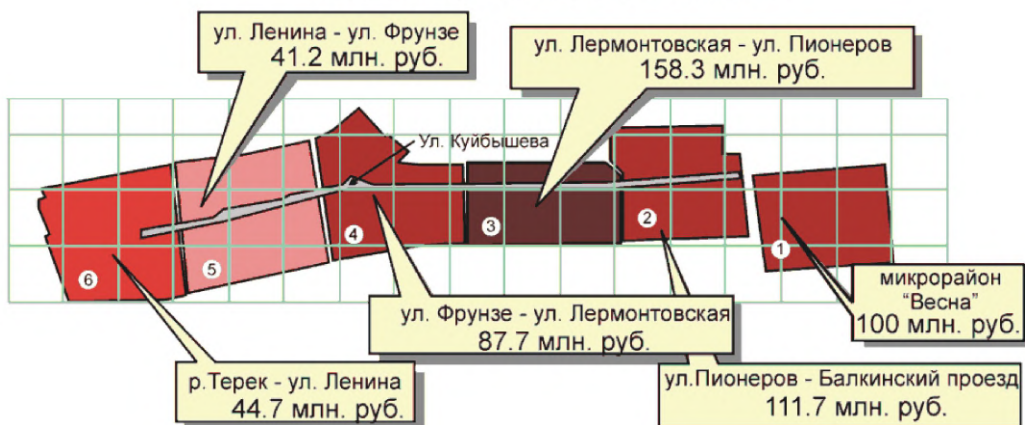


Рис. 3 Экономические потери по ул. Куйбышева при землетрясении интенсивностью 8 баллов учитывая возможное разжижение грунтов.

### Выводы:

1. Были изучены и проанализированы существующие на данное время на территории России и за рубежом методы оценки сейсмического риска. Приведена методика и последовательность работ по оценке сейсмического риска.
2. На основе современных информационных технологий создана база данных застройки г. Владикавказа по ул. Куйбышева, и приведены схемы с возможными экономическими потерями от землетрясения интенсивностью 8 баллов.
3. Использование разработанной методики оценки сейсмического риска позволяет рассчитывать рейтинг грунтов и сейсмический риск для всей территории города Владикавказа, и выделять наиболее сейсмически уязвимые участки.

### Литература

1. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мажиев Х.Н. Оценка сейсмического риска застройки г. Владикавказа на примере ул. Куйбышева. – Владикавказ, Труды ГФЦЭД. 2005. –201 с.

2. Заалишвили В.Б., Архиреева И.Г., Заалишвили З.В. Экономическая эффективность проведения сейсмического микрорайонирования. Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 октября 2011 г., С.77-84.

3. Brabhaharan P., Fleming M.J. and Lynch R. (2001). Natural hazard risk management for road networks. Part I: Risk management strategies. Transfund New Zealand Research Report 217. 75pp.

4. Coburn A., Spence R., (1992), Earthquake Protection, John Wiley & Sons

5. Cochrane H. (1995). The economic impact of earthquake disasters. Proc of conference on Wellington after the 'Quake – the challenge of rebuilding cities. 27-29 March 1995. Published by the Earthquake Commission. pp65–79.

6. Gordon P., Moore II J. E., Richardson H. W., Shinozuka M., Cho K. Y., Cho S. B., Kim B. S. and Kim, G. Y. (1997). An integrated model of bridge performance, highway networks, and the spatial metropolitan economy: towards a general model of how losses due to earthquake impacts on lifelines affect the economy. NCEER Technical Report (Earthquake Engineering Frontiers in Transportation 97-0005. p515-525.

7. Zaalishvili V.B. Assessment of seismic hazard territory. Earthquake Engineering. Published by InTech. Edited Halil Sezen, 2012, P. 25-64.

DOI: 10.23671/VNC.2014.2.55426

## **SEISMIC RISK ASSESSMENT OF URBANIZED TERRITORY**

**© 2014 V.B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., B.V. Dzeranov, Sc. Candidate (Geol.), L.N. Nevsky, I.G. Arkhireeva**

Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002, E-mail: cgi\_ras@mail.ru,

Based on accounting all factors: seismic hazard, vulnerability of buildings a method of seismic risk assessment and prognosis of seismic risk is developed. Using the developed methodology the seismic risk assessment of Vladikavkaz city is performed, this allowed to identify the most seismically vulnerable areas.

**Keywords:** seismic risk, building stock, vulnerability, losses.