

УДК 550.31

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ЗОНЫ
РАЗРУШИТЕЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ С $7,5 < M < 7,0$
(на примере Спитакского землетрясения 1988 г.)

Л. Б. МИРЗОЯН^{1*}, С. Н. НАЗАРЕТЯН^{2**}

¹ Кафедра геофизики, инженерной геологии и гидрогеологии ЕГУ, Армения

² Территориальная служба сейсмической защиты МЧС РА, Гюмри, Армения

Рассматриваются особенности изменения сейсмического риска зон землетрясений с $7,5 < M < 7,0$, связанные как с разрушительными последствиями, так и с процессами восстановления этих последствий. Эта проблема изучена недостаточно, несмотря на ее важность для оценки и снижения риска. Для достижения основной цели проблема рассмотрена на основе изменения риска зоны Спитакского землетрясения 1988 г. Зону землетрясений рекомендуется делить на подзоны с учетом масштабов разрушения зданий, что позволяет более достоверно определять общие и локальные особенности изменения риска. Заключается, что по разным причинам риск территории городов подзоны сильного разрушения существенно снижается, и наоборот, возрастет в подзонах среднего и слабого разрушения.

<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2022.56.3.146>

Keywords: earthquake, vulnerability, risk, recovery, risk characteristics.

Введение. После разрушительного землетрясения с магнитудой $7,0 < M < 7,5$ сейсмический риск обширной территории – зоны его влияния, начиная с интенсивности 6 баллов по EMS-98 существенно меняется как вследствие сейсмических воздействий на здания, сооружения и окружающую среду, так и процессов восстановления его последствий [1, 2]. Это в первую очередь касается территории городов, где обычно сейсмический риск выше, чем в остальных населенных пунктах. Здания и сооружения, расположенные в разных районах проявления интенсивности землетрясения, повреждаются в разной степени. Как правило, после землетрясения территории с сильными и средними разрушениями восстанавливаются и реконструируются. Однако значительная часть его зоны, где постройки получают слабые повреждения, по разным причинам остается без должного внимания – здания и сооружения не восстанавливаются.

Таким образом, вследствие разрушительного землетрясения на достаточно большой территории резко меняется сейсмический риск, особенно риск

* E-mail: lyuba.mirzoyan@ysu.am

** E-mail: snaznssp@mail.ru

повреждения зданий и сооружений. Существенные изменения риска имеют свои особенности, как общие, так и местные, они имеют место особенно на территории городов. В научной литературе очень мало работ, посвященных этой проблеме, хотя она важна и актуальна. Целесообразно рассмотреть проблему на примере конкретного землетрясения, т.к. последние отличаются и по характеристикам, и по последствиям. В данной работе в качестве такого землетрясения выбрано Спитакское землетрясение 1988 г. ($M=7,0$; $I=9-10$ баллов по MSK-64; $H=10$ км), которое считается одним из наиболее детально и многосторонне изученных землетрясений мира [1, 3].

Методика исследования.

Методика оценки сейсмического риска территории городов.

Методики оценки риска особо не отличаются от методик, применяемых для территорий, не подвергавшихся воздействию сильного землетрясения. Однако важно основные оценочные данные компонентов риска (повреждения зданий и сооружений, выход из строя инфраструктуры, человеческие и материальные потери, геотехнические последствия и др.) взять из анализа данных о последствиях происходящих в данном регионе землетрясений. Важность применения этих данных заключается в том, что трудно теоретическими расчетами или экспериментальным путем определить уязвимость некачественно построенных зданий, старых линий жизнеобеспечения, прогнозировать геотехнические последствия в сложных инженерно-геологических условиях и др. Применением указанных оценочных данных повышается надежность и оперативность оценки сейсмического риска. Основные особенности методики для оценки риска территории городов Армении и оценочные данные, представлены в [3].

Основные факторы, определяющие особенности сейсмического риска зоны происходящего землетрясения. На сейсмический риск зоны землетрясения существенно влияют нижеперечисленные важные факторы [2, 4–6].

Сейсмическая опасность. Практика показывает, что в большинстве случаев после разрушительного землетрясения пересматриваются оценки сейсмической опасности, в том числе и карты общего сейсмического районирования (ОСР) и карты сейсмического микрорайонирования (СМР) территории городов. В итоге пересмотра карт, наиболее часто повышается уровень сейсмической опасности, расширяются границы особо опасных сейсмических зон, принимаются меры для не повторения ошибок и т.п. К примеру, после разрушительного Спитакского землетрясения 1988 г. в Армении были пересмотрены карты ОСР и СМР, были созданы новые нормы сейсмостойкости в строительстве, предприняты шаги для повышения качества проектирования и строительства построек и др. В итоге этих мероприятий был значительно повышен уровень сейсмической опасности территории республики, созданы более строгие нормы проектирования и строительства, особое внимание было уделено качеству строительства [2, 3]. Все это сыграло важную роль в повышении сейсмостойкости зданий и сооружений, построенных после землетрясения, а также в укреплении старых построек по новым нормам.

Уязвимость зданий и сооружений. Основной ущерб от землетрясений в большинстве случаев связан с высокой уязвимостью жилых и общественных зданий, поэтому этому вопросу необходимо уделить особое внимание [1, 6–8].

К сожалению, во многих развивающихся странах даже после разрушительных землетрясений ситуация существенно не меняется. Детальная оценка сейсмической уязвимости – технически сложная и дорогостоящая процедура, которая включает в себя получение огромного количества данных о постройках, их конструктивных типах, особенностях проектирования, а также характеристик сейсмической реакции в городских районах и др. [3, 4, 8]. Даже появление новых методологий не позволяет без больших усилий решить эту проблему, т.к. требуется подробная инвентаризация построек на основе исследований на месте, которая довольно дорога и требует много времени [3, 4, 8, 9].

Иногда применение современных методологий, в том числе динамических испытаний натуральных зданий в резонансном режиме, не позволяет надежно оценить уязвимость построек, если качество строительства низкое. Наиболее надежный путь решения проблемы – это применение результатов анализа статистических данных о повреждениях основных типов построек вследствие землетрясения. При сильных воздействиях более часто уязвимые типовые здания, в частности жилые (особенно многоквартирные) и общественные (особенно из сферы образования и здравоохранения) получают существенные повреждения или разрушаются. Важно оценить сейсмическую уязвимость типовых зданий, в том числе общеобразовательных школ и больниц. Большинство из них, по разным причинам, имеют высокую уязвимость. Во время Спитакского землетрясения 1988 г. в зоне 8–10-балльной интенсивности с площадью 3000 км² были повреждены здания 917 школ, причем 185 получили тяжелые повреждения, и многоэтажные здания больниц. Обычно сильно поврежденные постройки демонтируются или усиливаются, однако отношение властей в вопросе восстановления и усиления слабо поврежденных построек неоднозначно [2, 3]. Здания и сооружения с так называемыми “скрытыми” или незаметными повреждениями по каким-то причинам не восстанавливаются и не усиливаются, вследствие чего возрастает сейсмический риск территории, застроенной такими постройками. Здания, построенные по индивидуальным проектам (культуры, обслуживания, производственные, специальных служб и т.п.) при землетрясении ведут себя по-разному и их уязвимость общим подходом оценить невозможно [3]. Большое количество новых жилых, общественных и производственных сейсмостойких зданий строятся на специально выделенных территориях: микрорайонах и дистриктах городов, поэтому заметно снижается риск для достаточно большой территории.

Подготовленность населения и сотрудников органов местного самоуправления и государственного управления в зоне землетрясения. По понятным причинам после разрушительного землетрясения подготовленность населения и сотрудников государственных (особенно служб быстрого реагирования) и местных органов управления повышается. Они приобретают некий опыт вследствие увиденного, а многие и участия в процессах преодоления кризиса и восстановления последствий землетрясения, а службы быстрого реагирования как правило оснащаются необходимой техникой и др. Очень важные знания и опыт приобретает население в зоне землетрясения, т.к. многие люди принимают участие в спасательных работах, особенно в первые

дни после землетрясения, в оказании доврачебной помощи и восстановительных работах. Это оказывает важное влияние на их подготовленность к противостоянию новой сейсмической катастрофе и этим способствует снижению сейсмического риска зоны землетрясения.

Уязвимость инфраструктуры города. Линии электро-, газо-, водоснабжения, канализации, коммуникации и др. города вследствие сильных сотрясений грунта и, отчасти, спасательных работ повреждаются или выходят из строя [1, 9, 10]. Важную роль в уязвимости инфраструктуры играет их техническое состояние (возраст, поврежденность) и геологические особенности территории (среды), через которые они проложены. Например, линии водоснабжения и канализации городов Армении вследствие сейсмических сотрясений 8 баллов *слабо повреждаются* (выходят из строя в некоторых местах), а остальные получают *среднюю степень повреждений* (выходят из строя во многих местах). При 9-балльных сотрясениях большинство линии получают *сильные повреждения* (повсеместный выход из строя). При 10 баллах практически вся инфраструктура безвозвратно выходит из строя [3, 8, 9]. Вероятность повреждения инфраструктуры больше в зонах оползней, обвалов, разломов, разжижения и просадки грунта, резких контактов пород разных типов и др. [3, 8]. По этой причине дать конкретные оценки изменений сейсмического риска инфраструктуры очень трудно. Обычно, сразу после разрушительного землетрясения из-за социальной важности восстанавливаются линии водоснабжения и электроснабжения, а затем или одновременно – остальные. После восстановления уязвимость линий инфраструктуры резко снижается, т.к. большинство из них заменяются новыми. Часто на территориях городов, где интенсивность землетрясения составляла менее 8 баллов, отдельные элементы инфраструктуры масштабно не восстанавливаются, поэтому они становятся более уязвимыми.

Сейсмические воздействия на постройки. Обычно зону землетрясения разделяют на подзоны по интенсивности происходящего землетрясения и по масштабу разрушений зданий и сооружений [3]. Уязвимые постройки масштабно получают серьезные повреждения начиная с интенсивности 8 баллов, при 10 баллах происходит массовое разрушение зданий и сооружений. На рис. 1 представлены карты повреждений многоквартирных и общественных зданий городов, расположенных в зонах разной интенсивности Спитакского землетрясения 1988 г.: 9–10 баллов (г. Спитак); 9 баллов (гг. Лениканан и Степанаван); 8 баллов (г. Ашоцк). Исходя из опыта этого землетрясения целесообразно зону разделить на следующие 4 подзоны [2]:

- 1 – *сильного разрушения* (интенсивность 9–10 баллов);
- 2 – *существенного разрушения* (8–9 и 9 баллов);
- 3 – *среднего разрушения* (7–8 и 8 баллов);
- 4 – *слабого разрушения* (6–7 и 7 баллов).

В общем плане большинство построек первой подзоны практически разрушаются или получают такие повреждения (3–4-й и выше степени, согласно пяти степенной шкале строительных норм РА), и они подлежат сносу. В подзоне существенного разрушения постройки или сильно повреждаются, или получают повреждения 2–3 степени (рис. 1). Часть поврежденных зданий

(2 и 3 степени) подлежат восстановлению, а другая часть с повреждениями 3–4 степени – демонтажу. Здания последних двух подзон в большинстве случаев получают незначительные повреждения и если они не восстанавливаются, тогда повышается их сейсмическая уязвимость, следовательно, и риск.

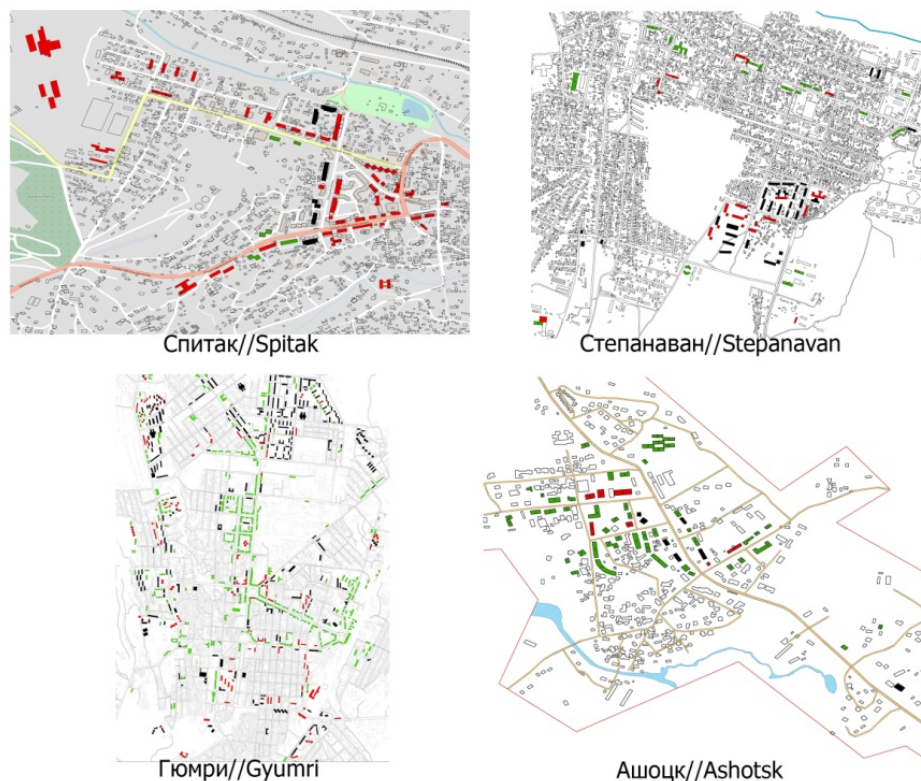


Рис. 1. Карты повреждений зданий некоторых городов Армении вследствие Спитакского землетрясения 1988 г., расположенных в подзонах разной степени разрушений: *сильного* (г. Спитак, $M=9-10$ баллов), *существенного* (Гюмри и Степанаван, 9 баллов), *среднего* (г. Ашоцк, 8 баллов). *Цвет показывает здания:* красный – полностью разрушенные, 5-я степень повреждений; черный – полуразрушенные, 4 степень; зеленый – подлежащие восстановлению, 2 и 3 степень [1].

В [1] указаны основные типы жилых зданий и степень полученных повреждений в зависимости от интенсивности Спитакского землетрясения 1988 г. Очевидно, что многоквартирные каркасно-панельные и многоэтажные каменные здания, а также здания школ и больниц, построенные в 1957–1988 гг., наиболее уязвимы. Основной причиной масштабных разрушений зданий бывшего государственного сектора г. Спитака с проектной сейсмичностью в 7 баллов является 9–10-балльная интенсивность землетрясения (рис. 1), т.к. она отличалась от проектной на 3 балла. В гг. Ленинакан и Степанаван основная причина сильных повреждений зданий другая. Большинство специалистов считают, что причиной являлся их конструктивный тип (они были спроектированы с грубыми нарушениями действующих норм) и низкое качество строительства, несмотря на то, что их проектная сейсмичность была всего на один балл ниже интенсивности Спитакского землетрясения.

При такой разнице опасности, по строительным нормам Армении, допускается повреждение зданий 1–2 степеней, а особыми исследованиями доказано, что в худшем варианте возможны повреждения 3 степени, но не разрушения [1].

Карты сейсмического риска городов зоны Спитакского землетрясения 1988 г. Специалистами сейсмической службы МЧС РА по методике из [1, 3] были составлены карты сейсмического риска 16 городов Армении, расположенных в зоне с $M=7$ и более баллов Спитакского землетрясения 1988 г.

На рис. 2 в качестве примера представлены 5 карт сейсмического риска, а в таблице – некоторые важные данные о сейсмической опасности и риске территории 12 городов. Они использованы для выявления особенностей изменения сейсмического риска.

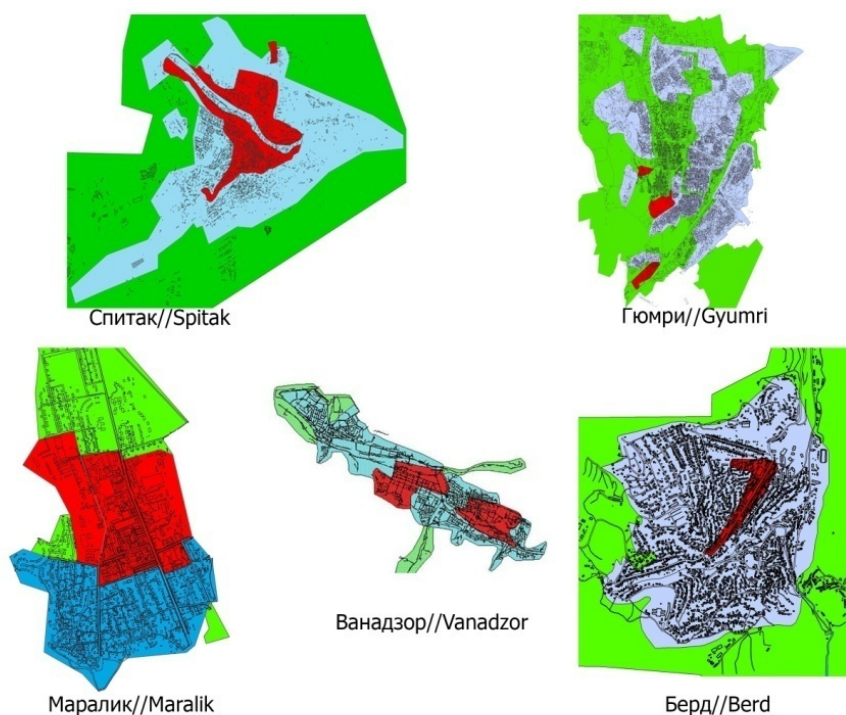


Рис. 2. Карты сейсмического риска повреждений жилых и общественных зданий территории городов Армении, расположенных в зонах разной интенсивности Спитакского землетрясения 1988 г.: Спитак (9–10 баллов), Гюмри (9), Ванадзор (8–9), Маралик (7), Берд (6–7) [1]. Цвет показывает уровень риска: красный – высокий; синий – средний; зеленый – риск отсутствует.

Важные особенности изменения сейсмического риска территории городов восстановленной зоны Спитакского землетрясения 1988 г. По картам сейсмического риска 12 городов [1] и по таблице выделяются следующие общие особенности изменения сейсмического риска:

1. Сейсмический риск территории городов зоны землетрясения с большими разрушениями существенно снижается, основные причины следующие:

- после разрушительного землетрясения города избавляются от не-сейсмостойких зданий, т.к. сильно поврежденные или разрушенные здания демонтируются и сносятся;

- адекватно сейсмической опасности, в том числе новых оценок, строятся новые и усиливаются аварийные здания, иногда усиливаются даже слабо поврежденные здания и сооружения;

- после землетрясения в результате переоценки устанавливаются новые, более высокие уровни сейсмической опасности, пересматриваются нормы сейсмостойкого строительства, методы проектирования зданий и сооружений; более строго контролируется качество строительства, применяются новые технологии и материалы, разрабатываются и внедряются новые методы повышения сейсмостойкости зданий, в результате которых существенно снижается сейсмический риск территории городов.

2. С другой стороны, сейсмическая уязвимость выросла особенно в тех городах, постройки которых не получили существенные и заметные повреждения и остались без внимания. По строительным нормам Армении и многих развивающихся государств разрешается эксплуатация зданий, получивших повреждения 1–2-й степени, что способствует росту риска.

Некоторые показатели сейсмической опасности и риска территории городов зоны Спитакского землетрясения 1988 г.

Город	Средняя интенсивность землетрясения	Процент разрушенной территории	Уровень сейсмической опасности по строительным нормам РА, годы их действия		Площади зон риска (% по отношению к общ. территории города)		
			интенсивность, 1957–1988 гг.	интенсивность (ускорение) 1994–2020 гг.	высокий	средний	низкий
Спитак	9–10	100	7–8	9 и больше (0,4 g)	12	40	48
Гюмри	9	50	8	9 и больше (0,4 g)	8	25	67
Степанаван	9	40	7–8	9 и больше (0,4 g)	3	47	50
Ванадзор	8–9	30	7	9 и больше (0,4 g)	20	40	40
Дилижан	7–8	20	7	9 и больше (0,4 g)	20	65	15
Артик	7–8	10	8	8–9 (0,3 g)	10	50	40
Ташир	7–8	10	7–8	8–9 (0,3 g)	10	30	60
Маралик	7	10	8	8–9 (0,3 g)	20	30	50
Алаверди	7	–	7	8 (0,2 g)	15	50	35
Иджеван	7	–	7	8 (0,2 g)	10	80	10
Ноемберян	6–7	–	6–7	8 (0,2 g)	7	53	40
Берд	6–7	–	6–7	8 (0,2 g)	27	50	23

Заключение. Сейсмический риск территорий городов, особенно развивающихся стран, подвергшихся воздействию разрушительного землетрясения, существенно меняется как вследствие разрушения и повреждения зданий и сооружений, так и восстановления и реконструкции зоны землетрясения.

Как правило, риск городов расположенных в зоне сильных разрушений существенно снижается вследствие демонтажа и сноса сильно

поврежденных, усиления слабо поврежденных построек, а также строительства новых сейсмостойких жилых, общественных и других зданий и линий инфраструктуры города.

Наоборот, повышается сейсмический риск территории тех городов, постройки которых получили слабые и средние повреждения и не были полностью восстановлены. Проблема еще более ухудшается, если по новым нормативам сейсмическая опасность возрастает. Практика показывает, что наиболее часто в развивающихся странах, расположенных в сейсмоактивных регионах, слабо поврежденные постройки по разным причинам (объективным и субъективным) полностью не восстанавливаются.

Поступила 17.11.2022

Получена с рецензии 23.12.2022

Утверждена 26.12.2022

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаретян С.Н. *Сейсмическая опасность и риск территории городов зоны Спитакского землетрясения 1988 г.* Ереван, Гитутюн, НАН РА (2013), 212.
2. Назаретян С.Н., Геворгян М.Р. и др. Динамика изменений сейсмического риска территории большого города во времени, обусловленная уязвимостью многоквартирных зданий (на примере г. Ереван). *Геофизические процессы и биосфера. ИФЗ АН РФ* **21** (2022), 71–85.
<https://doi.org/10.21455/GPB2022.2-4>
3. Nazaretyan S.N. Main Features of the New Methodology for Seismic Risk Assessment of Armenian Cities. *Seismic Instruments* **56** (2020), 317–331.
<https://doi.org/10.3103/S0747923920030093>
4. Dabbeek J., Silva V. Modelling the Residential Building Stock in the Middle-East for Multi-hazard Risk Assessment. *Nat Hazards* **100** (2019), 781–810.
<https://doi.org/10.1007/s11069-019-03842-7>
5. Chávez-García F.J., Monsalve-Jaramillo H., Vila-Ortega J. Vulnerability and Site Effects in Earthquake Disasters in Armenia (Colombia)–Part II: Observed Damages and Vulnerability. Decem. *Natural Hazards and Earth System Sciences* **21** (2020), 2345–2354.
<https://doi.org/10.5194/nhess-21-2345-2021>
6. Riga E., Karatzetzou A., et al. Urban Seismic Risk Model for Resilient Cities. The Case of Thessaloniki. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **410** (2020). Article Number 012107.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/c>
7. Nazaretyan S.N., Nazaretyan S.S. Assessment of the Need for Rescue Forces during Destructive Earthquakes (a Case Study of Armenia). *Seismic Instruments* **57** (2021), 150–162.
<https://doi.org/10.3103/S0747923921020298>
8. Weatherill G, Kotha S.R., Cotton F. Re-thinking Site Amplification in Regional Seismic Risk Assessment. *Earthquake Spectra* **36** (2020), 274–297.
<https://doi.org/10.1177/8755293019899956>
9. Cavalieri F., Franchin P. Seismic Risk of Infrastructure Systems with Treatment of and Sensitivity to Epistemic Uncertainty. *International Journal of Critical Infrastructures* **5** (2020), 103.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures5110103>
10. Nazaretyan S.N., Nazaretyan S.S., Mirzoyan L.B. Some Baseline Data for a Effective Response of Emergency Services in a Seismic Disasters in Southern Caucasus. *Proceedings of Inter. Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”*. Publish House of Tbilisi State University (2019), 36–39.

L. B. ՄԻՐԶՈՅԱՆ, Ս. Ն. ՆԱԶԱՐԵԹՅԱՆ

ԱՎԵՐԻՉ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ (7,5>M>7,0) ԳՈՏՈՒ ՄԵՅՍՄԻԿ ՌԻՍԿԻ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
(Սպիտակի 1988 թ. երկրաշարժի օրինակով)

Ա մ փ ո փ ու մ

Դիտարկվում են ուժեղ երկրաշարժի գոտու սեյսմիկ ռիսկի փոփոխության առանձնահատկությունները՝ կապված ինչպես դրա ավերիչ հետևանքների, այնպես էլ հետևանքների վերականգնման գործընթացների հետ: Այս խնդիրը լավ ուսումնասիրված չէ՝ չնայած դրա կարևորությանը ռիսկերի գնահատման ու նվազեցման համար: Հիմնական նպատակին հասնելու համար խնդիրը դիտարկվում է 1988 թ. Սպիտակի երկրաշարժի ավերման գոտու ռիսկի փոփոխության օրինակով: Առաջարկվում է երկրաշարժի գոտին բաժանել ենթագոտիների՝ հաշվի առնելով շենքերի ավերվածության մասշտաբները, ինչը հնարավորություն է տալիս առավել հուսալիորեն սահմանել ռիսկի փոփոխությունների ընդհանուր և տեղական առանձնահատկությունները: Եզրակացվում է, որ տարբեր պատճառներով մեծ ավերածությունների ենթագոտու քաղաքների տարածքների ռիսկը զգալիորեն կրճատվում է, իսկ միջին և թույլ ավերածությունների ենթագոտում ռիսկը աճում է:

L. B. MIRZOYAN, S. N. NAZARETYAN

PECULIARITIES OF THE SEISMIC RISK OF THE DESTRUCTIVE
EARTHQUAKE ZONE (7.5>M>7.0)
(on example of the 1988 Spitak Earthquake)

Summary

The features of changes in the seismic risk of a zone of a strong earthquake, associated with both its destructive consequences and the processes of recovery of the earthquake zone, are considered. This problem has not been studied enough despite its importance for risk assessment and mitigation. To achieve the main goal, the problem is considered on the basis of the change in the risk of the 1988 Spitak Earthquake zone. It is proposed to divide the earthquake zone into subzones, taking into account the scale of destruction of buildings, which makes it possible to more reliably establish general and local peculiarities of risk changes. It is concluded that for various reasons, the risk of the territory of the cities in the subzone of strong destruction is significantly reduced, and vice versa, it will increase in the subzones of medium and weak destruction.