

УДК 550.34

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

С. Н. НАЗАРЕТЯН^{1*}, Р. А. АРУТЮНЯН^{2**}, Л. Б. МИРЗОЯН^{3***}

¹ Региональная служба сейсмической защиты МВД РА, Ереван, Армения

² Институт геологических наук НАН РА, Армения

³ Кафедра геофизики, инженерной геологии и гидрогеологии ЕГУ, Армения

Основной целью данной статьи является разработка методических подходов и оценка сейсмического риска инфраструктуры территории Армении. Риск оценен с учетом нормативной сейсмической опасности, особенностей строения линии инфраструктуры (высоковольтные линии электроснабжения, трубопроводы газоснабжения высокого давления, магистральные водопроводы, железные и шоссейные дороги, кабели электросвязи) и факторов воздействия на них разрушительного землетрясения. Принимается, что основные факторы воздействия образуются вследствие интенсивных сейсмических колебаний грунта, деформации и перемещения горных масс, а также активизации (образования) опасных геологических явлений. Эти факторы воздействия условно по генезису разделены на две группы: прямые и вторичные (косвенные). Прямые факторы формируются вследствие только колебаний грунта определенной силы (на территории Армении при интенсивности 9–10 баллов по шкале EMS-98) независимо от местных геологических и геоморфологических условий. Вторичные факторы активизируются или образуются также вследствие сейсмических колебаний грунта (необязательно сильных), но на территориях, где развиты опасные сейсмо-гравитационные геологические явления (оползни, обвалы, камнепады и т. п.), и там, где имеются определенные благоприятные условия для перемещение горных масс по склону. Во втором случае землетрясение может служить “пусковым механизмом” для их активизации или образования. К числу этих факторов отнесены разломы и разрывы, оползни, обвалы, камнепады, “искривления” среды, разжижение и просадки грунта и др. При оценке сейсмического риска особое внимание уделено региональным разломам, поверхностным разрывам, оползням и обвалам, которые имеют широкое распространение на территории Армении и существенно повреждают как поверхностные, так и подземные линии инфраструктуры. Дается ареал их распространения с учетом сейсмической интенсивности. При оценке сейсмической уязвимости линии инфраструктуры ведущее место уделено статистическим данным о повреждении магистральных линии в зависимости от интенсивности Спитакского землетрясения 1988 г. В результате проведенных исследований разработаны новые элементы методического подхода и впервые составлена карта сейсмического риска инфраструктуры территории Армении.

* E-mail: snaznssp@mail.ru

** E-mail: roubenhar@web.am

*** E-mail: mirnik6@gmail.com

<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2023.57.3.090>

Keywords: strong earthquake, seismic hazard, infrastructure, vulnerability, risk.

Введение. Сейсмическая уязвимость элементов инфраструктуры (высоковольтные линии электроснабжения, трубопроводы газоснабжения высокого давления, магистральные водопроводы, железные и шоссейные дороги, кабели электросвязи) территории Армении впервые схематично была оценена специалистами в работе [1]. Была составлена первая схематическая карта линий инфраструктуры и зон активных геологических явлений, угрожающих линиям при сильном землетрясении. Была сделана попытка оценить уязвимость линий жизнеобеспечения с учетом сейсмической опасности согласно нормативной карте территории республики 1989 г., а также были составлены: карта расположения магистральных линий инфраструктуры по состоянию на 2002 г., схематическая карта оползней, карты региональных разломов и др. 2002 г. [2]. После публикации этой работы прошло около 20 лет и изменились практически все основы оценки сейсмического риска инфраструктуры: технологии, исходные данные по инфраструктуре, базы данных по опасным геологическим явлениям, уровень сейсмической опасности.

Весьма коротко остановимся на важнейших данных по оценке сейсмического риска инфраструктуры территории Армении.

Первая нормативная карта общего сейсмического районирования (ОСР) территории Армении, в рамках аналогичной карты территории СССР, была введена в действие в 1937 г., а последняя карта – в 2020 г. [3]. Карты ОСР были включены в строительные нормы СССР, а с 1994 г. – Армении. С 1937 г. при проектировании линий инфраструктуры на территории Армении в обязательном порядке учитывались нормативные данные по сейсмической опасности. Однако оказалось, что, согласно всем 7 нормативными картами до 2020 г., уровень сейсмической опасности почти всей территории республики был занижен. Если по первой карте ОСР 1937 г. уровень опасности территории республики оценивался в 6–8 баллов, то с 1989 г. он стал 8, 9 и более баллов [4]. На действующей карте 2020 г. 7-балльная зона вообще исчезла, а опасность оценена в 8 и 9–10 баллов (0,50 g) [3]. Недооценка сейсмической интенсивности на территории РА на величину от 1 до 3 баллов по шкале EMS-98 за 1937–1989 гг. сыграла существенную отрицательную роль в проектировании сейсмостойких сооружений, в том числе элементов инфраструктуры. На рис. 1 представлена схема средних значений занижения сейсмической интенсивности в сейсмических зонах на нормативных картах за 1957–1989 гг. по отношению к карте ОСР 2020 г. Выделенный период времени отличается тем, что именно за этот период велось строительство основного количества линий инфраструктуры Армении.

За последнее десятилетие были выполнены важные работы по исследованию активных разломов и геологических явлений, которые сильно влияют на сейсмический риск инфраструктуры. Новая карта сейсмогенных региональных разломов, оценка их активности с учетом сейсмического потенциала [5], созданные базы данных по оползням [6], изучение геотехнических последствий Спитакского землетрясения [1] и другие весомые данные для переоценки

риска. Появились новые подходы и методы оценки сейсмического риска линий инфраструктуры. Их усовершенствование и адаптация для условий Армении (с учетом сейсмических, геологических, геоморфологических и др.) позволят составить наиболее полную и надежную карту риска.

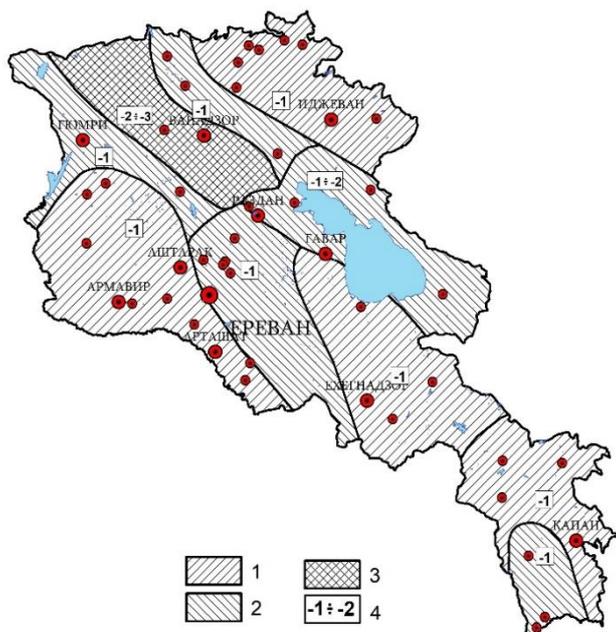


Рис. 1. Нормативная карта сейсмической опасности территории РА 2020 г. [3] с указанием средних значений занижения интенсивности по нормативным картам ОСР за 1937–1989 гг. Зоны сейсмической опасности в горизонтальных ускорениях грунта (интенсивность в баллах по шкале EMS-98):

- 1 – 0,30 g (8 баллов);
- 2 – 0,40 g (9 баллов);
- 3 – 0,50 g (> 9, до 10 баллов);
- 4 – средний балл “недооценки” уровня интенсивности в сейсмических зонах.

Весьма важно и достаточно сложно оценить сейсмическую уязвимость основных элементов инфраструктуры, т.к. на нее сильно влияют множество факторов, таких как качество проектирования и строительства, возраст, сохранение правил эксплуатации и др.

Основной целью данной работы является разработка подходов для оценки риска инфраструктуры территории Армении с учетом местных особенностей и составление карты риска линии инфраструктуры территории республики.

Основные задачи для достижения этой цели следующие:

- сбор данных о линиях инфраструктуры территории РА;
- сбор литературных сейсмологических и геологических данных об активных геологических явлениях, угрожающих линиям инфраструктуры;
- создание базы данных для оценки риска инфраструктуры по ГИС-технологиям;
- составление наиболее полного списка факторов, влияющих на сейсмическую уязвимость инфраструктуры РА;
- разработка подходов оценки сейсмической уязвимости линий инфраструктуры на основе известных методов и статистических данных о последствиях Спитакского землетрясения 1988 г.;
- оценка сейсмической уязвимости магистральных линий инфраструктуры Армении и составление карты сейсмического риска территории РА.

Исходные данные и методика оценки сейсмического риска территории Армении. В работе использованы многочисленные исходные данные, наиболее важные из которых следующие:

- данные о линиях инфраструктуры РА, собраны из интернета, а также из литературных источников [1, 2];
- нормативная карта сейсмической опасности территории РА 2020 г. [3];
- карты региональных разломов территории Армении и сопредельных стран [5];
- данные об оползнях на территории РА [6];
- данные о последствиях разрушительных землетрясений мира и особенно Спитакского землетрясения 1988 г. [7–9].

Для оценки сейсмического риска инфраструктуры РА был разработан методический подход на основании сейсмологических, геологических и геоморфологических особенностей и инфраструктуры территории Армении, а также основных факторов воздействия землетрясения на сейсмическую уязвимость линий инфраструктуры. Основная трудность в методике заключается в выявлении факторов воздействия землетрясения на инфраструктуру и в оценке уязвимости каждой линии. Сложность оценки уязвимости заключается в том, что она зависит от многих сейсмологических и геологических условий, от данных о техническом состоянии инфраструктуры и др., которые часто отсутствуют или низка их надежность. Обычно в таком случае во избежания сложностей и грубых ошибок лучше применить статистические данные о повреждениях инфраструктуры вследствие сильных землетрясений данной территории. При таком методическом подходе, скорее всего, возможна качественная оценка сейсмического риска инфраструктуры.

В работе также широко использованы известные методы оценки уязвимости сооружений, статистической обработки исходных данных, составления карт компонентов риска и т.п.

Базы данных для оценки риска и карты составлены с использованием ГИС-технологии.

Инфраструктура территории Армении. Коротко рассмотрим важнейшие черты транспортных линий и линий жизнеобеспечения Армении и их социальное значение при землетрясении с $M \geq 6,0$ (8 баллов и больше).

Железные дороги проходят через разные сейсмические зоны и имеют для республики важное значение. Сейсмическая уязвимость высока особенно на севере Армении, где больше угроза оползней, обвалов и сейсмогенных разрывов. Прямые потери при землетрясениях здесь могут быть большими вследствие разрушения крупных мостов и тоннелей. Высоки ее краткосрочные социальные потери, т. к. большинство необходимых для жизнеобеспечения товаров и материалов (зерно, нефтепродукты) поступают в Армению по железной дороге через Грузию.

Шоссейные дороги республиканского значения в основном имеют высокий риск в горных районах севера и юга Армении, он обусловлен потенциальной угрозой от обвалов и оползней. Возможные прямые материальные потери по шоссе дорогам небольшие, но социальные краткосрочные потери могут быть намного большими, т.к. сообщение со многими районами республики осуществляется только по шоссе дорогам.

Линии газоснабжения высокого давления для Армении имеют весьма важное значение, т.к. уровень газификации очень высок. Около 95% населения снабжается газом и для выработки большей части электроэнергии республики тоже используется газ, основная часть автомобилей и автобусов работают на газе. При разрушительном землетрясении прямые потери при выходе из строя линий газоснабжения небольшие, но возможные краткосрочные и долгосрочные социальные потери и потери доходов могут быть очень большими. Сейсмическая уязвимость магистральных линий газоснабжения высока особенно на севере и юге Армении.

Высоковольтные линии электроснабжения в основном воздушные. Они могут выйти из строя вследствие сильных сотрясений, а местами – из-за обвалов и оползней. В этом случае материальные потери средние, что в основном обусловлено выходом из строя трансформаторных станций. Социальные потери и потери дохода для промышленно развитых районов высокие. Но быстрое восстановление поврежденных участков не представляет трудности. Риск разрушения линий электроснабжения больше в эпицентральных зонах сильных землетрясений (на северо-западе, юге Армении и в пределах Арагатской долины).

Линии электросвязи (телефонные магистральные линии, оптоволоконные кабели интернета) в Армении проведены в основном подземно и, как правило, проходят вдоль шоссежных дорог. Развита сотовая телефонная связь и интернет, для чего используются антенные системы и оптико-волоконные кабели. Прямые потери при выходе из строя этих линий вследствие сильного землетрясения невелики, но социальные потери – большие. Уязвимость кабельных и воздушных линий в основном высокая в районах оползней и обвалов. К сожалению, оборудование современных видов электросвязи сейсмически уязвимо. То же касается практически всего оборудования автоматических телефонных станций и зданий их расположения. Если кабельные линии уязвимы в зонах активных геологических процессов, то оборудование для обеспечения работы сотовой связи и интернета в большинстве случаев установлено на уязвимых высотных зданиях. Вероятность, что при сильных сотрясениях население будет лишено этих видов связи, высокая.

Линии водоснабжения населенных пунктов (городов) имеют относительно небольшую протяженность (до 50–60 км), вода поступает или из родников, или из артезианских скважин. Обычно крупные города получают воду по трубопроводам, расположенным в нескольких направлениях (например, основная часть питьевой воды в г. Ереван поступает по 13 трубопроводам со всех сторон). При землетрясении с интенсивностью 9–10 баллов из строя выйдут большинство водопроводов. Социальные потери, если отсутствуют другие пути водоснабжения, очень высокие, а прямые потери – низкие. Более уязвимы насосные, хлораторные станции, водозаборные бассейны.

Факторы воздействия землетрясения на инфраструктуру и оценка уязвимости ее элементов. Известно, что уязвимость инфраструктуры высока в зонах сильных сотрясений, активных геологических явлений, на границах грунтов с разными физико-механическими свойствами и т.п. [2, 7]. Инфраструктура территории Армении в основном повреждается вследствие сильных

сотрясений грунта и активизации таких геологических явлений как разломы, оползни, обвалы, камнепады, разжижения и просадки грунта и т.п.

Разрушительное землетрясение воздействует на инфраструктуру из-за факторов, которые образуются вследствие:

➤ сильных колебаний грунта и остаточных деформаций среды на поверхности или в приповерхностном слое земной коры. Условно эту группу факторов назовем прямыми факторами, т.к. они формируются независимо от наличия приповерхностных активных геологических явлений;

➤ активизации (образовании) опасных геологических явлений на земной поверхности вследствие землетрясений на территориях, где развиты опасные геологические явления (вторичные или косвенные факторы).

Группа прямых факторов образуется вследствие распространения сейсмических волн и перемещений горных масс. Эти факторы формируются на земной поверхности и в приповерхностном слое в зоне сильных землетрясений как последствия остаточных, а иногда, пластических деформаций грунта. К числу факторов этой группы относятся: региональные и другие разломы, разрывы разного типа, просадки грунта, “искривление” среды, “разжижение” грунта вследствие вибрации. Во время сильного землетрясения возникают также другие прямые факторы, такие как зазоры шириной до несколько сантиметров между рыхлыми и скальными грунтами, “извержение” песчаной пульпы на поверхность по трещинам, возникновение электрических “искр” в зоне основного сейсмогенного разлома и др., которые заметно не влияют на линии инфраструктуры. Прямые факторы образуются всегда, независимо от геологических и геоморфологических условий при определенной интенсивности землетрясения и глубине очага. Они воздействуют на все разновидности инфраструктуры в основном в эпицентральной зоне разрушительного землетрясения, но не имеют масштабного распространения.

Вторичные (косвенные) факторы или опасные вторичные геологические последствия землетрясения образуются при наличии благоприятных условий, когда в результате колебаний грунта происходит перемещение горных масс по склону, т.е. землетрясение может служить “пусковым механизмом” для их образования. Для образования таких факторов необходимы некоторые геолого-геоморфологические условия, особенно наличие неустойчивых склонов. Даже в эпицентральной зоне сильного землетрясения, если отсутствуют эти условия, вторичные факторы не образуются. К числу вторичных факторов на территории Армении относятся: оползни, обвалы, просадки грунта, камнепады. Они образуются вследствие смещения масс горных пород под воздействием сейсмических колебаний и собственного веса на склонах. Многие специалисты эту группу факторов включают в единую группу под названием сейсмо-гравитационные образования.

Ряд факторов, таких как разрывы, просадка грунта, “искривление” среды и т.п., встречаются в обеих группах, поэтому иногда кажется, что нецелесообразно разделять их на прямые и вторичные группы по происхождению. Однако такое разделение важно с точки зрения *прогнозирования* их возникновения, т.к. сейсмо-гравитационные образования могут возникать только на неустойчивых склонах (или в зонах развития таких явлений) даже при сейсмической интенсивности землетрясения в 7–8 баллов [1].

Таблица 1

Некоторые данные о геотехнических последствиях Спитакского землетрясения 1988 г. в зоне с интенсивностью 8–10 баллов [1]

<p>Образованные сейсмогенные разломы на дневной поверхности длиной 10–11 км с вертикальной амплитудой до 2 м и горизонтальной – 1 м. Раздробление рыхлого покровного слоя над сейсмогенных разломов шириной 10–15 м. Возвратно-поступательные столкновения рыхлых и скальных грунтов и образование зазора между ними порядка 20 см. Извержение песчаной пульпы на поверхность по трещинам. Деформации сжатия грунтов при разломной зоны шириной до 500 м по его обем сторонам.</p>	<p>В зоне с интенсивностью 9–10 баллов, площадью около 800 км².</p>	<p>Сильное повреждение линий водо-, тепло- и газоснабжения. Повреждение около 600 км автодорог, 10 км железной дороги, 80 км линий электропередачи. Разрушение участка железной дороги длиной 220–230 м вследствие оползней и разжижения грунтов насыпной части дороги.</p>
<p>Образование или активизация крупных оползней с перемещением горных масс весом до 2–3 млн т по склону ~20° на расстояние 50–100 м. Образование оврагов с глубиной до 25 м, шириной до 50 м и длиной 200–350 м.</p>	<p>В эпицентральной зоне с интенсивностью 10 баллов с площадью около 350 км².</p>	<p>Выход из строя высоковольтных линий электроснабжения. Повреждение грунтовых автомобильных дорог. Повреждение плотины недостроенного водохранилища.</p>
<p>Многочисленные камнепады с объемом скатывающихся с высоты камней до 6–10 м³. Образование зоны капиллярного насыщения с высотой 0,8–1,0 м в насыпях железной дороги. Образование оползней, разжижение грунтов. Образование трещин шириной до 40–50 см и длиной несколько метров.</p>	<p>В зоне с интенсивностью 9–10 баллов с площадью около 800 км².</p>	<p>Образование отступов на асфальтовом покрытии дороги величиной до 20 см. Образование трещин и серьезные повреждения асфальтового покрытия дороги. Ограждение движения автомобилей вследствие камнепадов, обвалов и оползней. Выход из строя телефонной связи в 117 населенных пунктах. Сильное повреждение воздушных кабельных линий городов по сравнению с подземными линиями.</p>
<p>Вертикальные сотрясения грунта с амплитудой 1 см и больше.</p>	<p>В зоне землетрясения 8–9 баллов с площадью около 1800 км².</p>	<p>Выход из строя кабельных и наземных линии жизнеобеспечения практически во всех городах, где интенсивность составляла 9 баллов. При 8-балльных сотрясениях такие повреждения были незначительные. Только в г. Гюмри (9 баллов) вышли из строя: 316 электрических подстанций; все насосные станции водоснабжения; 170 км водопровода (из 343 км); большая часть очистных и хлораторных станций; 70% их оборудования, 80% внешней системы теплоснабжения. Были устранены 2000 аварий водопровода, 1927 закупорок канализации и др.</p>

Таблица 2

Оценочные данные по повреждениям инфраструктуры Армении при интенсивности землетрясений в 8–10 баллов, составленные на основе обобщения данных по Спитакскому землетрясению 1988 г. [1, 2]

Линии жизнеобеспечения	Уровень повреждений при интенсивности землетрясения		
	8 баллов	9 баллов	10 баллов
Водоснабжения	слабый	средний	сильный
Высоковольтные линии электроснабжения	слабый	средний	сильный
Трубопроводы газоснабжения высокого давления	слабый	сильный	сильный
Кабельные линии электросвязи	слабый	сильный	сильный
Железные дороги	слабый	слабый	средний
Шоссейные дороги	слабый	слабый	средний

Такие опасные геологические явления, как разжижения и зоны просадки грунта, широкого распространения на территории Армении не имеют, поэтому в данной работе их влияние на инфраструктуру не учитывается.

Вследствие факторов воздействия на инфраструктуру повреждаются как подземные (трубопроводы, кабели), так и наземные линейные элементы инфраструктуры (трубопроводы, железные и шоссеиные дороги, воздушные линии электроснабжения).

С учетом того, что уязвимость инфраструктуры зависит от многих параметров, таких как техническое состояние, возраст, материал, инженерно-геологические и геоморфологические условия и др., которые трудно найти или они просто отсутствуют, остается качественно определять уязвимость элементов инфраструктуры в зависимости от интенсивности землетрясения. Для этого наиболее эффективно использовать статистические данные о геотехнических последствиях сильных землетрясений, желательны на данной территории. В данной работе в качестве тестового землетрясения взято Спитакское землетрясение 1988 г. По статистическим данным этого землетрясения (табл. 1, 2), линии инфраструктуры получали заметные повреждения при сотрясениях начиная с 8 баллов, а активные геологические явления проявлялись и причиняли серьезные повреждения линиям в основном при интенсивности 9 баллов и более [1]. Эти статистические данные использованы при оценке сейсмической уязвимости линий инфраструктуры.

Для оценки сейсмического риска линий инфраструктуры Армении сопоставлены карты расположения основных линий инфраструктуры и наиболее важных факторов воздействия землетрясения на них (рис. 2). Очевидно, что в разных районах Армении уровень опасности этих явлений разный и сильно зависит от местных геологических и геоморфологических условий.

Особое геополитическое положение Армении, отличное от общепринятых схем, определяет важность разных типов линий инфраструктуры. В табл. 3 даны оценки их социальной важности опираясь на методику, изложенную в работах [7, 8].

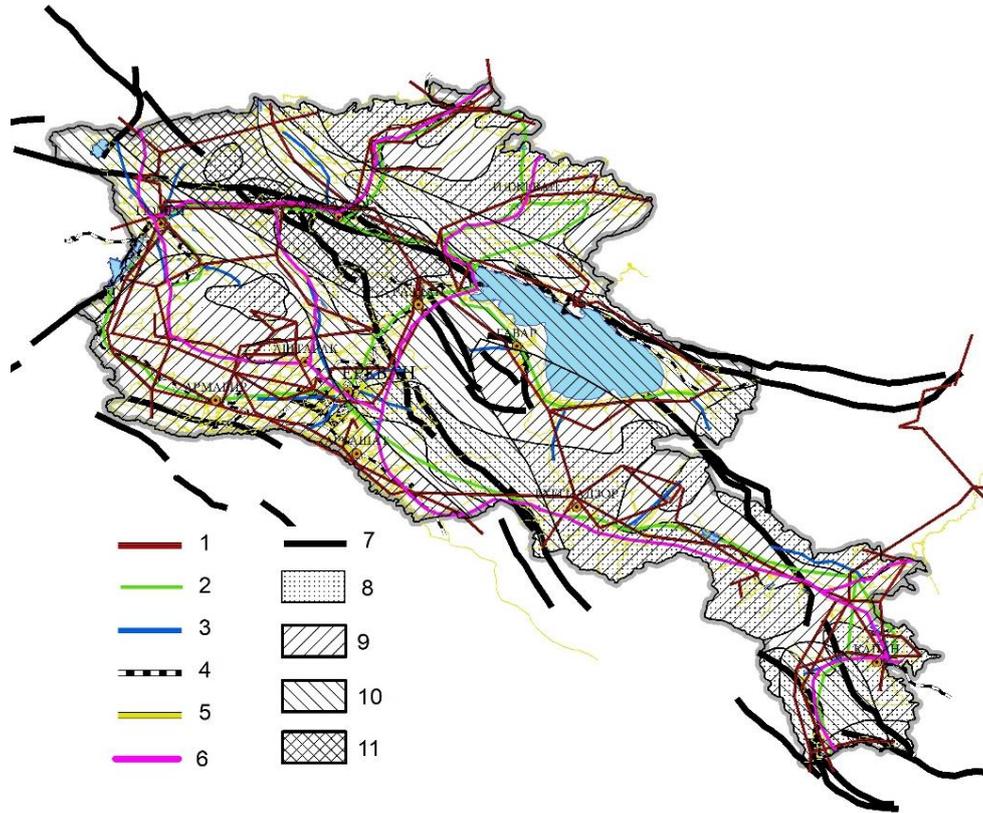


Рис. 2. Схематическая карта инфраструктуры (инженерные и транспортные магистральные линии жизнеобеспечения) территории Армении и факторов воздействия землетрясения. Условные обозначения. Линии инфраструктуры: 1) высоковольтные линии электропередачи; 2) линии газоснабжения высокого давления; 3) магистральные водопроводы; 4) железные дороги; 5) шоссейные дороги республиканского значения; 6) кабельные линии электросвязи. Опасные геологические явления: 7) региональные разломы [5]; 8) зоны густого скопления оползней и обвалов (составлены на основе карты оползней [6]). Сейсмические зоны со значениями ожидаемых ускорений (в скобках интенсивность): 9) 0,30 g (8 баллов); 10) 0,40 g (9 баллов); 11) 0,50 g (> 9, до 10 баллов) [3].

Таблица 3

Оценки социальной важности инфраструктуры территории РА
(Н – высокая, М – средняя, L – низкая)

Линии инфраструктуры	Прямые потери	Социальная важность		Потери доходов
		кратко-временная	долго-временная	
Водоснабжения	L	Н	Н	М
Газоснабжения	L	Н	Н	Н
Электросвязи	L	Н	Н	Н
Электроснабжения	М	Н	Н	Н
Автомагистрали	L	Н	М	М
Железные дороги	М	Н	М	М

Зоны и время воздействия факторов на инфраструктуру в зависимости от интенсивности землетрясения. Для планирования и организации работ по восстановлению поврежденных инфраструктуры сразу после разрушительного землетрясения, без их исследований на месте, необходимо иметь общее представление о наиболее пострадавших районах и о масштабах последствий. В зависимости от многих геологических, сейсмологических и других местных условий последствия разрушительного землетрясения бывают различные. Наиболее важным общим и стабильным параметром для всех землетрясений при составлении схематической прогнозной карты поврежденной инфраструктуры на основе факторов воздействия является его интенсивность и особенно карта его проявления на дневной поверхности. Учитывая это обстоятельство, необходимо сразу после землетрясения в первом приближении определить масштабы бедствия и выделить основные зоны повреждения инфраструктуры с помощью карты изосейст происшедшего землетрясения. Причем, предварительная карта изосейст составляется оперативно с помощью моделей изосейст данной магнитуды (с учетом глубины гипоцентра) для данного региона [1]. В дальнейшем эта карта уточняется на основе результатов полевых макросейсмических исследований, т. к. она необходима для организации спасательных и восстановительных работ. В данной статье в качестве примера предлагается провести составление карты зон вероятных повреждений инфраструктуры на основе карты изосейст Спитакского землетрясения 1988 г. (рис. 3) [1, 10]. Из табл. 2 следует, что заметные повреждения элементов инфраструктуры начинаются при интенсивности землетрясения 8 баллов и больше. При 9–10-балльной интенсивности во многих развивающихся странах разрушения имеют большие масштабы [2, 7, 10].

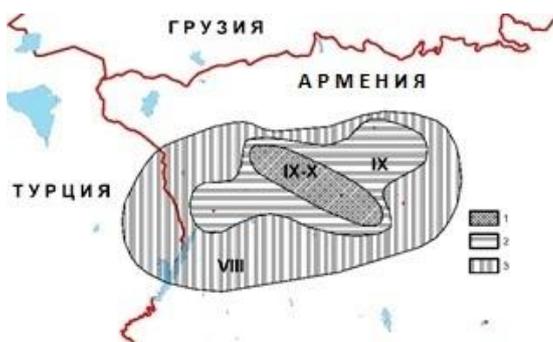


Рис. 3. Схематическая карта зон вероятных повреждений инфраструктуры разрушительного землетрясения в зависимости от интенсивности: 1) сильного; 2) среднего; 3) слабого повреждений.

На основе карты изосейст можно приблизительно определить районы (в дальнейшем зоны) с разной степенью повреждения инфраструктуры. Исходя из нашего опыта, можно территорию воздействия землетрясения на инфраструктуру по степени и масштабу повреждений линий разделить на 3 зоны (рис. 3): 1) сильного повреждения – 9–10 баллов; 2) среднего повреждения – 9 баллов; 3) слабого повреждения – 8 баллов. Такое разделение зоны землетрясения поможет более оперативно и рационально организовать восстановительные работы. Окончательное уточнение границ зон повреждений инфраструктуры происходит после исследований на месте.

Факторы воздействия на инфраструктуру проявляются в основном во время основного события (землетрясения), которое для разрушительных землетрясений ($M = 7,0-7,5$) длится в среднем 20–40 с. В большинстве случаев землетрясения такой силы имеют афтершоковый период с длительностью в несколько лет, в течение которого происходят тысячи афтершоков, в том числе и с $M = 5$ и больше. Они могут способствовать активизации ряда факторов воздействия, особенно таких как оползни, обвалы, которые “подошли к критической границе” движения масс. Тогда сильные афтершоки могут служить “пусковым механизмом” для их активизации.

Карта сейсмического риска инфраструктуры Армении. С учетом того, что магистральные линии газоснабжения высокого давления, воздушные линии электропередачи 100 кВ и больше, кабельные линии электропередачи, в том числе оптико-волоконные, водопроводы питьевой воды, шоссейные и железные дороги в основном повреждаются как вследствие сильных сотрясений грунта, так и при активизации геологических явлений в зонах 8–9 и больше баллов ($g = 0,30-0,50$), в основу составления карты положены обе группы факторов (рис. 2), которые тесно связаны с сейсмической интенсивностью.

Конечно, факторов, влияющих на риск инфраструктуры территории Армении, много, но при составлении карты риска одновременно учтены и уровень сейсмической опасности, и влияние следующих важных факторов.

1. Активные региональные разломы с сейсмическим потенциалом $M \geq 6,5$ с определенной зоной охвата горизонтальных ускорений грунта величиной $g \geq 0,3$. Ширина зоны распространения данного ускорения определена согласно модели затухания [11]. Линии инфраструктуры повреждаются вследствие выхода разрыва на поверхность и при деформации грунта. Необходимо отметить, что прямой ущерб, нанесенный линиям инфраструктуры от сейсмических сотрясений, небольшой и немасштабный. Часто он имеет локальный характер.

2. Во время сильного землетрясения образуются многочисленные поверхностные разломы и разрывы. Они в основном появляются в эпицентральной зоне и в близких к ней территориях. Причем, в эпицентральной зоне для их образования не обязательно наличие склонов. Разрывы и разломы могут повредить трубопроводы, подземные кабельные линии, железные дороги.

3. С учетом того, что сейсмо-гравитационные образования в основном происходят в известных оползневых зонах, в качестве потенциально опасных районов взяты зоны сгущения оползней, составленные на основе карты с более чем 3500 оползнями [6] (рис. 3). Масса и размеры сейсмо-гравитационных образований в прямую зависят от интенсивности сейсмических сотрясений и устойчивости склонов. С учетом только величины ожидаемых ускорений грунта на территории республики, уровень сейсмического риска в оползневых зонах оценен выше, чем в зонах, где оползни широко не распространены. Понятно, что опасные геологические явления происходят и без сейсмических воздействий, например под влиянием экзогенных процессов или вследствие человеческой деятельности. Но такое влияние на сейсмический риск не учитывается. Поэтому при оценке сейсмического риска повреждений линии

инфраструктуры территории Армении учтены и величина сейсмической опасности, и наличие прямых и вторичных факторов воздействия.

4. При минимальной опасности для территории Армении (0,30 g или 8 баллов) возможны незначительные повреждения инфраструктуры. Следовательно, на территории республики исключаются зоны отсутствия риска повреждений магистральных линий жизнеобеспечения, т. е. уровень минимального риска будет “низкий”.

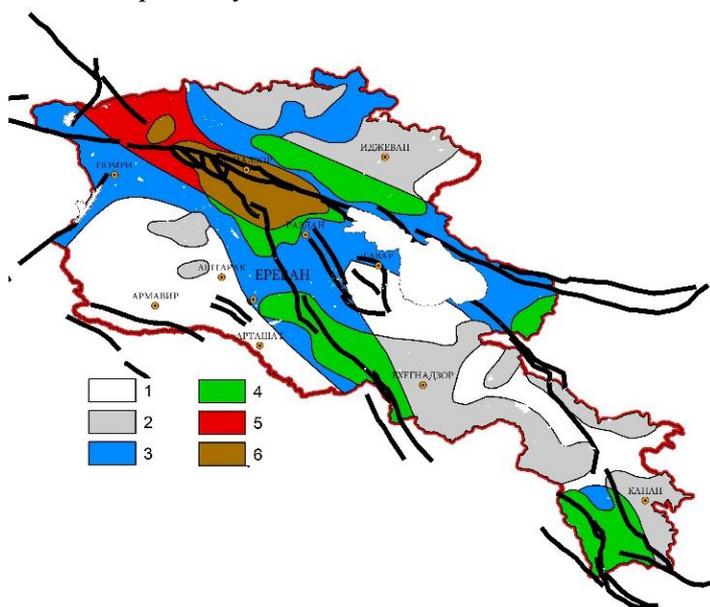


Рис. 4. Карта сейсмического риска повреждений инфраструктуры территории Армении.

Зоны риска:

- 1 – низкий;
- 2 – ниже среднего;
- 3 – средний;
- 4 – выше среднего;
- 5 – высокий;
- 6 – высочайший.

Исходя из вышеизложенного, на составленной карте сейсмического риска инфраструктуры территории Армении выделены следующие шесть зон риска (рис. 4).

Высочайший риск – зона с сейсмической интенсивностью больше 9 до 10 баллов (0,40–0,50 g), где сейсмо-гравитационные образования (оползни, обвалы, камнепады) имеют широкое распространение.

Высокий риск – зона с сейсмической интенсивностью больше 9 до 10 баллов (0,40–0,50 g), где сейсмо-гравитационные образования не имеют широкого распространения.

Риск выше среднего – зона с интенсивностью 9 баллов (0,40 g), где сейсмо-гравитационные образования имеют широкое распространение.

Риск ниже среднего – зона с интенсивностью до 8 баллов (0,30g), где сейсмо-гравитационные образования имеют широкое распространение.

Средний риск – зона с сейсмической интенсивностью 9 баллов (0,40 g), где сейсмо-гравитационные образования не имеют широкого распространения.

Низкий риск – зона с сейсмической интенсивностью до 8 баллов (0,30 g), где практически отсутствуют сейсмо-гравитационные образования.

Таким образом, по разработанному методическому подходу была составлена первая карта сейсмического риска инфраструктуры территории Армении. Основные показатели зон риска приведены в виде таблицы (табл. 4),

из которой следует, что уровень сейсмического риска инфраструктуры высокий на севере и юге республики.

Таблица 4

Площади зон основных компонентов сейсмического риска инфраструктуры территории Армении

Уровень риска	Площадь зон риска инфраструктуры, тыс. км ²
Высочайший	1,7
Высокий	1,2
Выше среднего	4,1
Средний	8,2
Ниже среднего	6,5
Низкий	8,1

Рекомендации по снижению сейсмического риска инфраструктуры территории Армении. Рекомендуются следующие основные меры для снижения высокого сейсмического риска для линий инфраструктуры:

1. Подробно исследовать тектонические, инженерно-геологические и сейсмические условия вдоль важнейших линий инфраструктуры Армении с целью выявления опасных сейсмо-гравитационных образований, оценить их устойчивость и сейсмический риск.

2. Адаптировать для условий Армении и применять известные противооползневые инженерные меры для снижения уязвимости важнейших линий инфраструктуры. Важно учесть влияние человеческого фактора на активизацию сейсмогравитационных образований, т. к. опыт за последние 30 лет показывает, что активизация большинства крупных оползней республики с повреждением инфраструктуры происходила вследствие необдуманной деятельности людей.

3. Как мера безопасности, проведение социально важных линий инфраструктуры (например железной дороги) с высоким сейсмическим риском по участкам, обходящим зоны сложных оползней или других инженерно-геологических опасных явлений, если противооползневые меры неэффективны.

4. Повышение сейсмостойкости некоторых линий инфраструктуры адекватно сейсмической опасности, согласно строительным нормам 2020 г.

5. Разработка и реализация проектов для проведения дополнительных социально важных линий инфраструктуры (водоснабжения, электроснабжения и электронной связи) крупных городов с учетом новых сейсмических, сеймотектонических, инженерно-геологических и экологических данных территории Армении.

Заключение. В работе разработаны новые методические подходы для оценки сейсмического риска важных линейных элементов инфраструктуры территории Армении и впервые составлен наиболее полный список факторов влияния сильного землетрясения на инфраструктуру. Составлена также первая карта сейсмического риска инфраструктуры территории Армении.

1. Из карты сейсмического риска инфраструктуры Армении следует: больше половины территории имеет средний и высокий риск, эти зоны расположены в основном на севере и юге; низкий риск имеет лишь 28% территории – это зоны, совпадающие с горными районами высотой 2400 м, где отсутствуют населенные пункты, и с территориями озер и больших водохранилищ.

2. Особое геополитическое положение Армении, отличное от общепринятых схем, определяет важность разных типов линий инфраструктуры. Высока краткосрочная социальная важность всех элементов без исключения. С точки зрения потери доходов при разрушительном землетрясении, то высоко значение линий газоснабжения, электроснабжения и электросвязи (особенно оптоволоконных кабелей интернета), при выходе из строя которых потери государства будут большие.

3. В настоящее время правительством РА выполняются несколько программ по строительству и реконструкции шоссейных дорог республиканского и местного назначения. Необходимо разработать программы по снижению сейсмического риска остальных элементов инфраструктуры.

Поступила 06.12.2023

Получена с рецензии 12.12.2023

Утверждена 15.12.2023

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаретян С.Н. *Сейсмическая опасность и риск территории городов зоны Спитакского землетрясения 1988 г.* Ереван, изд-во “Гитутюн” НАН РА (2013), 212 с.
2. Назаретян С.Н., Мирзоян Л.Б. Татевосян Л.К. *Сейсмический риск линий жизнеобеспечения территории Армении.* Сб. науч. трудов конференции, посвященной 60-летию основания НАН РА. Ереван, изд-во “Гитутюн” НАН РА (2004), 121–128.
3. *Нормы проектирования сейсмостойкого строительства.* Ереван (2020), 93.
https://www.e-draft.am/files/project_file/1/1580564429646.pdf
4. Nazaretyan S.N., Mirzoyan L.B., et al. Main Causes and Features of Selsmic Hazard Assessment in the Territory of Armenia According to Building Codes. Proceedings of ISC “Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes”. Georgia, Tbilisi (2023), 10–13.
<http://openlibrary.ge/handle/123456789/10399>
5. Karakhanian A., Arakelyan A., et al. Aspects of the Seismotectonics of Armenia: New Data and Reanalysis. USA, CO, Boulder, *Geological Society of America* **525** (2016), 1–32.
[https://doi.org/10.1130/2016.2525\(14\)](https://doi.org/10.1130/2016.2525(14))
6. Matossian A., Baghdasaryan H., et al. A New Landslide Inventory for the Armenian Lesser Caucasus: Slope Failure Morphologies and Seismotectonic Influences on Large Landslides. *Geosciences* **10** (2020), 111.
<https://doi.org/10.3390/geosciences10030111>
7. Ho C.L., Haji-Hamou T.A., Nilsson M. AIS Based Zonation on Infrastructure Damage Related to Seismically Triggered Landslide Risk. *Proc. of conf. Seismic Zonation, Nice, Franc.* **1** (1995), 142–149.
8. Баласанян С.Ю., Назаретян С.Н., Амирбебян В.С. *Сейсмическая защита и ее организация.* Гюмри, Эльдорадо (2004), 438.
9. Jibson R.W. *Earthquake Predicting-Indused Landslide Displasments Using New Marks Sliding Analisis.* Transportation Research Board 72-nd Annual Meeting. Preprint 930182 (1993), 1–15.

10. Nazaretyan S.N. Main Features of the New Methodology for Seismic Risk Assessment of Armenian Cities. *Seismic Instruments* **56** (2020), 317–331.
<https://link.springer.com/article/10.3103/S0747923920030093>
11. *Probabilistic Seismic Hazard Assessment for the Republic of Armenia (a Guide to the Contents of Technical Interim Report # 2*. Submitted to the World Bank Group) AIR Worldwide Corporation. The Global Earthquake Model Foundation, GEORISK Scientific Research CJSC (2017), 32.
<https://data.opendata.am/dataset/sustc-979>

Ս. Ն. ՆԱԶԱՐԵԹՅԱՆ, Ռ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Լ. Բ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏԱՐԱԾՔԻ ԵՆԹԱԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ
ՍԵՅՄՄԻԿ ՌԻՍԿԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Սույն հոդվածի հիմնական նպատակն է մշակել մեթոդաբանական մոտեցումներ և գնահատել Հայաստանի տարածքի ենթակառուցվածքի գծերի (բարձրավոլտ էլեկտրամատակարարման գծեր, բարձր ճնշման գազամատակարարման խողովակաշարեր, հիմնական ջրագծեր, երկաթուղիներ և մայրուղիներ, հեռահաղորդակցության մայրուղիներ) սեյսմիկ ռիսկը: Ռիսկը գնահատված է՝ հաշվի առնելով սեյսմիկ վտանգը, ենթակառուցվածքի գծերի առանձնահատկություններն ու դրանց վրա ավերիչ երկրաշարժի ազդող գործոնները: Ազդող գործոնները, ըստ ծագումնաբանության, պայմանականորեն բաժանվել են երկու խմբի՝ ուղիղ և երկրորդային (անուղղակի): Ուղիղ գործոնները ձևավորվում են միայն բնահողի որոշակի ուժգնության տատանումների արդյունքում (Հայաստանի տարածքում 9–10 բալ ուժգնության, ըստ EMS-98 սանդղակի)՝ անկախ տեղային երկրաբանական և երկրաձևաբանական պայմաններից: Երկրորդային գործոնները ակտիվանում կամ առաջանում են բնահողի սեյսմիկ տատանումների արդյունքում (պարտադիր չէ ուժեղ), բայց այն տարածքներում, որտեղ զարգացած են վտանգավոր սեյսմագրավիտացիոն երկրաբանական առաջացումները (սողանքներ, փլուզումներ, քարաթափումներ և այլն) կամ առկա են որոշակի բարենպաստ պայմաններ լանջերով ապարների զանգվածների տեղաշարժի համար: Երկրորդ դեպքում՝ երկրաշարժը կարող է «թողարկման մեխանիզմի» դեր խաղալ վտանգավոր երկրաբանական երևույթների ակտիվացման կամ ձևավորման համար: Այդ գործոններից են՝ բեկվածքներն ու խզվածքները, սողանքները, փլուզումները, քարաթափումները, բնահողի հեղուկացումն ու նստեցումը և այլն: Տրվում է դրանց առաջացման տարածքը՝ հաշվի առնելով երկրաշարժի ուժգնությունը: Սեյսմիկ ռիսկը գնահատելիս հատուկ ուշադրություն է դարձված տարածաշրջանային բեկվածքներին, մակերևութային խզվածքներին, սողանքներին և փլվածքներին, որոնք լայնորեն տարածված են Հայաստանում և զգալի վնաս են հասցնում ինչպես վերգետնյա, այնպես էլ ստորգետնյա ենթակառուցվածքի գծերին: Ենթակառուցվածքի գծերի սեյսմիկ խոցելիությունը գնահատելիս առաջնային տեղ է հատկացված 1988 թվականի Սպիտակի երկրաշարժի ուժգնությունից կախված դրանց վնասվելու վիճակագրական տվյալներին:

Հետազոտությունների արդյունքում մշակվել են մեթոդաբանական մոտեցումների նոր տարրեր և դրանց հիման վրա կազմվել է Հայաստանի տարածքի ենթակառուցվածքի գծերի սեյսմիկ ռիսկի առաջին քարտեզը:

S. N. NAZARETYAN, R. A. HAROUTIUNIAN, L. B. MIRZOYAN

SEISMIC RISK INFRASTRUCTURE OF THE TERRITORY OF ARMENIA

Summary

The main goal of this article is to develop methodological approaches and assess the seismic risk of the infrastructure of the territory of Armenia. The risk is assessed taking into account: seismic hazard, structural features of the infrastructure lines (high-voltage power supply lines, high-pressure gas supply pipelines, main water pipelines, railways and highways, telecommunication cables) and the impact factors of the strong earthquake. These influencing factors are conditionally divided by genesis into two groups: direct and secondary (indirect). Direct factors are formed as a result of only ground vibrations of a certain strength (in the territory of Armenia with an intensity of 9–10 points on the EMS-98 scale), regardless of local geological and geomorphological conditions. Secondary factors are activated or formed as a result of seismic vibrations (not necessarily strong) of the ground, but in territories where dangerous seismic-gravitational geological phenomena are developed (landslides, collapses, rockfalls, etc.) and where there are certain favorable conditions for the movement of rocks masses along the slope. In the second case, an earthquake can serve as a “trigger” for their activation or formation. These factors include faults and ruptures, landslides, collapses, rockfalls, liquefaction etc. When assessing the vulnerability of the infrastructure line, particular attention is paid to regional faults, surface ruptures, landslides and collapses, which are widespread in the territory of Armenia and significantly damage both surface and underground infrastructure lines. When assessing the seismic vulnerability of an infrastructure line, the leading place is given to statistical data on damage to main lines depending on the intensity of the 1988 Spitak earthquake. As a result of the research, new elements of methodological approaches were developed and, on their basis, the first seismic risk map of the infrastructure of the territory of Armenia was compiled.