



Э. Е. ХАЧИЯН

**академик НАН РА, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Строительная механика»**

Национальный университет архитектуры и строительства Армении

УДК 550.34, 624.042.7

СПИТАКСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 7 ДЕКАБРЯ 1988 ГОДА: ОСНОВНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АНАЛИЗ ЕГО РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ (К ТРИДЦАТИЛЕТИЮ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ)

7 декабря 1988 года в северных районах Республики Армения произошло сильное землетрясение, которое в дальнейшем стало именоваться Спитакское землетрясение. Оно стало причиной массовых разрушений зданий и сооружений, причинило огромный материальный ущерб стране и унесло жизни тысяч людей.

Спустя 30 лет уроки Спитакского землетрясения все еще поучительны, как для инженерного сообщества, так и для простого обывателя. Подробное научное изложение обо всех особенностях и последствиях Спитакского землетрясения приведено в настоящей статье.

К сожалению, имеется очень малое количество инструментальных записей Спитакского землетрясения. В статье приводится анализ тех немногих акселерограмм землетрясения, которые были зарегистрированы как на сейсмостанциях бывшего СССР, так и за рубежом. Приведены и проанализированы геофизические и энергетические характеристики очага землетрясения, форшока и афтершоков сейсмического события.

Землетрясение в эпицентральной зоне вызвало значительные геотехнические изменения на поверхности Земли в виде дислокаций, оползней, обвалов, уступов, трещин, падения больших объемов скальных пород, разжижения грунтов, разрушения железнодорожного полотна. Приводятся результаты исследований, посвященных оценке влияния местных грунтовых условий на усиление или ослабление уровня сотрясения грунтов.

В статье приводится способ инструментальной оценки степени повреждения зданий после землетрясения, регламентированный нормами сейсмостойкого строительства Армении. В основе способа лежит соотношение периодов колебаний поврежденных и неповрежденных зданий.

Также в статье рассматриваются социально-экономические последствия Спитакского землетрясения, и описывается та большая помощь, оказанная международным сообществом армянскому народу в ликвидации последствий разрушительного землетрясения, о подвигах, проявленных при этом тысячами врачей, спасателей, летчиков, машинистов и водителей, строителей и рабочих.

Ключевые слова: Спитакское землетрясение, катастрофа, афтершок, эпицентр, велосиграмма, акселерограмма, сейсмограмма.

Первое подробное научное изложение обо всех особенностях и последствиях Спитакского землетрясения было опубликовано в американском профессиональном журнале "Earthquake Spectra" Исследовательского института сейсмостойкого строительства. Спитакскому землетрясению был посвящен специальный августовский номер журнала

(1989 г.) под названием «Армянское землетрясение – рекогносцировочный доклад» под редакцией Лоринга Уайла и Джона Филсона [1]. Следующий, более объемистый труд, содержащий статьи о Спитакском землетрясении специалистов многих стран мира, был опубликован в 1995 г. Это были труды Международного семинара, посвященного землетрясению, организованного ЮНЕСКО в мае 1989 г. в г. Ереване [2]. Ни-

жеизложенные данные, анализы и иллюстрации в основном взяты из этих двух источников, а также из других публикаций, приведенных в списке литературы.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

7 декабря 1988 года в северных районах Республики Армения произошло сильное землетрясение, которое в дальнейшем

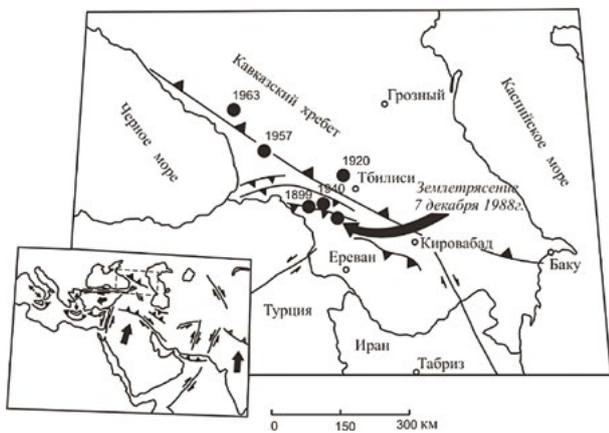


Рисунок 1 — Тектоническое положение Спитакского землетрясения [3]

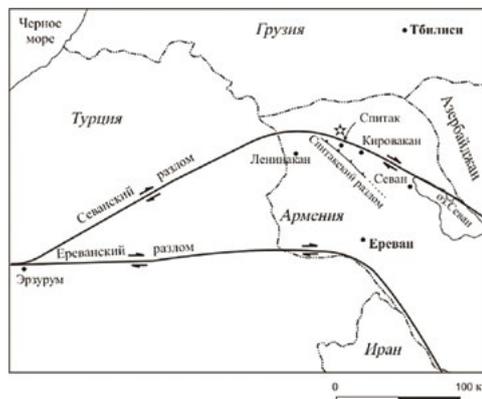


Рисунок 2 — Расположение Спитакского землетрясения на региональной тектонической карте [2]

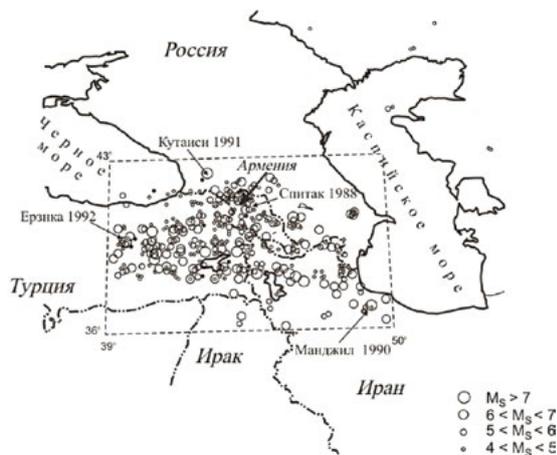


Рисунок 3 — Эпицентры исторических землетрясений на Армянском нагорье и прилегающих территориях с 139 г. н.э. до 1992 года [4]

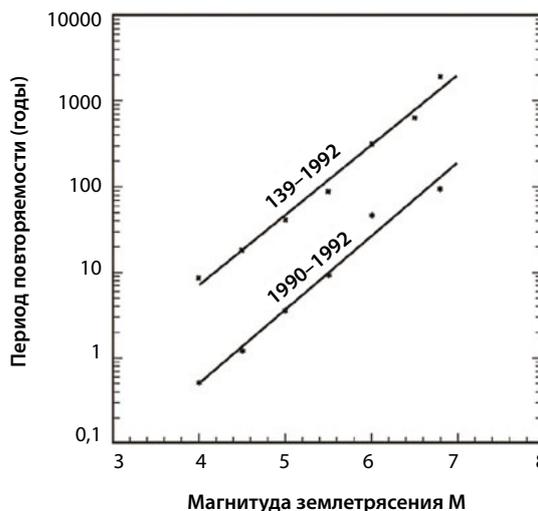


Рисунок 4 — Повторяемость землетрясений на территориях вокруг Спитака со 100 км радиусом [4]

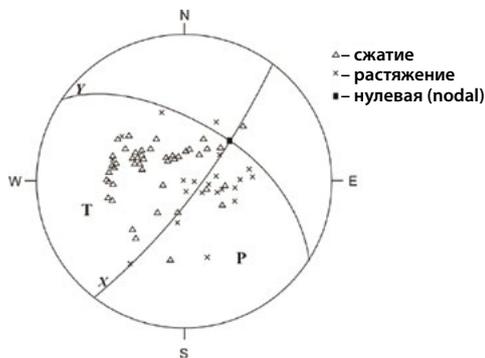


Рисунок 5 — Фокальный механизм очага Спитакского землетрясения [3]

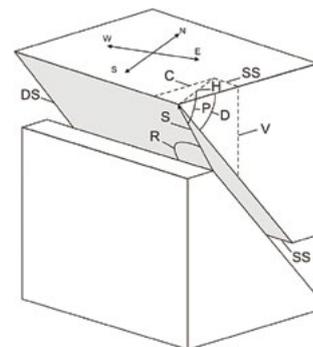


Рисунок 6 — Схема образования поверхностного трещинообразования во время Спитакского землетрясения

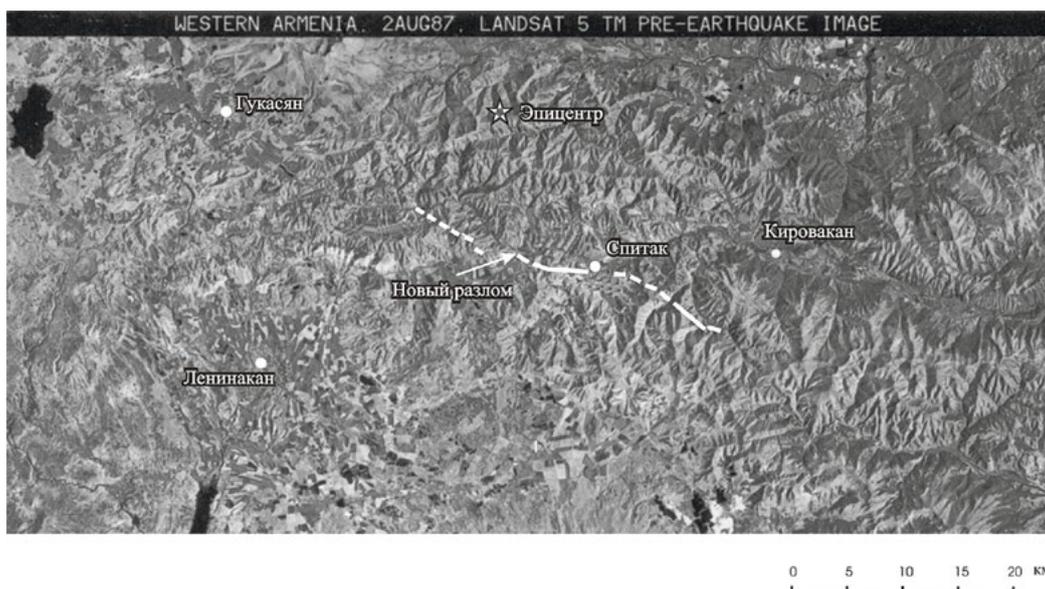


Рисунок 7 — Простирание поверхностного разрыва (разлома) во время Спитакского землетрясения [4]

стало именоваться Спитакское землетрясение. Оно стало причиной массовых разрушений зданий и сооружений, причинило огромный материальный ущерб стране и унесло жизни тысяч людей.

Землетрясение произошло на нагорье Малого Кавказа, примерно в 150 км к югу от осевой части Главного Кавказского хребта. Тектонические и геологические структурные направления Малого Кавказа в основном параллельны оси Главного Кавказского хребта в его северо-западном и юго-восточном сегментах. Тектоническое расположение региона в основном сложное, но в целом характеризуется сжатием и укорочением коры из-за конвергенции Аравийской и Евразийской плит, как это показано на рис. 1 [3].

Локальное тектоническое расположение Спитакского землетрясения показано на рис. 2, заимствованном из [2]. Регион возникновения землетрясения входит в Альпийский сейсмический пояс Земли, протягивающийся от Средиземноморья на восток через южную Европу, северную Африку, Турцию, Кавказ, Иран и Индию. Сейсмическая активность Армении в этом поясе относительно низка, как по максимальной магнитуде землетрясений (рис. 4), так и по их повторяемости. С начала XX века в этом регионе Армении было зарегистрировано небольшое количество землетрясений с интенсивностью 6-7 баллов в эпицентре, в том числе самое сильное в 1926 году близ города Александрополь (Ленинакан) с магнитудой $M = 5.6$.

Спитакское землетрясение было зарегистрировано сейсмическими станциями по всему миру. Стандартные параметры землетрясения согласно сообщениям Национального центра сейсмической информации (NEIC) Геологической службы США и Института Физики Земли (ИФЗ) АН СССР следующие:

Время возникновения: 7-го декабря 1988 года 07 ч. 41 мин. 24.96 с. по UTC, 11 ч. 41 мин. 24.96 с. по местному времени.

Координаты эпицентра: широта (градусы) 40.996 ± 2.9 км (40.92) долгота (градусы) 44.197 ± 1.8 км (44.20).

Глубина очага: 11 км (уточненная).

Магнитуды: $m_b = 6.3$ – среднее по 87 наблюдениям, $M_s = 6.8$ – среднее по 17 наблюдениям,



Рисунок 8 — Уступ, образованный в окрестностях села Гехасар во время Спитакского землетрясения [6]

$M_s = 7.0$ по вертикальной компоненте (Беркли),
 $M_s = 7.0$ (ИФЗ).

Механизм главного толчка землетрясения, по данным Геологической службы США, которые основаны на наблюдениях региональных и телесеизмических станций, имеет вид, показанный на рис. 5. Параметры этого механизма следующие:

	азимут	погружение
Ось сжатия (P)	166.2°	16.4°
Ось растяжения (T)	265.5°	28.7°
Нулевая ось (N)	50.1°	56.2°
Ось (X)	212.8°	32.6°
Ось (Y)	308.0°	8.0°

Параметры плоскости разлома по данным инверсии объемных и поверхностных волн [3] и геологических измерений на месте максимального смещения по поверхностному обнажению разлома показаны на рис. 6 [1, 5].

Перед землетрясением несмещенный куб имел 3-метровые стороны; вертикальные грани были параллельны и нормальны к простиранию разлома. Стрелки, показанные на плоскости разлома, – направление вектора перемещения. Обозначения размеров углов и направлений следующие: N север, азимут простирания разлома (не обозначен) равен 292°, падение разлома D=55°, смещение S=2 м, вертикальная компонента V=1.6 м, сдвиговая компонента SS=0.5 м (правосторонняя), компоненты сжатия C=1.1 м, горизонтальная компонента H=1.2 м, компонента смещения по падению DS=1.9 м, угол погружения смещения P=53°, наклон смещения R=109°.

Простирание поверхностных разрывов (местами прерывисто) белыми линиями показано на рис. 7 (Ландсат) [4,5]. Поверхностное трещинообразование, которое в большинстве мест проходит через обнаженные коренные породы, произошло в северном, северо-западном и к югу, в южном и юго-восточном направлениях от Спитака. Оно имело протяженность около 37 км. Горизонтальная подвижка в основном имела сдвиговый правосторонний характер. Вектор и величина вертикальной подвижки по длине разлома переменны и имеют сдвигово-правосторонний сбросовый характер. На рис. 8 показан уступ разлома в зоне максимального взброса на участке между Спитакком и Гехасаром высотой около 2 метров. По исследованию [5], коренная порода вне зоны сдвигового смещения (подвижки) проявила себя как жесткий блок с небольшой внутренней деформацией.

По утверждению Истейбука, Панченко и Набелека [1], используя большой объем данных в продолжении 30 секунд телесеismicкой записи объемных seismicких волн, им удалось идентифицировать, по крайней мере, **три подсобытия**.

Согласно их интерпретации, первое подсобытие имело место близ города Спитак, второе – через 4 сек в 15 км к юго-востоку от первого, а третье произошло через 10 сек в 30 км к западу от первого подсобытия, т. е. **в сторону Ленинакана**. Эти результаты указывают на то, что главный толчок по своей природе был очень сложен и мог образовать разрыв, по крайней мере, на двух сегментах [1].

Сейсмический момент и энергия землетрясения. Согласно уточненным данным [7], принимая длину поверхностного разрыва L=38 км, глубину очага h=11 км, среднее значение относительной подвижки спаренных блоков составило $\bar{u}=1.22$ м и, принимая для модуля сдвига $G=3 \cdot 10^{11}$ дин/см² **для seismicкого момента** Спитакского землетрясения, получим

$$M_0 = FG\bar{u} = LhG\bar{u}. \quad (1)$$

Подставляя соответствующие значения, получим:

$$M_0 = 38 \cdot 10^5 \cdot 11 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{11} \cdot 1,22 \cdot 10^2 = 15,3 \cdot 10^{25} \text{ дин} \cdot \text{см}.$$

Таким образом, **моментная магнитуда** землетрясения согласно [7] будет:

$$M_W = \frac{2}{3} \lg M_0 - 10,7 = 6,75, \quad (2)$$

которая отличается от средней Рихтерской магнитуды $M_S=6,8$ (вычисленной по сейсмограмме) всего на 0,7%.

Энергия Спитакского землетрясения составила

$$\lg E = 11,8 + 1,5 M_S = 11,8 + 1,5 \cdot 6,8 = 22$$

$$E = 10^{22} \text{ эрг} = 10^{15} \text{ Дж}$$

Энергетический класс землетрясения – k=15.

Таблица 1 — Хронологическая последовательность фэршока, главного толчка и афэршоков землетрясения [3]

Дата	Время возникновения по UTC			Магнитуда, m_b	Источник по M_S	Магнитуда, M_S	Источник
	час.	мин.	сек.				
06.12.1988	15	27	06.9	3.0	ИФЗ		Н.К. Карапетян [8]
07.12.1988	07	41	25.0	6.3	NEIC	7.00	- " -
07.12.1988	07	45	46.0	5.9	NEIC	6.25	- " -
07.12.1988	08	06	28.2	4.7	NEIC	5.00	- " -
07.12.1988	09	34	33.9	5.0	NEIC	4.50	- " -
07.12.1988	18	05	42.3	4.6	NEIC	4.25	- " -
07.12.1988	20	07	30.6	4.6	NEIC	4.25	- " -
08.12.1988	01	15	55.7	4.8	NEIC	4.25	- " -
08.12.1988	01	49	41.4	4.1	NEIC	4.00	- " -
08.12.1988	04	09	37.2	4.7	NEIC	4.25	- " -
08.12.1988	05	36	29.8	5.0	NEIC	4.00	- " -
08.12.1988	07	46	00.0	4.6	NEIC	4.50	- " -
08.12.1988	20	32	06.2	4.7	NEIC	4.50	- " -
10.12.1988	19	13	59.1	4.4	NEIC	4.00	- " -
12.12.1988	15	36	15.1	4.6	NEIC	4.25	- " -
31.12.1988	04	07	10.6	4.7	NEIC	4.50	

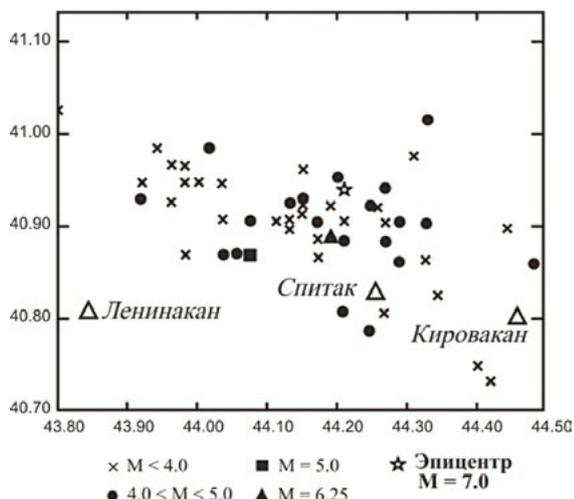


Рисунок 9 — Расположение эпицентров афтершоков, происходящих в течение первых 24 часов после главного толчка [8,9]

2. ФОРШОК И АФТЕРШОКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Последовательность процесса возникновения Спитакского землетрясения состояла из форшока 6 декабря, главного толчка, одного мощного афтершока сразу после главного толчка через 4 мин 21 сек и сотен дополнительных афтершоков, некоторые из которых по магнитуде приближались к 5. Хронологическое перечисление форшока, главного толчка и афтершоков, локализованных NEIC, приводится в табл.1 [3]. В таблице m_b – это магнитуда землетрясения, вычисленная по амплитуде объемных сейсмических волн, зарегистрированной на станциях, расположенных на расстоянии более чем 600 км от эпицентра, а M_s – магнитуда, вычисленная по амплитуде поперечной S волны, зарегистрированной на станциях, расположенных менее чем за 600 км от эпицентра. Как известно, для $M_s > 6.75$, $m_b < M_s$, а для $M_s < 6.75$, наоборот – $m_b > M_s$, они равны при $6.75 - m_b = M_s = 6.75$.

Как видно из таблицы 1, основному толчку 7 декабря в 11 часов 41 мин (по местному времени) предшествовал изолированный и хорошо зарегистрированный форшок 6 декабря в 19 часов 27 мин. Этот форшок ощутили жители Ленинанкана, и он был зафиксирован в Ленинанканской сейсмической станции. По мнению местных сейсмологов 6 декабря днем в Ленинанкане ощутили влияние не только указанного форшока, но и еще одного более слабого. Однако, так как землетрясения такой силы, как форшок 6 декабря, нередки в этом регионе, он (форшок), к сожалению, не был принят в качестве предварительного форшока-предвестника ожидаемого сильного события 7 декабря 1988 года, и не были приняты упреждающие меры по защите от наступающей трагедии. В пределах пяти минут после главного толчка имел место сильный афтершок (редкое явление в сейсмологии), уступающий главному толчку всего на 0.4 единицы по магнитуде объемной волны и на 0.75 – по магнитуде поверхностной волны. Этот афтершок причинил обширный дополнительный значительный ущерб зданиям и сооружениям, уже ослабленным или поврежденным главным толчком. Естественно, он и стал причиной смерти тысяч людей. Многие в ходе эвакуации из поврежденных, но все еще устоявших зданий, не успев покинуть их, были накрыты окончательными разрушениями от этого мощного афтершока. Кроме того, как видно из табл.1, в течение первых 24 часов с начала землетрясения произошли

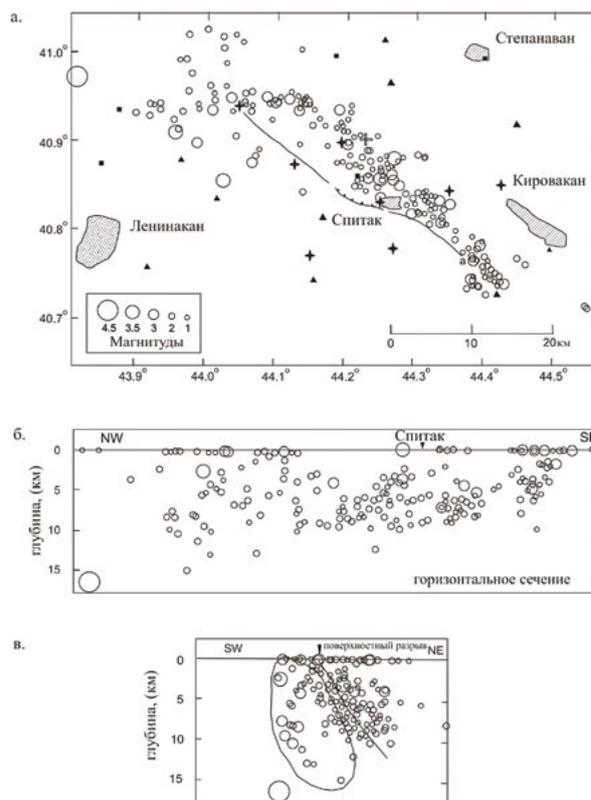


Рисунок 10 — Расположение афтершоков [3,4,10]
 а. географическое расположение эпицентров,
 б. проекция гипоцентров на плоскости разрыва,
 в. гипоцентры в зоне плоскости, перпендикулярной
 поверхностному разрыву

по крайней мере 10 форшоков с магнитудами 4.5-5.0, которые стали еще одной дополнительной причиной роста повреждений и гибели людей. Это означает, что в течение одних суток произошли 10 землетрясений с интенсивностью VII-X баллов, что, по нашему мнению, является одной из основных причин большого объема разрушений и числа жертв при Спитакском землетрясении. Схема географического расположения главного толчка и афтершоков, происходящих в первые часы и дни, показана на рис. 9.

Географическое расположение всех ощутимых афтершоков и их проекции на плоскости разрыва главного толчка показаны на рис. 10 [2,4,10].

Афтершоки можно разделить на две зоны. Первая зона узкой шириной простирается от разрыва в окрестностях Спитака на 10-15 км к юго-востоку. Глубина очагов этих афтершоков доходит до 8 км.

Вторая зона, на краю которой произошел самый сильный из афтершоков, простирается на северо-запад. Эта зона расположена в продолжение поверхностного разрыва и простирается на 30 км; она более широкая, чем первая – юго-восточная.

Картина расположения афтершоков, приведенная на рис. 10, свидетельствует о сложном характере телесеismicческих объемных волн, отмеченных выше Истейбруком, Панченко и Набелеком [1], и об их выводе и сложном характере главного толчка, состоящего по крайней мере из трех подсобытий. Два сильных афтершока расположены в их центральной части. Энергия первого мощного афтершока (через 4 мин 21 сек) составила:

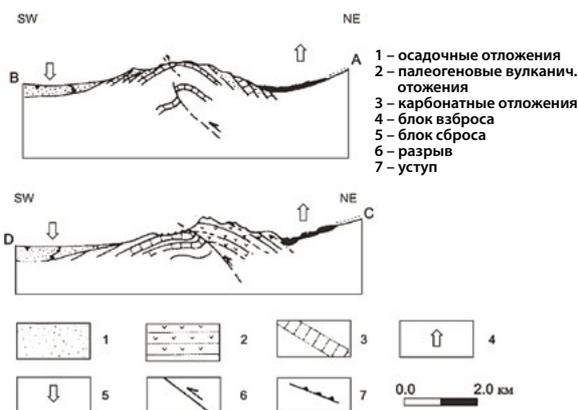
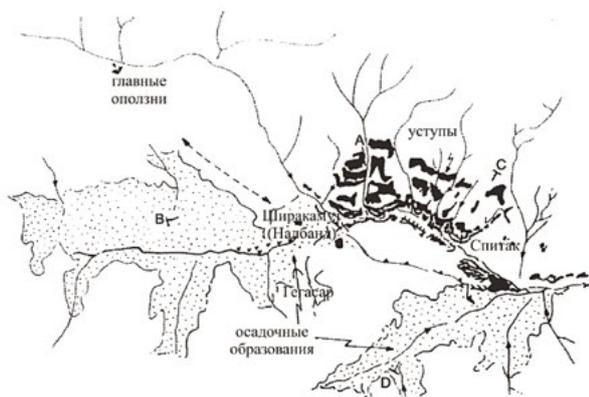


Рисунок 11 — Геоморфологическое положение поверхностного разрыва, образованного при Спитакском землетрясении и геологические разрезы в перпендикулярном к нему направлении [2]

$$\lg E = 11.8 + 1.5 \cdot 6.25 = 21.175$$

$$E = 1.5 \cdot 10^{21} \text{ эрг} = 1.5 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$$

Таким образом, энергетический класс этого афтершока ($K=14.17$) не отличается от энергетического класса главного толчка ($K=15$) даже на одну единицу. А энергия афтершока всего в 6.6 раза уступает энергии основного толчка. Суммарная энергия остальных афтершоков, если их количество принимать примерно 200 со средней магнитудой $M=3.0$, составит:

$$E = 200 \cdot 10^{16.3} = 2 \cdot 10^{18.3} \text{ эрг} = 4 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$$

Эта энергия составляет всего 0.04% от энергии главного толчка.

3. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Землетрясение в эпицентральной зоне вызвало значительные геотехнические изменения на поверхности Земли в виде дислокаций, оползней, обвалов, уступов, трещин, падения больших объемов скальных пород, разжижения грунтов, разрушения железнодорожного полотна. Наиболее характерное геологическое изменение из-за землетрясения – это 38-километровый новый разрыв на поверхности Земли (рис. 7) с уступом более чем 2-метровой высоты (рис. 8) в окрестностях Гегасара.

Геоморфологическое положение нового разрыва и геологические разрезы в перпендикулярном к разрыву направлении показаны на рис. 11, заимствованные из [2].

Общая картина сейсмодислокаций в эпицентральной зоне около Спитака показана на рис. 12, а оползневые обра-



Рисунок 12 — Общий вид сейсмодислокаций в эпицентральной зоне землетрясения [2]



Рисунок 13 — Оползни в западной части города Ленинакана, образованные из-за землетрясения [2]

зования в окрестностях Ленинакана в результате землетрясения на рис. 13 [2].

На проезжих частях дорог образовалось большое количество продольных трещин шириной до 40-50см, в горах камнепады, на склонах оползни. На протяжении 230 метров по полотну железной дороги произошло разжижение грунта, вследствие чего имело место искривление рельсов. Иллюстрации этих явлений показаны на рисунках 12-18.

Обо всех этих явлениях более подробные сведения можно найти во многих научных сборниках, посвященных Спитакскому землетрясению [1,2,4,6,11]. Такими материалами очень богат объемный сборник (530 стр.) докладов участников Международной научной конференции, посвященной годовщине Спитакского землетрясения, состоявшейся 23-26 мая 1989 года в городе Ереване, организованной UNESCO [2].

4. РЕГИСТРАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

К сожалению, имеется очень малое количество инструментальных записей Спитакского землетрясения. Вследствие ряда причин, в том числе низкого уровня обслуживания сети сейсмических станций и качества записывающей аппаратуры, при основном толчке и последующем мощном афтершоке в эпицентральной зоне ни одной записи землетрясения не получено. Пять станций из девяти инженерно-сейсмометрических служб (ИСС) в городе Ленинакане Института геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) АН остались под развалинами, и после расчистки из них не удалось получить необходимой полезной информации. Единственная каче-



Рисунок 14 — Оползание туфовых пород около Спитака [1]



Рисунок 16 — Оползание-перемещение вулканических туфовых пород в западной части Спитака [1]



Рисунок 15 — Обвалы железобетонных подпорных стен около Спитака [1]



Рисунок 17 — Повреждения железной дороги около станции Налбанд [4]

ственная запись ускорения грунта (акселерограмма) ближе к эпицентральной зоне получена сотрудниками ИСС ИГИС под рук. канд. техн. наук Л.А. Мхитарян в райцентре Гукасяна (Ашоцк) на расстоянии около 33 км от эпицентра главного толчка трехкомпонентным акселерографом СССРЗ с собственным периодом колебаний 0.05сек (СССР). Акселерограф регистрировал как все три компонента главного толчка, так и афтершока (рис. 19) [1,13,14,15].

Максимальное горизонтальное ускорение грунта в Гукасяне при главном толчке достигло 0.21g, а вертикальное – 0.15g, при первом афтершоке – соответственно 0.15g и 0.05g. Ускорение колебания грунта было записано также в Ереване на расстоянии около 100 км на ИСС N3 АрмНИИСА (ул. А.Аветисяна, 1, андезиты-базальты).

Запись осуществлялась сейсмоприемником ОСП (с собственным периодом колебания 0.15 сек), настроенным на автоматическое включение и запись в течение 40-50 сек. Как показали результаты обработки общей кассеты, снятой через 30 минут после основного толчка землетрясения, на ней между записями главного толчка и первого афтершока оказались записи еще двух толчков. Общий вид записи (всех четырех толчков) показан на рис. 20. Максимальное ускорение грунта при главном толчке составило около 60 см/сек².

Методом интегрирования этой акселерограммы были получены также велосиграмма и сейсмограмма грунта в Ереване при главном толчке (на рис. 21). Их максимальные значения составили соответственно 3 см/сек и 0.9 см. В Ереване на ИСС N2 (аллювий) и ИСС N5 (валуно-галечник) АрмНИИСА сейсмоприемником СМ-3 непосредственно были записаны также смещения грунта.



Рисунок 18 — Трещины, образованные в проезжей части дорог [4]

Максимальное смещение грунта достигло 3.5 мм (ИСС N5). Кстати, пользуясь определением магнитуды Рихтера, как значения десятичного логарифма от перемещения грунта на расстоянии 100 км (Спитак-Ереван), получим [18]:

$$M = \log 2800 \cdot 3.5 \cdot 1000 = \lg 10^{6,99} = 6,99.$$

Спектры реакции по записям акселерограмм, зарегистрированные в Гукасяне, Ереване и на территории АЭС показаны на рис. 24.

Спитакское землетрясение было записано также сейсмометром СБМ (сейсмометр балльности, период свободных колебаний – 0.25 сек, декремент затухания – 0.5). Показания сейсмометра СБМ являются основанием для установления интенсивности землетрясения по шкале MSK-64, согласно табл. 2. Итоговые результаты по оценке интенсивности землетрясения в разных городах Армении приведены в табл. 3 [15,18,19]».

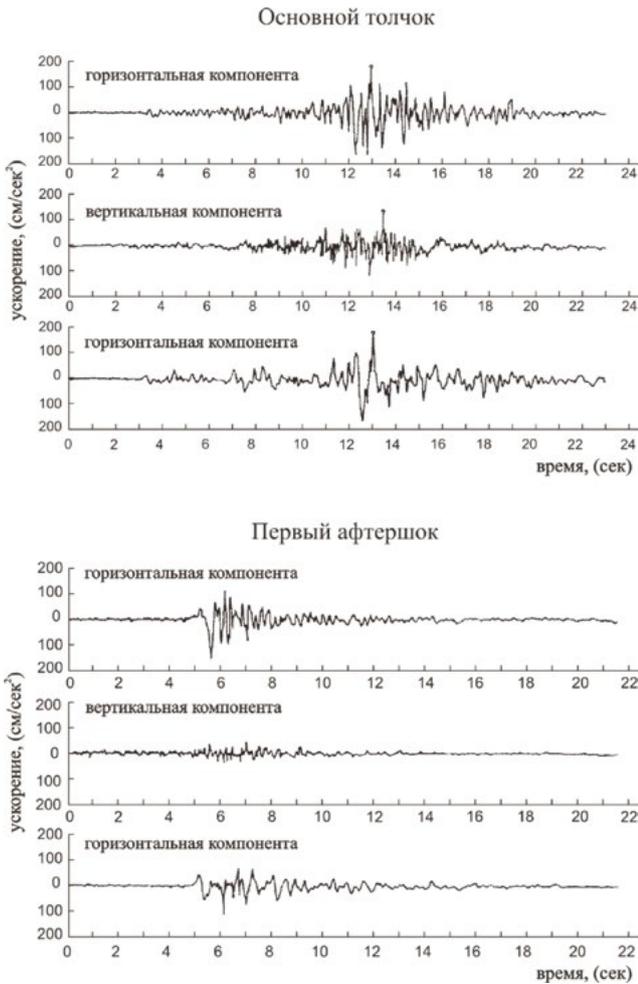


Рисунок 19 — Акселерограммы основного толчка и первого афтершока Спитакского землетрясения, записанные в Гукасяне (Ашоцк)

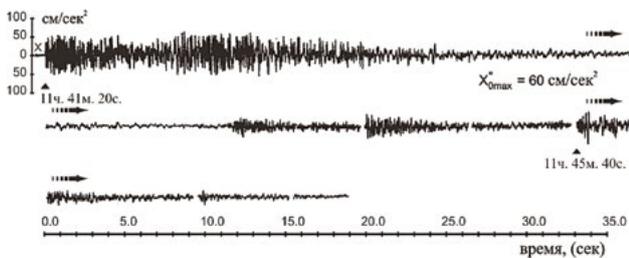


Рисунок 20 — Запись ускорения грунта в Ереване (коренные базальты) при главном толчке и последующих афтершоках [15]

На рис. 25 показаны записи сейсмометра СБМ, полученные на двух станциях г. Ленинакана. На инженерно-сейсмометрических станциях Ленинакана и Еревана были установлены также маятниковые сейсмометры конструкции А.Г. Назарова. Результаты их обработки и анализа приведены в [13,18,19]. Из этих записей наибольший интерес, по нашему мнению, представляет запись маятника с периодом свободных колебаний $T = 0.8$ сек сейсмометра, установленного на грунте у здания ИГИС в Ленинакане. Эта запись показана на рис. 26.

Как видно из записи, во время землетрясения маятник сейсмометра совершил по крайней мере 20-30 колебаний с одинаковой максимальной амплитудой. Это в принципе воз-

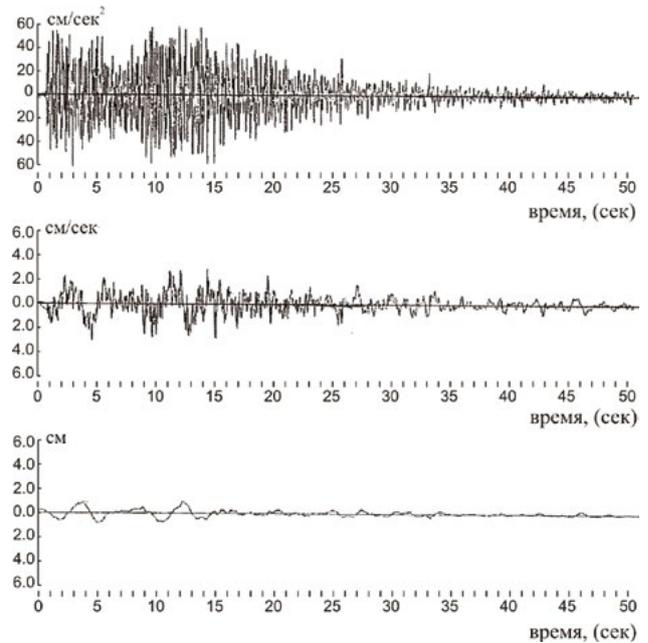


Рисунок 21 — Акселерограмма Спитакского землетрясения, записанная в Ереване (главный толчок) и соответствующая велосигграмма и сейсмограмма, полученные путем двойного интегрирования (Kazuhiko Kawashima, PWRI, Japan)

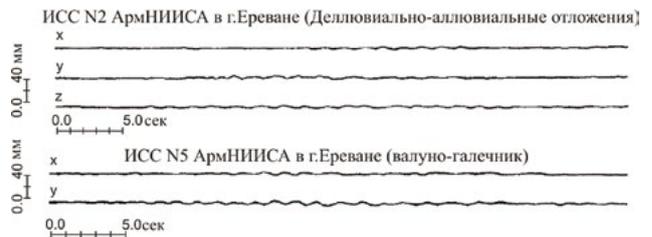


Рисунок 22 — Сейсмограммы Спитакского землетрясения, записанные в Ереване

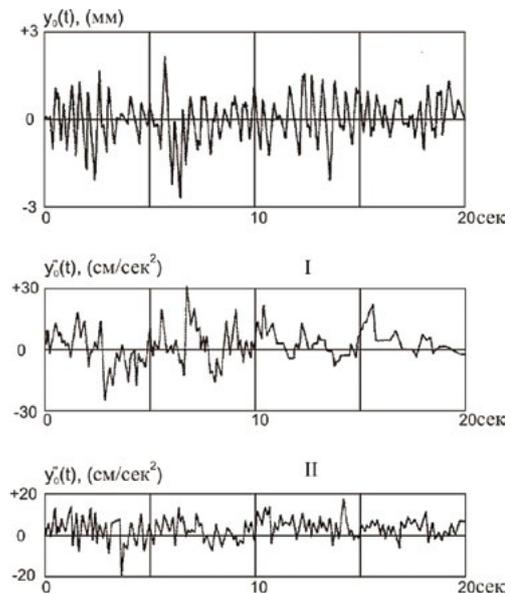


Рисунок 23 — Сейсмограмма и акселерограмма Спитакского землетрясения, записанные на территории Армянской АЭС [16]

Таблица 2 — Шкала интенсивности по показаниям сейсмометра СБМ

Отклонения маятника сейсмометра СБМ в мм	Интенсивность землетрясения по MSK-64 в баллах
0.5 – 1.0	V
1.1 – 2.0	VI
2.1 – 4.0	VII
4.1 – 8.0	VIII
8.1 – 16.0	IX
16.1 – 32.0	X

можно при большой длительности землетрясения и близости величины периода маятника (0.8 с) к величине преобладающего периода колебания грунта во время землетрясения. Об этом свидетельствует также запись (рис. 25) сейсмометра СБМ, установленного рядом в том же месте, маятник которого с периодом 0.25 сек совершил всего 1-2 колебания с максимальной амплитудой. Как показали аналитические расчеты и анализ записей афтершоков и микроколебаний, преобладающие периоды колебаний грунта в этой старой части Ленинакана при землетрясении на самом деле находились в пределах 0.6-0.8 сек.

Спитакское землетрясение было записано многими сейсмическими станциями мира. На рис. 27 показана типичная сейсмограмма землетрясения, зарегистрированная на сейсмической станции Графенберг (Германия), из которой четко видно, как величину промежутка между главным толчком и первым мощным афтершоком (4 мин 21 сек), так и отношения максимальных амплитуд около 0.8. Причем сейсмические волны достигли Графенберга с 4-минутным опозданием.

В Спитаке до землетрясения приборы для регистрации землетрясения не были установлены. Косвенные оценки максимального ускорения грунта в Спитаке по различным эмпирическим формулам и по расчетам по опрокидыванию надгробных памятников были даны различными специали-

стами [1,2,4,20,21,22]. Они показывают, что величина ускорения грунта в Спитаке могла быть от 0.8 г до 1.0 г. Аналогичные оценки для Ленинакана – 0.47 г-0.53 г, Степанавана – 0.46 г, Кировакана – 0.40 г. Значения нормативных ускорений грунта до землетрясения были приняты: для Спитака – 0.1 г, Ленинакана – 0.2 г, Степанавана и Кировакана – 0.1 г [23]. По новым нормам Армении ускорение грунта для всех 4-х городов принято равным 0.4 г [24].

На рис. 28 показан график затухания ускорений по результатам зарегистрированных и вычисленных значений ускорений для различных городов на расстояниях до 100 км. Там же для сравнения приведены известные кривые затухания Джорнера и Бура и Идрис, заимствованные из [4].

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕСТНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ

Прибывшие в зону землетрясения большие группы специалистов из США, Франции и СССР в первые же дни после землетрясения провели большой объем исследований по регистрации последующих афтершоков, выявлению особенностей образовавшегося поверхностного разрыва, влиянию причин усиления или ослабления колебаний грунтов в зависимости от локальных грунтовых условий и др. Последнее обстоятельство имело большое морально-психологическое значение в свете тех факторов, что в Ленинакане разрушения оказались значительно больше, чем в Кировакане, несмотря на то, что Кировакан расположен ближе к очаговой зоне землетрясения, чем Ленинакан. Были организованы сети портативных временных сейсмических станций для регистрации афтершоков. Зарегистрированы сотни афтершоков, результаты анализа которых представляют большой научный интерес и в какой-то мере заполняют пробел, имеющий место при регистрации главного толчка землетрясения. Расстановка аппаратуры специалистами США началась с 23 декабря. Временные станции изначально были установлены на разных грунтовых условиях. Грунтовые условия станций в Кети, Гогаране и Джрашене соответствовали скальным основаниям, а в старой части Ленинакана – слабым аллювиальным грунтам. Схема их расстановки показана на рис. 29.

Таблица 3 — Зарегистрированные показатели сейсмометра СБМ при Спитакском землетрясении

Место установки сейсмометра СБМ	Наибольшее зарегистрированное отклонение маятника (мм)	Интенсивность по MSK-64 (баллах)
<i>г. Ленинакан</i>		
- ул.Ленинградян, 5 (ИГИС)	18.00	X
- ул.Спандаряна, 24	15.00	IX
- ул.Саркисяна, 1 (Сейсмостанция)	15.50	IX
- ул.Калинина, 16	10.40	IX
<i>г. Степанаван</i>	12.0	IX
<i>г. Ереван</i>		
- ул. Д.Сасунского, 3 (АрмНИИСА)	1.59	VI
- ул. Лео, 9 (Центр)	0.82	V
- ул. Молдовакан, 3а (Норк. массив)	1.14	VI
- ул. Фрунзе, 6/8 (III участок)	0.77	V
- ул. Аветисяна, 1	0.91	V
<i>г. Арарат</i>	0.90	V

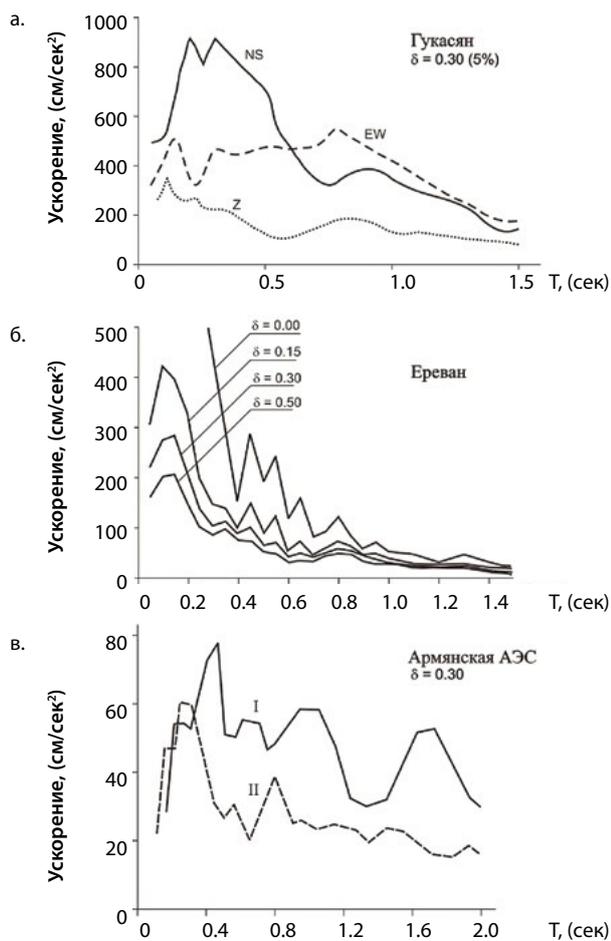


Рисунок 24 — Спектры реакции Спитакского землетрясения [18]

На рис. 30, 31 и 32 показаны трехкомпонентные акселерограммы, велосигramмы и сейсмограммы, записанные на четырех пунктах регистрации – Ленинакана, Джрашена, Гогарана и Кети при афтершоке с магнитудой 4.5 ($m_b = 4.7$), имевшем место 31 декабря 1988 года с координатами эпицентра $40^{\circ}58'С$ и $43^{\circ}58'В$ (велосигramмы и сейсмограммы получены путем интегрирования акселерограммы). От эпицентра эти станции имеют почти одинаковое расстояние. В табл. 4 приведены результаты регистрации и интегрирования [9].

Данные табл. 4 показывают, что перемещения грунта в Ленинакане в среднем в 8 раз оказалось больше, чем на других участках, подстилаемых скальным грунтом и расположенных на сравнимых расстояниях от эпицентра. Что касается ускорения грунта, то оно в Ленинакане с учетом гипоцентрального расстояния в 1.5 раза больше, чем в Гогаране и Джрашене и, наоборот, в два раза меньше, чем в селе Кети.

Аналогичные результаты, когда ускорение грунта на скальных участках было больше, чем на аллювиальных участках (при небольших эпицентральных расстояниях до 50 км), были зарегистрированы и при других землетрясениях [25,26]. Наиболее отличительным признаком приведенных записей является то, что продолжительность колебаний грунта (по акселерограмме, велосигramме и сейсмограмме) в Ленинакане в два раза больше, чем в Кети, Гогаране и Джрашене. Дополнительные сравнительные сведения о грунтовых условиях всех четырех участков регистраций можно подчерпнуть из спектрального анализа (разложение в ряд Фурье) записей.

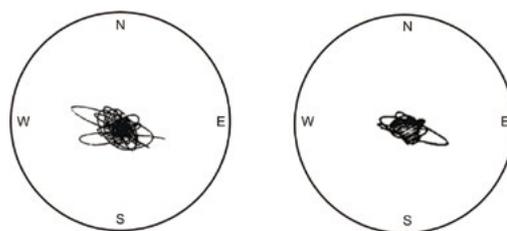


Рисунок 25 — Записи сейсмометра балльности СБМ, (период 0.25 сек) полученные в Ленинакане



Рисунок 26 — Запись маятника с периодом 0.8 сек многомаятникового сейсмометра ИГИС, полученная в Ленинакане

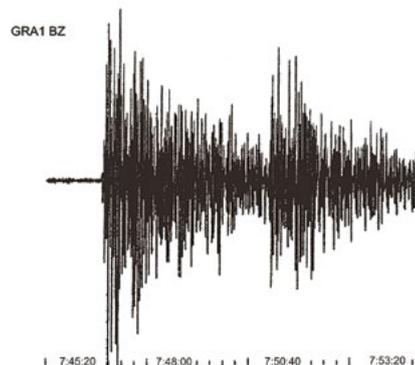


Рисунок 27 — Сейсмограммы Спитакского землетрясения, записанные на станции Графенберг (ФРГ)

Результаты такого анализа на основании записанных акселерограмм (рис. 30) указанного афтершока показаны на рис. 33 [9], из которого видно, что в колебательном процессе грунта Ленинакана по сравнению с аналогичными в Кети, Гогаране и Джрашене преобладают колебания с периодами от 0.5 до 2.5 сек (с частотами от 2 до 0.4 Гц). Причем в этом диапазоне преобладают колебания с дискретными значениями периодов около 2.0 и 1.0 сек.

Как видно из последних двух графиков на рис. 33, частотные характеристики всех трех скальных участков Кети, Гогаран и Джрашен почти одинаковы. Анализ записей афтершоков, полученных в разных участках Ленинакана (Мармарашен, Айгебац и др.), также дополнительно подтвердил вышесказанное. Результаты анализа записей афтершоков позволили также получить некоторые количественные оценки влияния локальных грунтовых условий на усиление или ослабление уровня сотрясения грунтов.

В табл. 5 приведены сопоставительные данные, полученные на станциях Кети, Гогаран, Ленинакан и Джрашен,

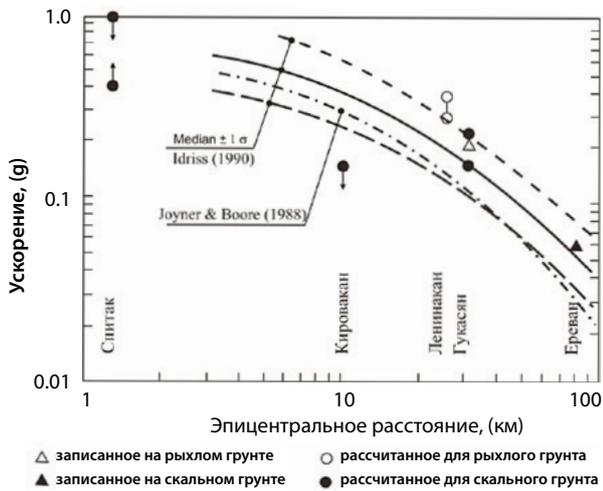


Рисунок 28 — Зависимость величин ускорения грунта от эпицентрального расстояния при Спитакском землетрясении [4]

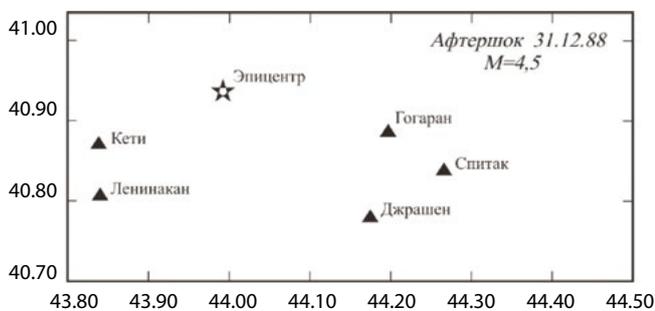


Рисунок 29 — Расположение временных сейсмических станций во время афтершока 31.12.1988 года

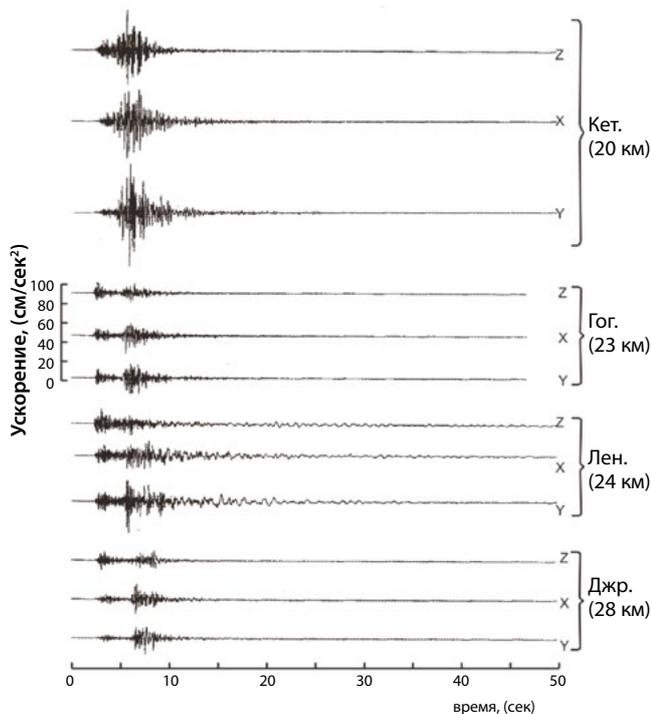


Рисунок 30 — Акселерограммы грунта, записанные в Кети, Гогаране, Ленинане и Джрашене во время афтершока 31.12.1988 года [9]

заимствованные из вышеупомянутой статьи Р. Боччердта, Ж. Гласстоера, М. Андревса и Е. Гранника [9].

Из таблицы видно, что амплитуды ускорений в трех направлениях X, Y, Z в аллювиальных грунтах Гюмри по сравнению со скальными грунтами Гогарана, который находится на одинаковом расстоянии от эпицентра, как и Ленинан, в 1.4, 0.8, 1.9 раза больше, а амплитуды перемещений грунтов в Ленинане превосходят амплитуды Гогарана в значительно большей степени – соответственно в 1.8, 10.4 и 5.9 раза. Данные таблицы показывают, что при эпицентральных расстояниях до 30 км и магнитудах землетрясений $M=4-5$ ускорения на аллювиальных грунтах по отношению к скальным грунтам, в среднем могут расти до 1.4 раза, максимум – до 1.9 раза. Такие отношения регламентируются нормами сейсмостойкого строительства многих стран, в том числе нормами Республики Армения. Что касается перемещений грунта, то в рыхлых грунтах они могут до 10 раз превышать перемещение в скальных грунтах. Более подробный анализ данных табл. 5 с учетом геологических особенностей грунтовых условий станций приводится в упомянутой статье [9].

6. РАЗРУШИТЕЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Спитакское землетрясение причинило тяжелые разрушения жилым, гражданским, промышленным, сельскохозяйственным зданиям и сооружениям, объектам жизнеобеспечения, связи, транспорта, историко-архитектурным памятникам. Обвалились тысячи жилых домов, школ, больниц, детских садов, оставив под обломками тела людей, материальные и исторические ценности.

Наибольшие тяжелые повреждения во время Спитакского землетрясения имели место в трех городах – Спитаке, Ленинане и Кировакане. Их расстояния от зоны разрыва

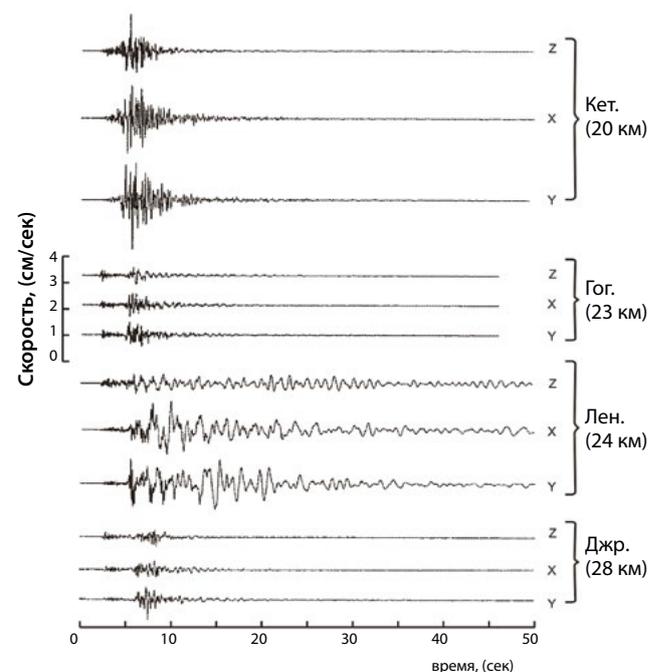


Рисунок 31 — Велосиграммы грунта, вычисленные по акселерограммам, записанным в Кети, Гогаране, Ленинане и Джрашене [9]

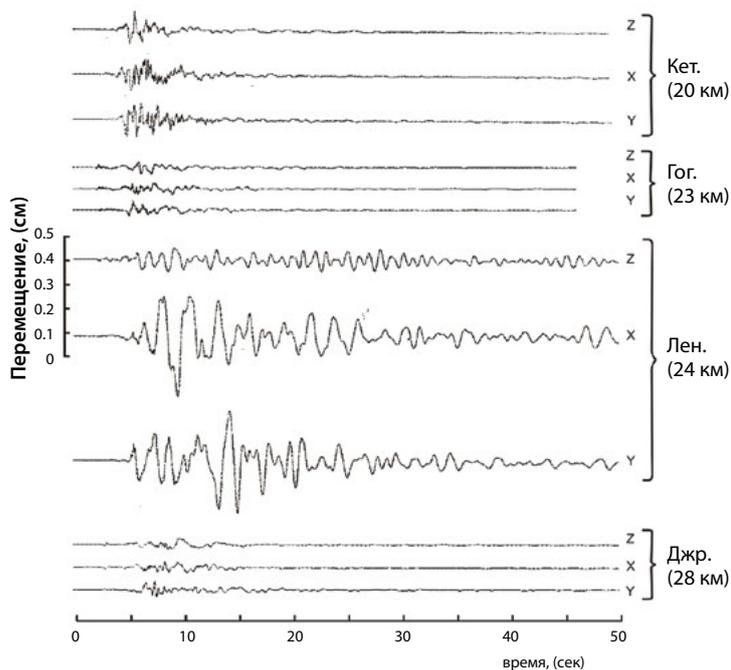


Рисунок 32 — Сейсмограммы грунта, вычисленные по акселерограммам, записанным в Кети, Гогаране, Ленинанке и Джрашене [9]

соответственно составляли: 1-9 км для Спитака, 32 км для Ленинанке и 25 км для Кировакана. В геологическом отношении Спитак и Кировакан расположены вдоль рек, в районах с горным рельефом. Топография около Спитака не такая расчлененная, как в Кировакане. Большая часть территории обоих городов расположена на старых речных террасовых отложениях с мощностью до десятков метров, на тонких почвенных слоях или на породе, составляющей окружающие холмы. Большая часть сооружений в Кировакане, вероятно, возведена на скальных грунтах. Ленинанкан расположен на обширной аллювиальной равнине. Региональные геологические разрезы указывают на то, что он находится в бассейне с осадочными образованиями, достигающими глубин 3-4 км. Близкие к поверхности геологические разрезы, согласно данным Геологического управления Армянской ССР, показывают мощные слои аллювия (пески, глина, гравий, суглинки, озерные отложения), простирающиеся до глубины 300-400 м под большей частью города Ленинанкана. Кроме того, Кировакан расположен в узкой долине прямо напротив высоких гор, а Ленинанкан – в широкой котловине [1,3,9].

Среди специалистов по сейсмостойкому строительству и особенно среди сейсмологов, распространено мнение, что указанные географо-геологические особенности этих городов не могли не влиять на поведение зданий и сооружений в смысле их сопротивления землетрясениям. Более того, по мнению специалистов по сейсмостойкости церковных сооружений значительная часть энергии землетрясения разряжается в геологических структурах, вследствие чего церковные сооружения, построенные на склонах и вершинах ущелий,

Таблица 4 — Результаты регистрации афтершока 31 декабря 1988 года [9]

Станция регистрации	Гипоцентральное расстояние (км)	Максимальные значения								
		Ускорение грунта (см/сек ²)			Скорость грунта (см/сек)			Перемещение грунта (см)		
		Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Кети	19.9	42	38	57	1.6	1.4	1.9	0.080	0.070	0.070
Гогаран	23.5	12	18	16	0.4	0.5	0.5	0.028	0.024	0.037
Ленинанкан	23.6	17	15	31	0.4	1.1	1.0	0.050	0.250	0.220
Джрашен	28.2	12	13	16	0.3	0.4	0.7	0.025	0.022	0.042

Таблица 5 — Отношения амплитуд колебаний, зарегистрированных в разных местах при афтершоке 31.12.1988 года [9]

Место регистрации	Величина фактора дальности	Отношения наибольших амплитуд								
		по ускорениям			по скоростям			по перемещениям		
		Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Лен./Кет.	1.19	0.5	0.5	0.6	0.3	0.9	2.2	0.7	4.2	3.7
Лен./Гог.	1.00	1.4	0.8	1.9	1.0	2.2	2.0	1.8	10.4	5.9
Лен./Джр.	0.84	1.2	1.0	1.6	1.1	2.3	1.0	1.7	9.5	4.4
Среднее значение		1.0	0.8	1.4	0.8	1.8	1.7	1.4	8.0	4.7

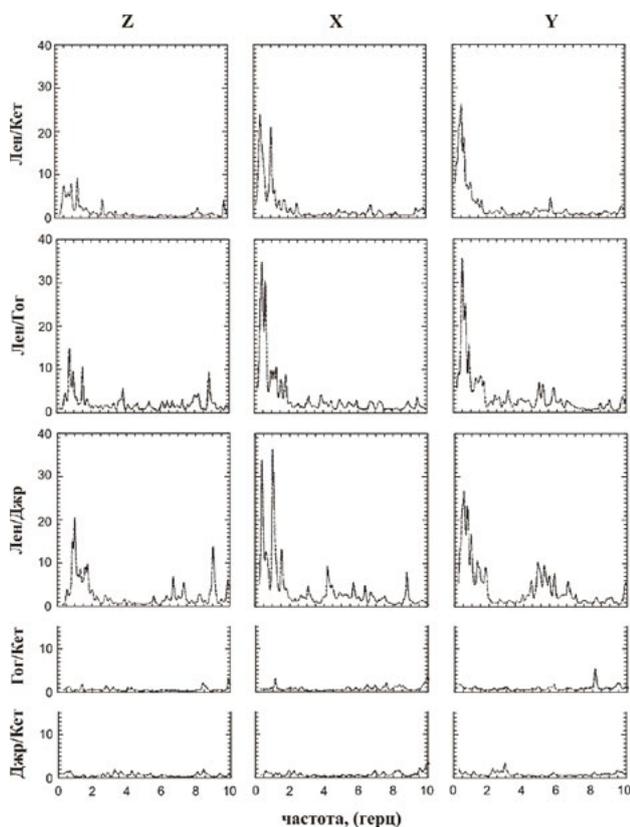


Рисунок 33 — Сравнительные спектральные анализы вертикальных (Z) и горизонтальных (X, Y) акселерограмм грунта, зарегистрированные в Кети, Гогаране, Ленинакане и Джрашене от афтершока 31.12.1988 года [9]

пострадают от землетрясения больше, чем построенные на равнинах.

Ответы на такие вопросы не могут быть однозначными, так как основным фактором, приводящим к повреждениям и разрушению того или иного сооружения, возведенного в том или ином месте, является уровень сейсмического воздействия (максимальное ускорение основания и его частотный состав) и динамические и прочностные характеристики самого сооружения. Поэтому нижеприведенный анализ повреждений будет проведен именно с этих позиций.

Из общего числа современных многоэтажных зданий обрушились или сильно пострадали в Спитаке 87%, в Ленинакане 52%, в Кировакане 24%. Большой масштаб разрушений в Спитаке можно объяснить близостью города к зоне разрыва. Важным наблюдением является то, что масштаб разрушений в Ленинакане был больше, чем в Кировакане, который, как сказано выше, находился ближе к зоне разрыва, чем Ленинакан. Особенно плохо себя проявили каркасно-панельные 9-этажные здания серии 111 в Ленинакане, где обрушились все 133 здания этой серии. В Кировакане ни одно из зданий этой серии не разрушилось и не получило серьезных повреждений. Причиной большой уязвимости зданий этой серии в Ленинакане, помимо нерациональности их конструктивного решения и низкого качества строительства, является то, что для этих зданий имело место существенное увеличение сейсмического воздействия из-за совпадения периодов колебаний этих зданий с периодами колебаний грунта во время землетрясения (резонанс). Как отмечено выше, в Ленинакане при афтершоках преобладали колебания грунта с периодами

от 0.5 до 2.5 сек. К таким выводам привели и многочисленные измерения и анализ микроколебаний грунтов в городах Ленинакан, Спитак и Кировакан, произведенные непосредственно после землетрясения группой японских специалистов [2,22,25]. Согласно этим измерениям преобладающие периоды колебаний грунтов в Ленинакане составили 0.5-0.6 сек (приведенные в [18] расчеты свидетельствуют, что эти значения периодов соответствуют второй форме колебания грунтовой толщи), в Спитаке – 0.2-0.3 сек, в Кировакане – 0.2-0.4 сек. Вибрационные и микросейсмические испытания зданий серии 111, проведенные в Ереване 1978-1987 годах до землетрясения, показали, что их периоды находятся в диапазоне 0.55-0.75 сек (в зависимости от уровня воздействия). Учитывая большую продолжительность землетрясения особенно в Ленинакане (рис. 32), возрастание уровня воздействия для этих зданий из-за резонанса в Ленинакане имеет большую вероятность. В пользу предположения, что главной причиной массового разрушения 9-этажных зданий серии 111 были их резонансные колебания, свидетельствует и то обстоятельство, что несколько зданий той же серии и конструктивного решения, построенные в Ленинакане, но имеющие 5 этажей (их период почти в 2 раза меньше, чем 9-этажных) не обрушились и получили только незначительные повреждения. Как было отмечено в разделе выше о большой вероятности резонанса зданий 111 в Ленинакане свидетельствуют и записи сейсмометров СБМ и ИГИС (рис 25, 26). Для маятника СБМ с периодом свободных колебаний 0.25 сек на записи (рис. 25) одно максимальное значение из десятки амплитуд, а на записи маятника ИГИС с периодом свободных колебаний 0.8 сек (рис. 26) десятки максимальных значений, что характерное явление при резонансных колебаниях. Что касается 9-этажных крупнопанельных зданий в Ленинакане, то кроме других известных преимуществ, их периоды (0.34 сек) в 1.5 раза меньше, чем 9-этажных зданий серии 111, т.е. для них явление резонанса маловероятно. Отметим, что два крупнопанельных здания не обрушились и в Спитаке, несмотря на большую интенсивность (0.8 g), они получили серьезные повреждения и в дальнейшем были снесены. Другой причиной больших повреждений в Ленинакане, на которую не обращается внимание, на наш взгляд, является то, что в течение первых 30 сек основного события (толчка) произошло 3 подсобытия, причем третье из них произошло через 10 сек (в момент начала самых больших ускорений на акселерограмме, записанной в Гукасяне – рис. 24а) после первого, эпицентр которого находился в 30 км к западу от первого события, т.е. на расстоянии всего 10-12 км от Ленинакана. Это означает, что эпицентральное расстояние (при третьем подсобытии) для Ленинакана было не 32 км, как отмечено выше, а 10-12 км и, наоборот, эпицентральное расстояние для Кировакана при этом событии было не 25 км, а примерно 40 км.

В заключение остановимся еще на одном обстоятельстве, связанном с периодом колебаний поврежденных и неповрежденных зданий. Такие отношения периодов можно использовать для инструментальной оценки степени повреждения зданий после землетрясения. В частности, такой способ оценки повреждений предусматривается нормами сейсмостойкого строительства Армении. В качестве неповрежденных зданий принимались здания, построенные в Ереване, а поврежденных – их типовые близнецы в городах

Таблица 6 — Периоды свободных колебаний поврежденных и не поврежденных зданий

Конструктивное решение здания	Периоды свободных колебаний (средние), в сек		Увеличение периода колебания здания в результате его повреждения, в %	Степень повреждения по СНРА II-6.02.2006
	неповрежденного здания	поврежденного здания		
5-этажные каменные здания серии 1А-451	0.295	0.461	56.3	3-4
9-этажные каркасно-панельные здания серии 111	0.578	0.886	53.3	2-3
9-этажные крупнопанельные здания серии А1-451КП	0.382	0.430	12.5	1-2

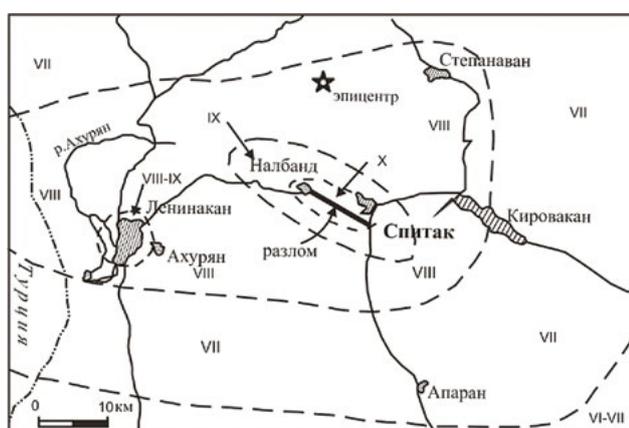


Рисунок 34 — Изосейсты Спитакского землетрясения [2]

Ленинакан и Кировакан. Были использованы результаты измерений японских специалистов, проведенные в феврале 1989 года совместно с сотрудниками АрмНИИСА с нашим участием. В Ереване были измерены периоды двух 5-этажных каменных зданий серии 1А-451, четырех 9-этажных зданий серии 111 и двух крупнопанельных зданий серии 1А-451КП, в Кировакане четырех каменных (поврежденных), зданий серии 111 (поврежденных) и в Ленинакане одного крупнопанельного (поврежденного) здания. После землетрясения в центральной части Ленинакана не оказалось полностью разрушенных зданий серий 1А-451 и 111 для измерения их периодов.

Периоды всех зданий измерялись как в продольном, так и в поперечном направлениях. Среднее значение периода колебаний (независимо от направления) неповрежденных 5-этажных каменных зданий (в Ереване) оказалось 0.295 сек, поврежденных (в Кировакане) 0.461 сек, неповрежденных 9-этажных серии 111 – 0.578 сек, поврежденных – 0.886 сек, неповрежденных 9-этажных крупнопанельных – 0.382 сек, поврежденных (в Ленинакане) – 0.430 сек. Сводные результаты сравнительного анализа приведены в табл.6. **Таким образом, наибольшее увеличение периода свободных колебаний в результате землетрясения имело место для каменных зданий в 1.56 раза, далее для сборных каркасных зданий в 1.53 раза и наименьшее увеличение для крупнопанельных зданий в 1.12 раза.** Из этих зданий каменные в результате землетрясения получили повреждения 3-4-й степени

(в Кировакане), каркасные – 2-3-й степени (в Кировакане), а крупнопанельные – 1-2-й степени (в Ленинакане) по шкале повреждений норм сейсмостойкого строительства Республики Армения [24].

После Спитакского землетрясения было много споров и о его изосейстах. Было составлено много вариантов изосейст. Они сильно отличались в основном относительно территории города Ленинакана. Не останавливаясь подробно на вариантах изосейст, учитывая, что их составление всегда носит сугубо индивидуальный и субъективный характер, на рис.34 показана одна из схем изосейст, составленная группой советских и иностранных специалистов непосредственно в первые дни после землетрясения [2], которая более или менее соответствует реальному распределению повреждений.

Первое заключение об интенсивности Спитакского землетрясения и причинах массовых разрушений было составлено уже 15 декабря 1988 г. группой ученых бывшего СССР в составе Т.Р. Рашидова, Б.К. Карапетяна, М.У. Ашимбаева, Н.Н. Бургмана, Б.Е. Денисова, Т.Ж. Жунусова, А.А. Иманходшаева, Л.С. Килимника, В.А. Ржевского, А.О. Саакяна, Р.О. Саакяна, Э.Е. Хачияна, Г.Х. Хожметова, С.Г. Шагиняна, согласно которому интенсивность землетрясения в эпицентральной зоне была не менее 10 баллов, а в Ленинакане не менее 9 баллов.

В первые дни трагедии большую работу по оказанию технической помощи Армении, в том числе по обследованию технического состояния зданий и сооружений в зоне бедствия, провели специалисты Министерства обороны СССР под руководством генералов К.М. Вертелева и В.С. Удалцева.

Более подробные сведения о характерах и причинах повреждений и разрушений каменных, железобетонных жилых и общественных зданий, транспортных и гидротехнических сооружений, историко-архитектурных памятников, составленные Т.Г. Маркаряном, Л.А. Давтяном, Р.А. Бадаляном, Р.С. Азояном, Г.С. Шестоперовым, А.М. Аветисяном, А.Н. Саркисяном, С.Г. Шагиняном, Р.Н. Арутюняном, С.Г. Азизяном, В.И. Григорьяном приведены в книге «Трагедия Спитака не должна повториться», изданной под редакцией Э.Е. Хачияна к 10-летию землетрясения в 1998 году [11].

До этого в советских и иностранных научных журналах и сборниках, газетах и научно-популярных изданиях были опубликованы многочисленные статьи и сообщения об инженерном анализе последствий Спитакского землетрясения, авторами которых являлись: Я.М. Айзенберг, Р.О. Амасян,

Г. Аминтаев, Р.А. Атабекян, Ф.О. Аракелян, М.У. Ашимбаев, Н.Н. Бургман, В.Г. Григорян, В.Г. Гарибян, Б.Е. Денисов, Н.Я. Дорман, А.М. Жаров, Т.Ж. Жунусов, В.Б. Заалишвили, Р.А. Затилян, В.А. Ильичев, Г.А. Казина, Б.К. Карапетян, М.Х. Карапетян, Л.Ш. Килимник, М.А. Клячко, В.Т. Корнилов, Л.А. Манукян, А.В. Манукян, А.Н. Мартемянов, М.А. Марджанишвили, Л.Н. Махатадзе, А.М. Мелентьев, М.Г. Мелкумян, В.С. Микаелян, Э.Л. Микаелян, В.Л. Мнацаканян, Г.С. Мурадян, Т.Н. Мухадзе, Л.А. Мхитарян, Д.А. Мхитарян, С.Н. Назаретян, А.А. Овсепян, С.М. Оганесян, Н.Л. Оганесян, В.Н. Ойзерман, А.С. Платонов, А.С. Поляян, С.В. Поляков, В.А. Ржевский, Е.А. Теняев, К.А. Тоноян, А.М. Уздин, Ш.А. Хакимов, С.О. Хачатрян, З.М. Хлгатын, И.Ф. Цепенюк, Г.Ш. Чануквадзе, В.М. Черкасов, В.В. Чугурян, В.В. Штейнберг, А.С. Юзбашян и большая группа иностранных специалистов [2]. О Спитакском землетрясении было написано много статей, и вряд ли кому-нибудь удалось бы проследить за всеми публикациями. Поэтому прошу прощения у тех авторов, фамилии которых здесь не упомянуты.

На последующих страницах показан ряд характерных иллюстраций последствий землетрясения, которые, по нашему мнению, не нуждаются в комментариях.

7. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

От землетрясения пострадало более 40% территории РА, где проживало более одного миллиона людей. Жертвой землетрясения стали более 25 тысяч человек, 19 тысяч были ранены и более чем 500 тысяч остались без крова. Самое печальное, что погибло много детей. Из-под завалов извлечено 39755 пострадавших, спасена жизнь почти 16000 человек, госпитализировано 12495 пострадавших. Из зоны бедствия было эвакуировано 119474 детей, женщин и стариков, часть которых была вывезена за пределы Армении. Полностью и частично были разрушены 21 город и райцентры, 324 села. Полностью был разрушен город Спитак и прилегающие к нему села. Более 20% жилищного фонда вышло из строя или получило тяжелые повреждения.

Подверглись сильным повреждениям более 2 тысяч школ, детских садов, объекты медицинского и бытового обслуживания, культуры и торговли. Общая картина ущерба, причиненного землетрясением, приведена в табл. 7. От землетрясения в целом пострадало 9 млн. квадратных метров жилплощади, из которых 4.7 млн. квадратных метров или полностью вышли из строя или подлежали сносу из-за сильных повреждений (аварийность). Полностью или частично разрушено 230 промышленных, 80 перерабатывающих объектов и 300 коллективных сельских хозяйств, 224 животноводческие фермы. Вышли из строя или были разрушены объекты сети водо-, тепло- и газоснабжения, линии электропередач, более 600 км автодорог, 10 км железнодорожных путей, 13 узлов связи. Общая сумма ущерба от землетрясения составила более чем 13 миллиардов рублей в валюте бывшего СССР 1988 года. После землетрясения было много разговоров (они продолжаются и по сей день) о сравнительно большом числе человеческих жертв и объеме материального ущерба по сравнению с другими землетрясениями той же силы. **Мы уже отметили, что в этом деле существенную роль играли низкий нормативный уровень сейсмической опасности и недостаточный запас несущей способности, принятой при проектиро-**

вании объектов на всей территории зоны бедствия, неудовлетворительное конструктивное решение зданий и качество строительства, неблагоприятное сочетание динамических характеристик грунтов и зданий, приводящих к резонансным явлениям, и, наконец, отсутствие эффективных спасательных служб и медицинской помощи в первые часы землетрясения [11]. Немалую роль играло и время землетрясения. В зоне бедствия были разрушены и пришли в аварийное состояние общеобразовательные школы на 210 тыс. уч. мест. В момент землетрясения в 11 часов 41 мин. местного времени все ученики находились непосредственно на классных занятиях. Случилась бы беда на несколько минут позже, во время перемены, жертв среди учеников было бы значительно меньше. Но нам кажется, что в этих сравнительных оценках с другими землетрясениями кроется еще одно существенное упущение. Ведь, как было сказано, 7 декабря 1988 года на территории Армении произошло **не одно, а два землетрясения с магнитудами $M=6.8$ и $M=6.25$, с худшим, с точки зрения безопасности людей, промежутком времени между ними – всего 4 мин и 21 сек.** Как было отмечено выше этот афтершок причинил обширный дополнительный значительный ущерб зданиям и сооружениям, уже ослабленным или поврежденным главным толчком. Естественно, он и стал причиной смерти тысяч людей. Многие в ходе эвакуации из поврежденных, но все еще устоявших зданий, не успев покинуть их, были накрыты окончательными разрушениями от этого мощного афтершока. Кроме того, как видно из табл. 1, в течение первых 24 часов с начала землетрясения произошли по крайней мере 10 форшоков с магнитудами 4.5-5.0, которые стали еще одной, дополнительной причиной роста повреждений и гибели людей. Это означает, что в течение одних суток произошли 10 землетрясений с интенсивностью VII-X баллов, что, по нашему мнению, является одной из основных причин большого объема разрушений и числа жертв при Спитакском землетрясении. Если бы в этот день произошло только второе землетрясение с магнитудой $M=6.25$, то еще неизвестно, каково было бы число жертв (см. также [2]). В частности, при землетрясении в Баме (Иран) 26.12.2003 года с такой же магнитудой $M=6.3$ погибло более 50000 человек. Поэтому при таких формальных сравнениях числа жертв и объема ущерба в случае Спитакского землетрясения минимум надо разделить пополам.

Мировой опыт и статистика позволяют приблизительно оценить следующие людские потери **в городах развивающихся стран:**

- при умеренных землетрясениях (8 баллов по шкалам MSK и ESC) погибает в среднем 0.5% населения, 2% получают серьезные ранения;
- при сильных землетрясениях (9 баллов) погибает в среднем 5% населения, 20% получают серьезные ранения.

Нам кажется, что данные таблицы 7 о числе погибших во время Спитакского землетрясения укладываются в такую статистическую оценку.

Столь катастрофическое стихийное бедствие оказало сильное отрицательное воздействие на рождаемость и воспроизводство населения, на демографическое положение страны и на нервно-психическое состояние людей. Армяне, известные своим трудолюбием и энергичностью, в дни землетрясения оказались беспомощными и не в силах даже вос-

РАЗРУШЕНИЯ, ПРИЧИНЕННЫЕ СПИТАКСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ

Каменные здания



Индивидуальные сельские дома



Железобетонные здания



Промышленные здания



Опрокидывание железнодорожных вагонов



Инженерные сооружения



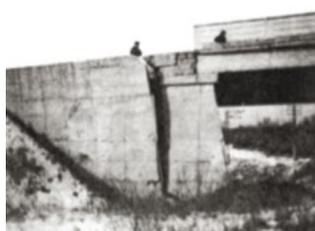


Таблица 7 — Общий объем ущерба Спитакского землетрясения [28]

Территория, пострадавшая от землетрясения	Число жителей		Жилые дома		Промышленные и сельскохозяйственные предприятия		Общественные здания и сооружения		Процент разрушения
	Полное	Погибли	Построено	Разрушено	Построено	Разрушено	Построено	Разрушено	
Спитак	18500	9733	433	433	9	6	28	24	100
Ленинакан	232000	9974	12450	11250	40	40	669	323	75
Кировакан	171000	420	7162	2333	34	6	456	-	25
Степанаван	21000	63	2134	1430	9	1	134	12	67
Сельская местность	146500	4352	29533	20094	1404	1293	581	186	34
Вся зона воздействия	589000	24542	51712	35395	1496	1348	1868	540	60

становить свой собственный дом. Пострадавшим необходима была не только экстренная медицинская помощь (хирургическое вмешательство и переливание крови), но и психологическая помощь. Особенно это касалось детей и людей, потерявших родных и близких. Рассказывали, что у одной девочки по имени Гаяне, выжившей после недельного пребывания под обломками, было шоковое состояние и исчезли все человеческие реакции. Но достаточно было непродолжительного общения с московскими психологами Ф. Коньковым и В. Коношкиным, как она заговорила в первый же день.

И еще об одной экстремально-психологической ситуации, имевшей место в Армении в тяжелые декабрьские дни 1988 года. По распоряжению прокурора по надзору за соблюдением законов в исправительно-трудовых учреждениях Степана Мнацаканяна осужденным, отбывающим наказание в ИТУ и имеющим родных и близких в зоне землетрясения, с 8 декабря, с целью предотвращения их самовольного ухода, были предоставлены краткосрочные отпуска (до 7 дней) для поиска родных и близких по месту проживания. После истечения срока отпуска из 288 осужденных не вернулись только двое, причем один осужденный нашел и сдал государству сейф с 40 тысячами рублей. Ни один осужденный не был уличен в мародерстве или ином криминале.

Спитакское землетрясение одновременно выявило недопустимо низкий уровень подготовленности органов государственного управления Армянской ССР и населения в целом к чрезвычайным условиям, вызываемым стихийными бедствиями.

8. МЕЖДУНАРОДНАЯ СОЛИДАРНОСТЬ И НЕОТЛОЖНАЯ ПОМОЩЬ В ЗОНЕ БЕДСТВИЯ

Спитакское землетрясение и его тяжелые последствия вызвали огромный международный отклик во всем мире. Это были времена конца «холодной войны» и начала демократических преобразований во всей политической и общественной жизни СССР. Армения была в первых рядах этих процессов со своими многотысячными мирными митингами и демонстрациями, направленными на справедливое разрешение Карабахского вопроса. Землетрясение стало причиной своеобразной беспрецедентной солидарности с Арменией, которая спонтанно возникла во всем мире.

Со всех концов СССР и всего мира руку помощи армянскому народу протянули тысячи людей, спасатели, врачи, научные работники, парламентарии, министры и главы правительств, работники искусства и культуры, студенты и школьники. Армения в качестве помощи в большом количестве получала кровь для переливания, продукты питания, одежду, лекарства и медицинское оборудование, средства связи, палатки и домики, домостроительные комбинаты и технологическое оборудование. Координацию работ по оказанию помощи возглавлял председатель правительства СССР Н.И. Рыжков, внесший огромный вклад в оказание помощи населению в первые часы и дни после землетрясения. В первые минуты и часы после трагедии с продуктами питания и одеждой на помощь спешили представители соседней Грузии. В спасательных работах при-

Таблица 8 — Объемы строительства социальных объектов за 1989-1990 гг. по бывшим Союзным республикам [11]

Наименование объектов и исполнителей	Единица измерения	Фактическое выполнение
<i>Российская Федерация</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	531
Общеобразовательные школы	тыс.уч.м.	2.9
Дошкольные учреждения	тыс.мест тыс.коек	1
Больницы	тыс.пос.в смену	0.1
Поликлиники		0.12
<i>Украина</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	174
Общеобразовательные школы	тыс.уч.м.	1.7
Дошкольные учреждения	тыс.мест тыс.коек	0.67
Больницы	тыс.пос.в смену	0.02
Поликлиники		0.04
<i>Республика Беларусь</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	26
Дошкольные учреждения	тыс.мест	0.14
<i>Республика Узбекистан</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	42
Общеобразовательные школы	тыс.уч.м.	1.2
Дошкольные учреждения	тыс.мест	0.14
<i>Республика Казахстан</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	4
Больницы	тыс.коек	0.1
<i>Республика Молдова</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	11
Общеобразовательные школы	тыс.уч.м.	0.96
Дошкольные учреждения	тыс.мест	0.15
<i>Республика Кыргызстан</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	10
<i>Республика Таджикистан</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	2
<i>Республика Туркменистан</i>		
Жилищное строительство	тыс.кв.м.	9
<i>Республика Грузия</i>		
Жильё	тыс.кв.м.	19
<i>Литовская Республика</i>		
Жильё	тыс.кв.м.	23.4
Школы	тыс.уч.м.	0.8
<i>Латвийская Республика</i>		
Жильё	тыс.кв.м.	13
<i>Эстонская Республика</i>		
Жильё	тыс.кв.м.	12

нимали активное участие представители Франции, Греции, США, Англии, Канады, Австрии, Италии, Алжира, Югославии, Польши и других стран. Их самоотверженным трудом были спасены жизни тысяч людей. Грандиозную работу по доставке помощи совершили сотни летчиков из разных стран, совершив более 900 авиарейсов. Беспрецедентным по своим масштабам была медицинская помощь. В зону бедствия прибыли 417 врачей из 17 зарубежных стран. Грузия направила в зону бедствия 25 машин «Скорой помощи» с бригадами врачей. В течение суток работали более 6000 врачей, для госпитализации было развернуто около 10 тыс.

коек. В оказании неотложной медицинской помощи пострадавшим самоотверженную работу провели Е.И. Чазов, П.И. Черняев, Л. Рошаль (Россия), О. Гудушаури (Грузия), К.Н. Козбе и И.В. Тофану (Молдавия), Нгуен Хан Цзы (Вьетнам), Мики Винер (Израиль) и др. Из зоны бедствия 40 тыс. человек были эвакуированы в Грузию, Крым, Ставропольский и на Кубань. Сотни детей и раненых получили медицинскую помощь в больницах США, Италии, Франции, Германии и других стран. Материальная помощь зарубежных стран составила 500 млн. долларов, финансовая помощь – 80 млн. долларов. Помощь армянской диаспоры – 50 млн.

Таблица 9 — Объекты, построенные в зоне землетрясения при финансировании правительств, фирм и организаций зарубежных стран (кроме СНГ) [11]

Наименование стран	Жилье, тыс. кв.м.	Школы, уч. мест	Детсады, мест	Больницы, коек	Поликлиники, штук	Произв. объекты, штук
Австрия	10.2	252	165	150	1	1
США	24.5	50	50	410	7	3
Болгария	18					
Великобритания	0.6	400		60		
Венгрия		360				
Германия	24.5		240	240	7	1
Дания	1.7	300				
Голландия	0.2					
Италия	12.7	1560	190	120	4	3
Монголия		420	120			
Норвегия	2.0			288		
Польша	0.2				1	1
Финляндия		50	50	500	4	
Франция	9.1	150			31	
Чехия		1280				1
Швейцария	7.7			90	6	1
Швеция	0.3					
Югославия	6.8		75			
Разные организ.	14.3	200	300	157	10	
Всего	348.0	4722	1490	2015	71	11

долларов. Общая сумма помощи от республик бывшего СССР составила 1.4 миллиарда рублей. Из Лондона было перечислено 5 миллионов фунтов стерлингов, Арманд Хамер лично привез в Ереван чек на миллион долларов, медикаменты, оборудование, аппарат «искусственная почка». В Армению приехали сын и внук Джорджа Буша-старшего, президента США, передав Армении тонны грузов – медицинское оборудование, лекарства, игрушки. Семья Бурды выделила 1 миллион марок ФРГ. Руководитель японской миссии сейсмологов и инженеров, приехавших в зону бедствия, С. Суехиро подарил АрмНИИ сейсмостойкого строительства измерительно-вычислительный комплекс OMNILIGHT-8M, для измерения микроколебаний грунтов. 10 декабря 1988 года был объявлен Днем траура. Армянский народ благодарен и признателен всем, кто в трагические часы пришел на помощь. Он высоко оценивает гуманизм и отвагу спасателей и врачей, летчиков, рабочих и солдат, щедрую материальную, финансовую и техническую помощь правительств, фирм, организаций и отдельных граждан. В знак признательности 2256 представителей различных стран мира и организаций были награждены памятными медалями и грамотами правительства Республики Армения. Ряд новых школ были названы именами знаменитых писателей и деятелей культуры помогающих

стран. В местах падения двух самолетов, доставляющих помощь в зону бедствия (югославский АН-12 и советский ИЛ-75), в знак благодарности и увековечения памяти погибших летчиков и военнослужащих сооружены мемориальные памятники.

В первые дни после землетрясения с помощью специалистов и рабочих из разных стран были восстановлены десятки объектов первой необходимости. С нового 1989 г. началось осуществление большой программы восстановительных работ, составленной Правительством СССР. Было предусмотрено за 2 года построить 5.3 млн квадратных метров жилья, школ, больниц и других объектов. В эту работу включались все союзные республики СССР. Однако после распада СССР большая часть программы восстановления осталась невыполненной. Объемы строительства социальных объектов за 1989-90 гг. по бывшим Союзным Республикам приведены в табл. 8, объекты, построенные правительствами разных стран, в табл. 9.

Полностью восстановить зону бедствия Армении еще не удалось. Об этом в последние годы постоянно заботится правительство Армении и общепармянский фонд «Айастан».

В деле помощи Армении своей государственной деятельностью и собственными пожертвованиями способствовали Дж. Буш, Р. Рейган, Дж. Бекер, Р. Доул, В. Оуэнс, Л. Преслер,

П. Саймон, Дж. Докмеджян, А. Хамер, Д. Петерсон, Д. Кео (США), М. Тетчер (Англия), Г. Коль (Германия), Ф. Миттеран, П. Жокс, Ж. Ширак, М. Дераж, Ш. Азнавур (Франция), Р. Хоук (Австралия), Э. Бернабелли (Италия), Ж. Сарней (Бразилия), Ф. Закария (Дания), Д. Гелерман (Израиль), мать Тереза (Индия), А. Хахеми-Рафсанджани (Иран) и многие другие. Президент Кипра Г. Василиу сдал свою кровь в помощь жертвам землетрясений. Премьер-министр Великобритании М. Тетчер специально прилетела в Лениканан, чтобы лично присутствовать на церемонии открытия «английской» школы на 400 уч. мест, построенной британским правительством.

Во многих странах мира для помощи Армении были организованы десятки благотворительных концертов, музыкальных фестивалей, футбольных и хоккейных матчей с участием знаменитых артистов и спортсменов. Все «звезды» французской эстрады принимали участие в записи песни Ш. Азнавур «Тебе, Армения». Большой благотворительный концерт «Детям Армении» состоялся в Нью-Йорке в знаменитом Карнеги-холле с участием П. Доминго, М. Ростроповича, Е. Образцовой, С. Рейми, В. Виадро, Ф. Фон-Штада, П. Бурчуладзе, А. Мило, Р. Репина. По сообщениям информагентств, в декабрьские дни 1988 г., накануне Рождества, на улице далекого Сиднея прохожие могли видеть хрупкую обаятельную девчушку лет семи, она играла на скрипке народные

мелодии. Майорет Джамирзе, так звали девушку, нарисовала плакат с улыбающимся солнышком и написала: «Желаю вам радостного Рождества и наилучшие пожелания в Новом году. Пожалуйста, жертвуйте пострадавшим от землетрясения в Армении. Бог воздаст вам за это». Стараниями девушки Майореты и ее семьи было прислано 1500 долларов в фонд помощи Армении. О большой помощи, оказанной международным сообществом армянскому народу в ликвидации последствий разрушительного землетрясения, о подвигах, проявленных при этом тысячами врачей, спасателей, летчиков, машинистов и водителей, строителей и рабочих было издано много книг и статей [29,30,31]. Тяжело переживал трагедию Армении знаменитый английский писатель Грэм Грин: «Я поражен солидарностью людей. Армения стала нашей общей бедой, пепел ее руин стучит в моем сердце... Катастрофа, которая произошла в этой маленькой республике, словно пробудила лучшие человеческие чувства. И теперь мне кажется, что мир изменился, стал лучше. Люди больше думают о себе подобных, сопереживают и, я надеюсь, что такое ощущение общей причастности сохранится, не исчезнет, выкристаллизуется в нечто постоянное».

На этой позитивной ноте позволим себе завершить изложение анализа особенностей Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года и его последствий.

Литература

1. EERI "Armenia Earthquake Reconnaissance Report" *Earthquake Spectra, Special Supplement*. Editors Loring A. Wyllie, John R. Filson. August, 1989. P.175.
2. SPITAK-88. *Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake*. Sponsored by UNESCO. Yerevan. May 23-26, 1989. 503 p.
3. Filson J., Borchardt R., Langer C., Simpson D. *1 Seismology. Armenian Earthquake Reconnaissance Report. Earthquake Spectra, Special Supplement*. August, 1989. Pp.1-12.
4. Yeghyan M.K., Ghahraman V.G. *The Armenian Earthquake of December 1988 Northeastern University, Boston, Massachusetts*. October, 1992. 216 p.
5. Sharp R.V. *Surface Faulting Preliminary view. Earthquake Spectra, Special Supplement*. August, 1989. Pp.12-33.
6. Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И. *Активные разломы и сейсмичность//Природа*. 1989. N12. С. 32-38.
7. Wells D.L. and Coppersmith K.I. *New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement//Bulletin the Seismological Society of America*. N4, vol.84, August, 1994. Pp.974-1002.
8. Карапетян Н.К. *Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья*. Ереван: Издательство АН Армянской ССР. 1990. 264 с.
9. Borchardt R., Glassmoyer G., Andrews M. and Granswick E. *Effect of Site Condition on ground motion and Damage. Earthquake Spectra*. August, 1989. Pp.23-42.
10. Cisternas A. et al. *The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: field observations, seismology and tectonics//Nature*, 339 (6227). U.K. Pp.675-679.
11. *Трагедия Спитак не должна повториться (к 10-летию Спитакского землетрясения)*. Отв. ред. академик НАН РА Э.Е.Хачиян. Ереван: Воскан Ереванци. 1998. 246 с.
12. Боммер Дж. *Сохранилась единственная запись основного толчка в ближней зоне//Природа*. 1989. N12. С.81.
13. Мартиросян Р.П., Мхитарян Л.А., Тоноян К.А., Григорян Е.К. *Анализ инструментальных данных сильных движений Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года*. Изв. АН Арм. ССР "Наука о Земле". XLII. 1989. N4. Pp. 67-73.
14. Der-Kiureghyan A. *Strong-Motion Records. Earthquake Spectra*. August, 1989 *Special Supplement "Armenia Earthquake Reconnaissance Report"*. Pp. 43-53.
15. Хачиян Э.Е., Мелкумян М.Г. *Запись Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года инженерно-сейсмическими станциями города Ереван*. Уроки землетрясения. Ереван. 1989. 34 с.
16. Arakelyan F.O., Darbinyan S.S., Hakopyan H.A., Mnatsakanyan V.L., Mikaelyan A.N., Poghosyan O.K. *Macroseismic Investigation of Power Plants and Instrumental records of the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO*. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp. 447-451.
17. Ambraseys N.N. and Adams R.D. *Long-term seismicity of North Armenia. EOS, Trans. Am. Geoph. Union*, 70 (10), 145. 1989. Pp.152-154.
18. Хачиян Э.Е. *Прикладная сейсмология*. Ереван: Гутутюн. 2008. 518 с.
19. Karapetyan B.K., Martosyan R.P., Mkhitarian L.A., Tonoyan K.A., Grigoryan F.K., Arakelyan F.O., Pogossyan O.K., Mnatsakanyan V.L., Akopyan G.A. *Instrumental Data for Basic Shocks of the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO*. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.21-29.
20. Hadjian A.H. *The Spitak, Armenian Earthquake of 7 december 1988 – why so much destruction//Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 1993. № 12. Pp. 1-24.
21. Ishihara K. *Effects of Ground Condition on the Damage the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO*. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.107-121.
22. Kobayashi H., Ohtani K. *Dynamic Properties of Ground and Buildings in Armenia Based on Measurements of Microtremors. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO*. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.141-153.
23. СНУП II-7-81. *Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования*. М., 1982.С.
24. ЧПА II-6.02.2006. *Сейсмостойкое строу-*

- тельство. Нормы проектирования. Ереван, 2006. 120 с.
25. СНПА II-6.02-94. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Ереван, 1995. 70 с.
25. Окомото М. Сейсмостойкость инженерных сооружений. М., 1980. 342 с.
26. Халтурин В.И., Геодакян Э.Г., Мхитарян Л.А., Саргсян И.М., Шахмамедов А.М. Усиление макросейсмического эффекта в г. Ленинакане. Изв. НАН РА, Науки о Земле. 1990. XVIII. N1. С. 47-55
27. Suyehiro S., Okada T., Kobayashi H., Hirokawa M., Murakami M., Sugano S. Evaluaton of the Results Obtained by the Japenese Mission of Armenia. Proceeding of Internatonal Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.87-106.
28. Многоаспектное изучение бедствий и планированное управление ими в Армении. Миссия ЮНДРО в Армению 11-30 сентября, 1989. Организация объединенных наций. Нью-Йорк, 1990 (рукопись).
29. Армения: беда, милосердие, возрождение. М.: Прометей. 1989. 174 с.
30. Армения, декабрь 88. Ереван: Айастан. 1990. 558 с.
31. Гай Д.Н. Унесу боль твою... М.: Юридическая литература. 1989. 272 с.
32. Айзенберг Я.М. Строительная наука против стихии// Природа. 1989. №12. С.68-77.
33. Никонов А.А. Земля землетрясений// Природа. 1989. N12. С.39-46.
34. Заключение государственной комиссии о качестве проектирования и строительства жилых и общественных зданий массовых серий в северных районах Армянской ССР, причинах их разрушений и предложения по совершенствованию практики проектирования и строительства в районах с высокой сейсмичностью. М., 1989.
35. Khachiyani E.E. Spitak Earthquake 1988 (Intensity and Effects on Structures) ARMNIIISA Report. Yerevan. 1989. 11 p.
36. Khachiyani E.E., Melkoumyan M.G. Recording of Spitak Earthquake on December 7, 1988 by the Seismic Staton of Yerevan. Lesson of the Earthquake (Trans. with additon from Russian. Editon 1989). Yerevan. 1994. P.38.
37. Хачиян Э.Е. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года: основные сейсмологические параметры и социально экономические последствия землетрясения. В кн.: "Трагедия Спитака не должна повториться". Ереван: Издательство Воскан Ереванци. 1998. С.7-29.
38. Eizenberg J.M. Spectra and Damages of the Spitak-88 Earthquake. Spitak-88, Proceeding of Internatonal Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.291-301.
39. Khachiyani E.Y. Antseismic Desigh and Constructons. Proceeding of Internatonal Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.471-482..

Материалы хранятся по адресу:
0009, Армения, г. Ереван, ул. Теряна, 105
Национальный университет
архитектуры и строительства Армении
Кафедра строительной механики

KHACHIYAN E., Academician, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Doctor of Science, Professor, Head, Chair of Structural Analysis, National University of Architecture and Construction of Armenia

THE SPITAK EARTHQUAKE OF 7 DESEMBER 1988: MAIN SEISMOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ANALYSIS OF ITS DESTRUCTIVE EFFECTS (TO THE THIRTY YEARS AFTER THE EARTHQUAKE)

Abstract

December 7, 1988 in the Northern regions of the Republic of Armenia there was a strong earthquake, which later became known as the Spitak earthquake. It caused massive destruction of buildings and structures, caused great material damage to the country and claimed the lives of thousands of people.

After 30 years, the lessons of the Spitak earthquake are still instructive, both for the engineering community and for the common man in the street. A detailed scientific account of all the features and consequences of the Spitak earthquake is given in this article.

Unfortunately, there are very few instrumental records of the Spitak earthquake. The article provides an analysis of the few accelerograms of the earthquake, which were registered both at seismic stations of the former USSR and abroad. Presented and analyzed the geophysical and energy characteristics of the focus of earthquakes, foreshocks and aftershocks of the seismic event.

The earthquake in the epicentral zone caused significant geo-

technical changes on the Earth's surface in the form of dislocations, landslides, ledges, cracks, falling large volumes of rock, soil liquefaction, destruction of the railway track. The results of studies to assess the impact of local soil conditions on the strengthening or weakening of the level of concussion of soils.

The article presents a method of instrumental assessment of the degree of damage to buildings after the earthquake, regulated by the norms of earthquake-resistant construction in Armenia. The method is based on the ratio of periods of oscillation of damaged and undamaged buildings.

The article also discusses the socio-economic consequences of the Spitak earthquake, and describes the great assistance provided by the international community to the Armenian people in the aftermath of the devastating earthquake, the feats shown by thousands of doctors, rescuers, pilots, drivers, builders and workers.

Keywords: the Spitak earthquake disaster, aftershocks, epicenter, velocigrams, accelerogram, seismogram.

References

- EERI "Armenia Earthquake Reconnaissance Report" Earthquake Spectra, Special Supplement. Editors Loring A. Wyllie, John R. Filson. August, 1989. P. 175.
- SPITAK-88. Proceeding of Internatonal Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan. May 23-26, 1989. 503 p.
- Filson J., Borcherdet R., Langer C., Simpson D. 1 Seismology. Armenian Earthquake Reconnaissane Report. Earthquake Spectra, Special Supplement. August, 1989. Pp.1-12.
- Yeghyan M.K., Ghahraman V.G. The Armenian Earthquake of December 1988 Northeastern University, Boston, Massachusetts. October, 1992. 216 p.
- Sharp R.V. Surface Faultngg Apreliminary view. Earthquake Spectra,

- Special Supplement. August, 1989. Pp. 12-33.
6. Trifonov V.G., Karahyan A.S., Kozhurin A.I. Aktivnye razlomy i seismichnost'// Priroda.1989.№12.Pp. 32-38. (In Russian).
 7. Wells D.L. and Coppersmith K.I. New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement//Bulletin the Seismological Society of America. N4, vol.84, August, 1994. Pp.974-1002.
 8. Karapetyan N.K. Seismogeodinamika i mekhanizm vozniknoveniia zemletryaseniia Armyanskogo nagor'ia. Yerevan: Izdatel'stvo AN Armyanskoi SSR. 1990. 264 p. (In Russian).
 9. Borcherdt R., Glassmoyer G., Andrews M. and Granswick E. Effect of Site Condition on ground motion and Damage. Earthquake Spectra. August, 1989. Pp.23-42.
 10. Cisternas A. et al. The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: field observations, seismology and tectonics// Nature, 339 (6227). U.K. Pp.675-679.
 11. Tragediia Spitaka ne dolzna povtorit'sia (k 10-letiiu Spitakskogo zemletryaseniia). Otv. red. akademik NAN RA E.E. Khachiyani. Yerevan: Voskan Yerevantsi. 1998. 246 p. (In Russian).
 12. Bommer D. Sohranilas' edinstvennaia zapis' osnovnogo tolchka v bliznei zone// Priroda. 1989. №12. P.81. (In Russian).
 13. Martirosyan R.P., Mhitarian L.A., Tonoyan K.A., Grigiryan E.K. Analiz instrumental'nykh dannyyh sil'nykh dvizhenii Spitakskogo zemletryaseniia 7 dekabria 1988 goda. Izv. AN Arm.SSR, «Nauki o Zemle». T.XLII. 1989. №4. Pp. 67-73. (In Russian).
 14. Der-Kiureghyan A. Strong-Motion Records. Earthquake Spectra. August, 1989 Special Supplement "Armenia Earthquake Reconnaissance Report". Pp. 43-53.
 15. Khachiyani E.E., Melkoumyan M.G. Zapis' Spitakskogo zemletryaseniia 7 dekabria 1988 goda inzhenerno-seismicheskimi stantsiiami goroda Yerevan. Uroki zemletryaseniia. Yerevan. 1989. 34 p. (In Russian).
 16. Arakelyan F.O., Darbinyan S.S., Hakopyan H.A., Mnatsakanyan V.L., Mikaelyan A.N., Poghosyan O.K. Macroseismic Investigation of Power Plants and Instrumental records of the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp. 447-451.
 17. Ambraseys N.N. and Adams R.D. Long-term seismicity of North Armenia. EOS, Trans. Am. Geoph. Union, 70 (10), 145. 1989. Pp.152-154.
 18. Khachiyani E.E. Prikladnaia seismologiya [Applied seismology]. Yerevan: Gitutun. 2008. 518 p. (In Russian).
 19. Karapetyan B.K., Martirosyan R.P., Mhitarian L.A., Tonoyan K.A., Grigoryan F.K., Arakelyan F.O., Poghosyan O.K., Mnatsakanyan V.L., Akopyan G.A. Instrumental Data for Basic Shocks of the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.21-29.
 20. Hadjyan A.H. The Spitak, Armenian Earthquake of 7 december 1988 – why so much destruction//Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 1993. № 12. Pp. 1-24.
 21. Ishihara K. Effects of Ground Condition on the Damage the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.107-121.
 22. Kobayashi H., Ohtani K. Dynamic Properties of Ground and Buildings in Armenia Based on Measurements of Microtremors. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.141-153.
 23. SNiP II-7-81. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh. Normy proektirovaniia. M., 1982. (In Russian).
 24. SNRA II-6.02.2006. Seismostoiikoe stroitel'stvo. Normy proektirovaniia. Yerevan, 2006. 120 p. (In Russian).
 24. SNRA II-6.02.94. Seismostoiikoe stroitel'stvo. Normy proektirovaniia. Yerevan, 1995. 70 p. (In Russian).
 25. Okamoto M. Seismostoiikost' inzenernyyh sooruzhenii. M., 1980. 342 p. (In Russian).
 26. Halturin V.I., Geodakyan E.G., Mhitarian L.A., Sargsyan I.M., Shomahmedov A.M. Usilenie makroseismicheskogo efekta v g.Leninakan. Izv. NAN RA, Nauki o Zemle. 1990. XVIII. №1. Pp. 47-55 (In Russian).
 27. Suyehiro S., Okada T., Kobayashi H., Hirokawa M., Murakami M., Sugano S. Evaluation of the Results Obtained by the Japanese Mission of Armenia. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.87-106.
 28. Mnogoaspektnoe izuchenie bedstvii I planirovanie upravleniia imi v Armenii. Missiia UNDRO v Armeniiu 11-30 sentiabria, 1989. Organizatsiia ob'edinennykh natsii. N'iu-lork, 1990 (rukopis').
 29. Armenia: beda, miloserdie, vozroshdenie. M.: Prometei. 1989. 174 p. (In Russian).
 30. Armenia, dekabr'88. Yerevan: Aiastan. 1990. 558 p. (In Russian).
 31. Gai D.N. Unesu bol'tvoiu...M.: Iuridicheskaiia literature. 1989. 272 p. (In Russian).
 32. Eizenberg J.M. Stroitelnaia nauka protiv stihii // Priroda. 1989. №12. Pp.68-77. (In Russian).
 33. Nikonov A.A. Zemlia zemletriaseniia//Priroda. 1989. №12. Pp.39-46. (In Russian).
 34. Zakluchenie gosudarstvennoi komissii o kachestve proektirovaniia i stroitelstva zhilykh i obshchestvennykh zdaniy massovykh serii v severnykh raionakh Armianskoi SSR, prichinakh ih razrusheniia i predlozheniia po sovershenstvovaniiu praktiki proektirovaniia i stroitelstva v raionakh s vysokoi seismichnost'iu. M., 1989. (In Russian).
 35. Khachiyani E.E. Spitak Earthquake 1988 (Intensity and Effects on Structures) ARMNISA Report. Yerevan. 1989. 11 p.
 36. Khachiyani E.E., Melkoumyan M.G. Recording of Spitak Earthquake on December 7, 1988 by the Seismic Station of Yerevan. Lesson of the Earthquake (Trans. with addition from Russian. Editon 1989). Yerevan. 1994. P.38.
 37. Khachiyani E.E. Spitakskoe zemletryasenie 7 dekabria 1988 goda: osnovnye seismologicheskie parametry I sotsial'no-ekonomicheskie posledstviia zemletriaseniia. V kn.: «Tragediia Spitaka ne dolzna povtorit'sia». Yerevan: Voskan Yerevantsi. 1998. Pp.7-29. (In Russian).
 38. Eizenberg J.M. Spectra and Damages of the Spitak-88 Earthquake. Spitak-88, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.291-301.
 39. Khachiyani E.Y. Antiseismic Design and Constructions. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake. Sponsored by UNESCO. Yerevan, May 23-26, 1989. Pp.471-482.

Для цитирования: Хачиян Э.Е. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года: основные сейсмологические характеристики и анализ его разрушительных последствий (к тридцатилетию землетрясения) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №4. С. 9-30.

For citation: Khachiyani E.E. The Spitak earthquake of 7 december 1988: main seismological characteristics and analysis of its destructive effects (to the thirty years after the earthquake) // *Seismostoiikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 4, pp. 9-30. (In Russian).



30 YEARS AFTER THE SPITAK EARTHQUAKE: EXPERIENCE AND PERSPECTIVES

International Conference

December 03-07, 2018, Yerevan, Armenia

Dear colleagues,

The Organizing Committee announces “Thirty years after the Spitak Earthquake: Experience and Perspectives” International Conference dedicated to the devastating earthquake of 1988, which occurred in the north of Armenia. The Conference will take place in Yerevan on December 03-07, 2018.

The social shock caused by the Spitak earthquake brought seismological and geodynamic studies and seismic hazard and risk assessment in Armenia up to a new level. It served also an impetus to develop up-to-date studies on active tectonics and paleoseismology in the country and promoted international cooperation.

The Conference aims to bring together leading scientists as well as young scholars to present reports and exchange their experiences, as well as discuss recent innovations and further challenges in this field.

The conference will also include a visit to Gyumri and the epicentral zone. Approved abstracts will be published.

* Attached you can find the expression of interest form. Please fill in the form and return it to spitak1988@geology.am before April 15, 2018

CONFERENCE ORGANIZERS

National Academy of Sciences(NAS)

Institute of Geological Sciences (IGS NAS)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov (IGES NAS)

Ministry of Emergency Situations(MES)

Seismic Protection Territorial Survey SNCO (SPTS MES)

State Urban Development Committee adjunct to the government of the Republic of Armenia

International Science and Technology Center (ISTC) in Armenia

United Nations Development Programme (UNDP) State Committee of Science(SCS) of the Ministry of Education and Science

Georisk Scientific Research CJSC

Armenian Association of Seismology and Physics of the Earth (AASPE)

CONFERENCE TOPICS

1. The 1988 Spitak earthquake: field observations in the epicentral area; present-day seismicity of the region; new studies and results after 30 years;
2. Seismological and geophysical studies; seismotectonics, paleoseismology, archeoseismology, and earthquake engineering;
3. Geo-hazards, seismic risk assessment and seismic resilience;
4. Studies of social and cultural effects of strong earthquakes;
5. Strategy and international cooperation on disaster risk reduction.

Official Language of the Conference is English

Abstract submission procedure and details on presentations will be provided later.

CONFERENCE SCHEDULE

- December 03, 2018-Arrival to Yerevan
- December 04, 2018-Opening and General Session
- December 05-06, 2018-Conference section sessions by topics
- December 07, 2018-Visit to Gyumri and the epicentral zone, Departure

IMPORTANT DATES

- May 30, 2018-Deadline for submission of expression of interest form
- June 30, 2018- Deadline for abstract submission
- July 31, 2018- Notification of abstract acceptance and start of registration
- October 30, 2018- Closure of early-bird registration for the conference, accompanying participant's early-bird online registration fee payment

For further inquiries, feel free to contact the Organizing Committee Contact at:

E-mail: spitak1988@geology.am

Phone: +374 10524426