

О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ВАНАДЗОРА ПРИ СПИТАКСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 1988 ГОДА

© 2003 г. Р. А. Атабекян

Северный департамент агентства "Национальная служба
сейсмической защиты" УЧС РА
377510, Гюмри, ул. В. Саркисяна, 5а, Республика Армения
Поступила в редакцию 01.03.2003 г

На основе фактических материалов, накопленных в результате многолетних исследований в зоне влияния Спитакского землетрясения 1988г, сделана попытка определения основных факторов, влияющих на проявление интенсивности землетрясений на территории гор. Ванадзора. К числу таких факторов относятся сейсмо-тектонические, геоморфологические и грунтовые условия

О последствиях Спитакского землетрясения 1988г. написано достаточно много. Однако, вопросы значительного отличия ущерба в населенных пунктах, расположенных примерно на одинаковых расстояниях от эпицентральной зоны (зона афтершоков и сейсмогенный разрыв, рис.1), в частности в гг. Ванадзор, Гюмри, и по сей день требуют дополнительных исследований. На основании материалов публикаций и многолетних исследований, проведенных нами в зоне влияния Спитакского землетрясения, сделана попытка уточнения основных факторов, влияющих на проявление интенсивности землетрясений в пределах г.Ванадзора.

Спитакское землетрясение 1988г. с магнитудой 7,0 [2,3,10,12.] имело мультиплетный характер. В течение около 25 с. проявились минимум три субочага. По сейсмограммам определены координаты первого толчка: $40,996^{\circ}$ с.ш. и $44,197^{\circ}$ в.д. [8,10,12]. Второй толчок выявился к юго-востоку, а третий к северо-западу от первого толчка. Образованный сейсмогенный взброс-сдвиг берет начало от села Аллавар, расположенного в 9-10 км от г.Ванадзора, и протягивается почти на 35 км. к северо-западу до с.Дзорашен. В общей сложности эпицентральной зона расположена между гг.Ванадзор и Гюмри, ближе к г.Ванадзору (рис.1). Однако, здесь по сравнению с г.Гюмри имели место малые разрушения. При этом в г.Ванадзоре все разрушенные и сильно поврежденные здания были расположены на площадках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, на грунтах третьей категории или на склонах с общим уклоном более 8° [1,10,12].

Сравнительно малый ущерб в пределах г.Ванадзора, при близости эпицентральной зоны, на наш взгляд, обусловлен следующими основными факторами:

1. *Сеймотектонические условия* рассматриваемого района обусловлены рядом глубинных региональных и местных разломов. В районе исследования решающую роль играет Базум-Севанский глубинный разлом. Зона Базум-Севанского разлома представлена системой разрывных нарушений, проникающих до поверхности Мохо на глубине 40-45 км [3,5,10]. Согласно [3] г.Ва-

надзор расположен внутри зоны Памбак-Севан-Сюникского активного разлома (ограничение разломами по обоим бортам долины, в которой находится город (рис.1,2)). В районе исследования выделяется также Арарат-Спитак-Калининский субмеридиональный разлом [5], который практически ограничивает сейсмогенный разрыв у села Аллавар, юго-западнее г.Ванадзора. Территорию города пересекает один из протяженных разломов Севано-Ширакского синклинория – Памбак-Дзкнагетский разлом [10]. Отметим, что в пределах г.Ванадзора признаки активизации тектонических нарушений не наблюдались.

Еще в 1974г. было высказано предположение [6] о значительном влиянии различных нарушений, расположенных на пути сейсмического луча, на интенсивность проявления землетрясений в сторону уменьшения. По-видимому, при Спитакском землетрясении упомянутые выше разломы сыграли роль экрана (преграды) на пути сейсмических волн и привели к уменьшению интенсивности сейсмических колебаний в пределах г.Ванадзора.

2. *Геоморфологические условия* территории города Ванадзора характеризуются разнообразием и сложностью. Котловина, где расположен город, входит в Севано-Ширакскую зону высокой контрастности новейших движений. Она к западу сужается и у с.Дарпас ее ширина составляет менее одного километра. С южной стороны к городу примыкают северные, в основном пологие, лесистые склоны отрогов Памбакского хребта. С северной стороны территория центральной части города ограничена южными, крутыми, местами отвесными, скалистыми склонами Базумского хребта. У основания упомянутых хребтов, в устьях притоков р.Памбак, распространяются мощные конусы выноса, представленные делювиально-пролювиальными отложениями. На территории города долина р.Памбак занимает центральное положение и представлена руслом, поймой, надпойменной террасой и четко оконтуривается уступами второй надпойменной террасы высотой бровки 6-10 м [10]. Ширина долины составляет до 1,6 км. На рис.2 приведен характерный для г.Ванадзора схематический инженерно-геологический разрез, в соответствии

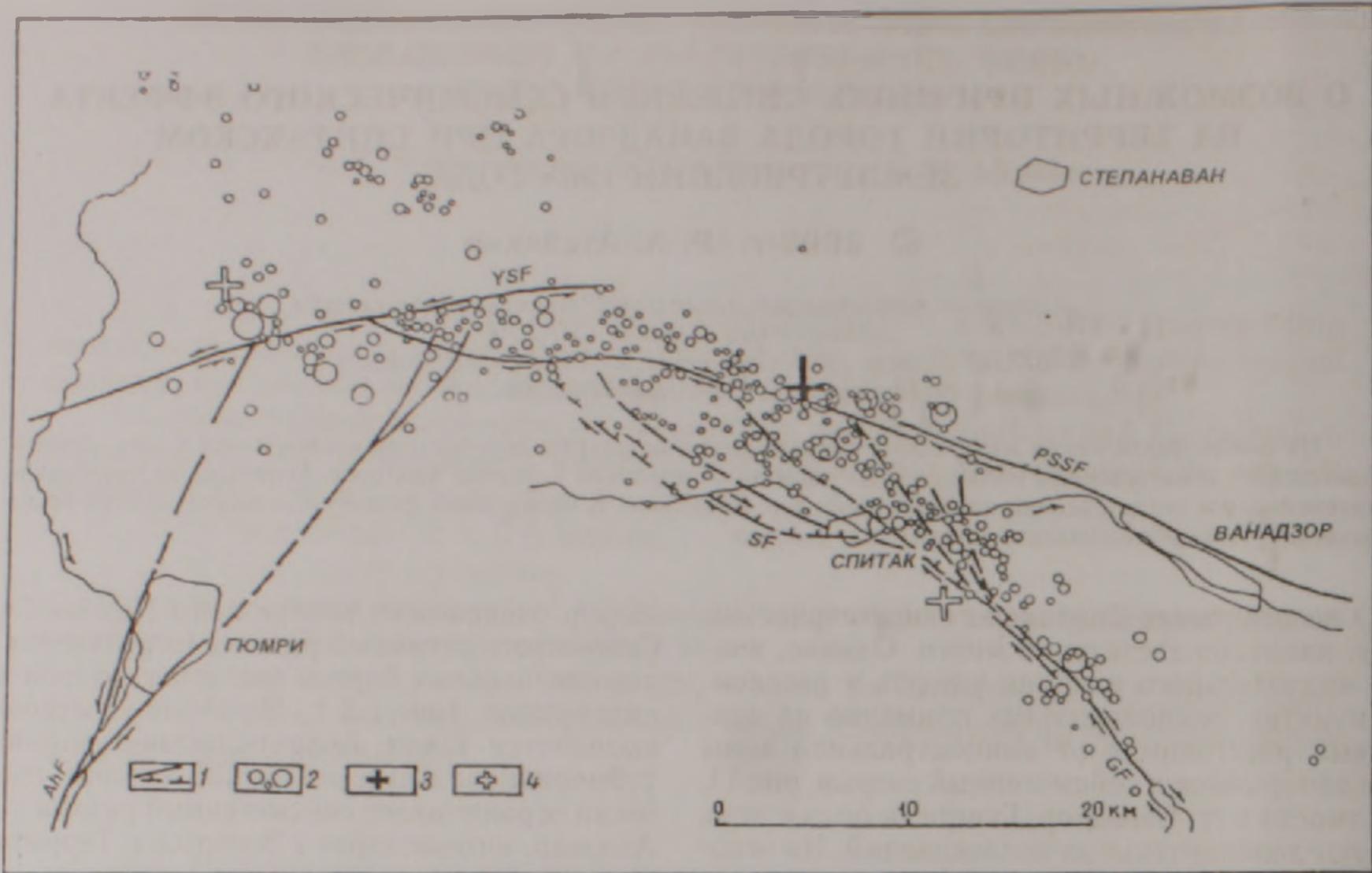


Рис 1 Карта глубинных разломов северо-западной части Армении и эпицентры землетрясений [3] 1 – активные разломы и нарушения, 2 – эпицентры афтершоков; 3 – эпицентр главного удара, 4 – субочаги

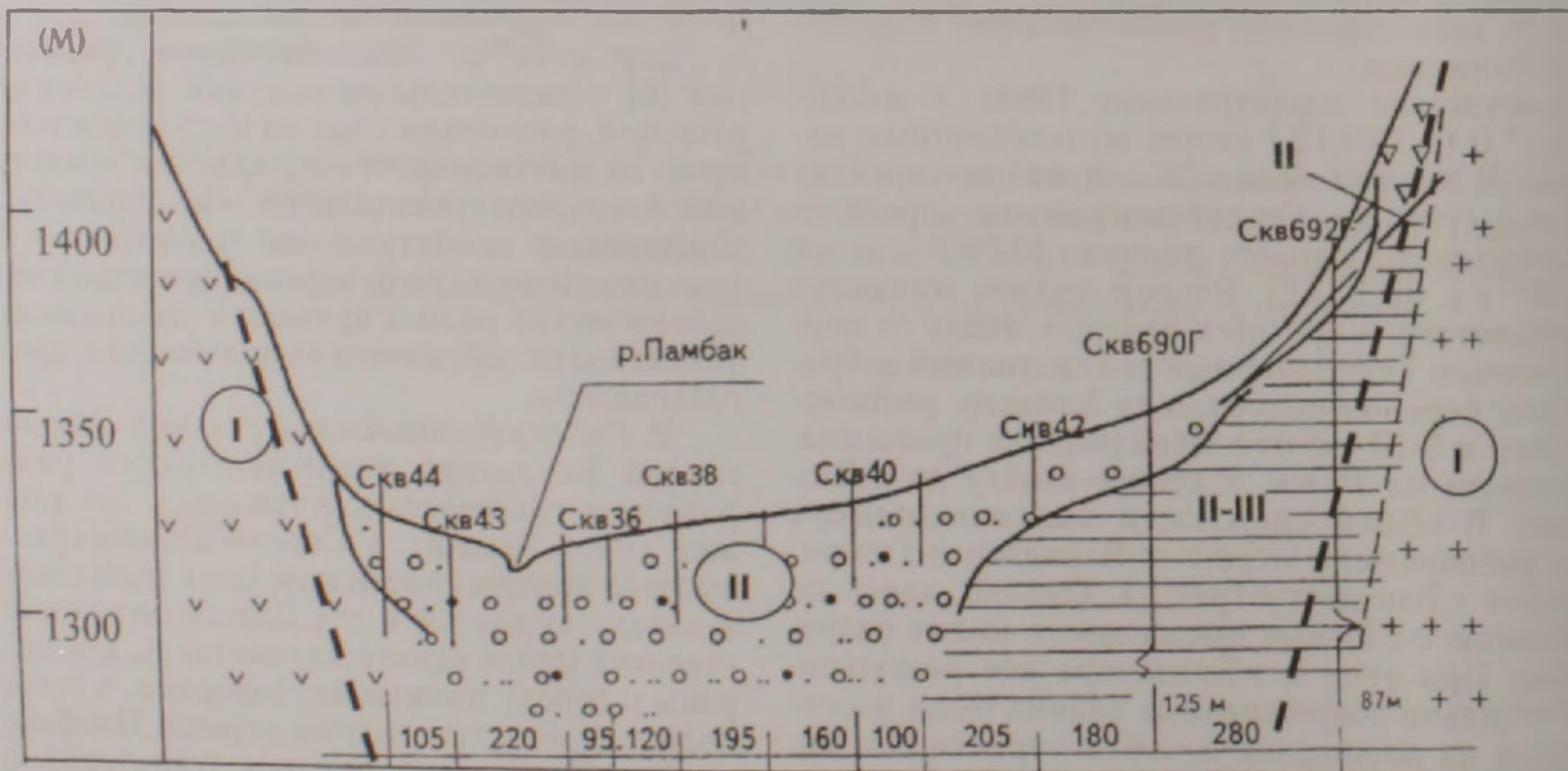


Рис 2 Схематический инженерно-геологический разрез центральной части территории г. Ванадзора (по направлению север-юг) (составлен автором). Усл. обозн. (I) – категория грунтов по сейсмическим свойствам; - - - - - глубинные разломы

с которым территория города расположена у основания горных сооружений, и на фоне общего геологического строения района территория города представляется как вогнутая форма рельефа, приводящая к снижению уровня сейсмического воздействия по сравнению с горизонтальной свободной поверхностью, которую имеем в г. Гюмри. Известно [4,11], что в условиях сложного рельефа энергия сейсмических волн концентрируется

в верхних частях горных сооружений, бортов каньонов и узких долин. Это явление было замечено, например, в Сан-Фернандо в 1971г. [11].

В пользу сказанного свидетельствуют результаты макросейсмических обследований и зарегистрированных землетрясений. Значительная часть разрушений в г. Ванадзоре имела место севернее Ширакского шоссе, на возвышенном склоне общим уклоном $8...9^\circ$. Здесь, из 35 камен-

ных четырехэтажных зданий, возведенных на крупнообломочных грунтах, были разрушены или снесены 29 [1]. В табл.2 имеются данные двух землетрясений – 16.12.90г, (М5,2) и 25.10.98г (М4,2), зарегистрированных в пунктах "Ванадзор" и "Карадзор". Станция "Карадзор" расположена на возвышенном склоне Памбакского хребта, на расстоянии 15–17 км от пункта "Ванадзор". Здесь значения максимальных ускорений соответственно в 1,73 и 1,52 раза больше, чем в пункте "Ванадзор".

3. *Грунтовые условия* территории г.Ванадзора достаточно изучены. Территория представлена комплексом коренной основы вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, которые на склонах Базумского и Памбакского хребтов и в долинах рек Памбак, Тандзут и Базум перекрываются чехлом четвертичных склоновых, речных и озерно-речных отложений. Широкое распространение имеют делювиальные отложения, мощность которых составляет от нескольких до 25 м. Они в основном представлены щебнем и дресвой с супесчано-суглинистым заполнителем. Встречаются участки, сложенные суглинистыми и супесчаными грунтами, с содержанием 10–15 % среднеобломочного материала. Значительное распространение имеют делювиально-пролювиальные образования в западной части г.Ванадзора, по пологим склонам гор. Они представлены разнообразным обломочным материалом с супесчано-суглинистым заполнителем. Рыхлые образования речных долин сложены аллювиальными отложениями разной мощности. По своему составу в большей части аллювиальные отложения представлены как крупнообломочные грунты мощностью до 20 м. По сейсмическим свойствам рыхлые, нескальные грунты в основном относятся ко второй категории, что подтверждается результатами измерений скоростей прохождения сейсмических волн ($C_s > 500$ м/с). В городе имеются участки, сложенные грунтами третьей категории. Например, территория завода прецизионных станков (в микрорайоне 5) представлена тугопластичными и мягкопластичными суглинками мощностью более 15 м, с коэффициентом пористости $e > 0,9$ и $C_s = 360...380$ м/с. Здесь, по макросейсмическим данным (табл.1), имело место увеличение сейсмического воздействия около одного балла по шкале MSK-64 ($d=2,89, 3,97$ и $2,33$ соответственно для зданий типов АII, Б и В), что соответствует рекомендациям старых норм сейсмостойкого строительства (СНиП II-7-81).

Характерное инженерно-геологическое строение центральной части города отражено на рис 2. Здесь выделены отдельные инженерно – геологические элементы с указанием их категорий по сейсмическим свойствам в зависимости от типа грунтов и их мощности.

Еще в 70-х годах Пучков С.В. [7] доказал, что энергия землетрясения, определяемая предельными разрушающими напряжениями горных пород, $\sigma_{пр} = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \rho$ (σ – напряжение в породе при прохождении сейсмических волн, V – скорость колебания, ρ – плотность), может увеличиваться до определенного предела. По инструментальным данным, энергия Спитакского землетрясения составляет 10^{22} эрг. Она связана с плотностью потока энергии ($F_0 = V^2 \cdot C_p \cdot \rho$) следующей формулой: $E = \int_S \int_T F_0 dS dT$. Для ограниченной территории принято $E = F_0 \cdot S \cdot T$. Попробуем оценить интенсивность Спитакского землетрясения с магнитудой 7,0 ($E = 10^{22}$ эрг = 10^{16} кГ.см). В эпицентральной зоне, при глубине очага 10 км, имеем $S = 2\pi R^2 = 6,28 \cdot 10^2$ км² = $6,28 \cdot 10^{12}$ см². Продолжительность записи основного удара в ближней зоне $T = 24$ с (по записи Ашоцкой инженерно-сейсмометрической станции). Тогда плотность потока энергии составляет:

$$F_0 = E / S \cdot T = 10^{16} \text{ кГ.см} / (6,28 \cdot 10^{12} \text{ см}^2 \cdot 24 \text{ с}) = 66,7 \text{ кГ/см.с.}$$

Для поверхностных скальных грунтов нами получено $C_s = 2,6$ км/с и $\rho = 2,5$ т/м³ = $2,5 \cdot 10^{-6}$ кГ.с²/см⁴. Из $F_0 = V^2 \cdot C_s \cdot \rho$ получим:

$$V_{ск}^2 = F_0 / C_s \cdot \rho = 102,6 \text{ см}^2/\text{с}^2,$$

$$V_{ск} = 10,1 \text{ см/с.}$$

Принимая, что плотность энергии не меняется, при переходе к рыхлым грунтам второй категории со средними значениями: $C_{s,II} = 0,65$ км/с [9] и $\rho = 2,0$ т/м³ получаем:

$$F_0 = V_{ск}^2 \cdot 2,6 \cdot 2,5 = V_{рых}^2 \cdot 0,65 \cdot 2,0 \text{ откуда}$$

$$V_{рых} = V_{II} = 2,23 V_{ск} = 2,23 \cdot 10,1 = 22,5 \text{ см/с.}$$

$$(K_{II} = 2,23).$$

Соответственно, при переходе от грунтов второй категории к грунтам третьей категории ($C_{s,III} = 0,35$ км/с. [9] и $\rho = 1,75$ т/м³) имеем:

$$F_0 = V_{II}^2 \cdot 0,65 \cdot 2,0 = V_{III}^2 \cdot 0,35 \cdot 1,75$$

$$\text{откуда } V_{III} = 1,46 V_{II} = 1,46 \cdot 22,5 = 33,0 \text{ см/с.}$$

$$(K_{III} = 1,46).$$

Таким образом, для грунтов I, II и III категории по сейсмическим свойствам соответственно получаются следующие значения скоростей грун-

Таблица 1

Статистика повреждений зданий в г.Ванадзоре при Спитакском землетрясении 1988г.

Тип зданий	Средняя степень повреждений по микрорайонам г.Ванадзора (MSK 64)												
	Мр 1	Мр 2	Мр 3	Мр 4	Мр 5	Мр 6	Мр 7	Мр 8	Мр 9	Мр 10	Мр 11	Мр 12	Мр 13
АII	2,04	2,0	2,07	2,25	2,89	2,0	2,07	2,0	2,09	2,02	2,02	–	2,03
Б	3,65	2,67	2,41	2,39	3,97	2,25	2,68	2,28	2,39	2,59	2,45	2,77	2,5
В	–	2,57	2,0	2,67	2,33	2,5	2,54	2,0	2,11	2,0	2,28	2,9	2,87

тов $V_{CK} = V_I = 10,1$, $V_{II} = 22,5$ и $V_{III} = 33,0$ см/с. Это означает, что в соответствии с [9] интенсивность Спитакского землетрясения в эпицентре, на эталонных грунтах второй категории составляет до IX баллов, а на грунтах третьей категории – выше IX баллов по шкале MSK-64, что соответствует общепринятой оценке интенсивности в эпицентре [2,8,12]. Если для эталонных грунтов II категории принять $K_0 = 1,0$, то для грунтов III категории получается: $K_0 = 1,46$.

Таким образом, на грунтах III категории получается повышение фоновой интенсивности землетрясения в 1,46 раза, а по макросейсмическим данным – до одного балла по шкале MSK-64.

В отличие от территории г.Гюмри, сложенной высокопористыми грунтами мощностью в сотни метров, в г.Ванадзоре преобладают грунты второй категории по сейсмическим свойствам, которые можно считать эталонными для определения фоновой интенсивности землетрясения.

Таблица 2

Пиковые данные сейсмических станций "Гюмри", "Ванадзор" и "Карадзор", расположенных примерно на одинаковых расстояниях от эпицентров приведенных землетрясений

Дата	M	Ускорения (см/с ²)			Скорости (см/с)			Смещения (см)		
		Гюмри	Ванадзор	Кар	Гюмри	Ванадзор	Кар	Гюмри	Ванадзор	Кар
12 90	5,2	10,7	8,5	14,7	1,2	0,4	0,5	0,31	0,05	0,07
02 97	4,4	8,2	4,8	–	0,36	0,34	–	0,027	0,027	–
10 98	4,2	–	21,0	32,0	–	0,62	–	–	0,049	–
01 99	4,3	8,5	8,0	–	0,68	0,6	–	0,067	0,044	–
01.02	3,0	13,0	7,0	–	–	–	–	–	–	–
02 02	3,7	14,0	6,0	–	0,60	0,25	–	0,027	0,016	–

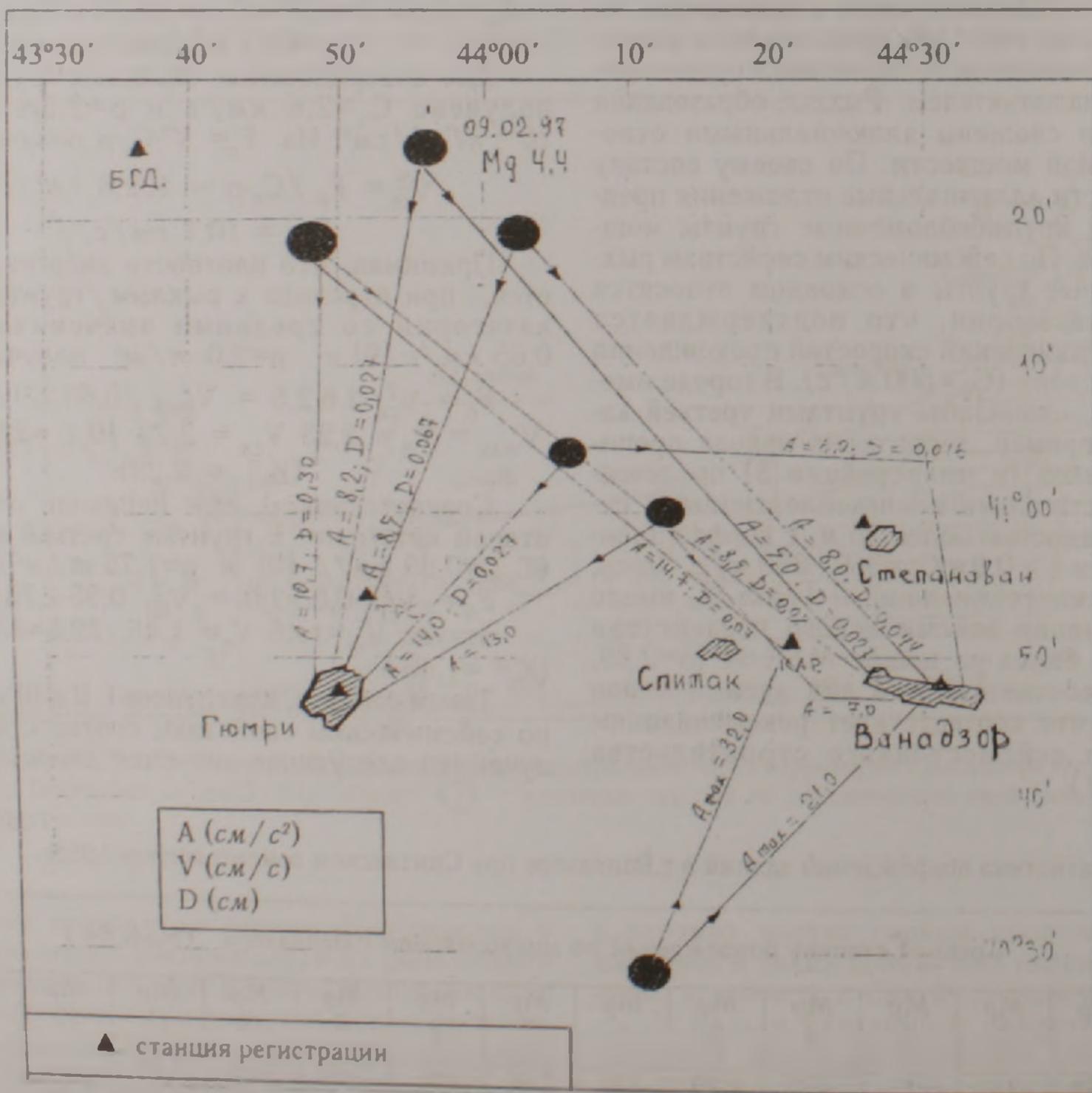


Рис 3. Эпицентры землетрясений, приведенных в табл.2.

Изложенные выше *сейсмотектонические, геоморфологические и грунтовые условия*, на наш взгляд, привели к сравнительно слабому проявлению интенсивности Спитакского землетрясения 1988г на территории г.Ванадзора. Это подтверждается также инструментальными данными. Рассмотрим значения максимальных ускорений, скоростей и смещений грунтов при землетрясениях, которые зарегистрированы станциями сильных движений "SMACH" в гг.Ванадзор и Гюмри. В табл.2 приведены основные показатели тех землетрясений, эпицентры которых расположены на приблизительно одинаковых расстояниях от упомянутых выше городов (рис.3).

В представленной табл.2 интенсивность проявлений землетрясений в пункте "Гюмри" по всем рассмотренным параметрам превышает данные пункта "Ванадзор" – по усредненным значениям ускорений в 1,73, скоростей в 1,88 и смещений в 2,60 раза. Приведенные данные также свидетельствуют о значительном влиянии указанных выше факторов на проявление интенсивности землетрясений в пределах г.Ванадзора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атабекян Р.А. Об оценке интенсивности Спитакского землетрясения 1988г. в г.Ванадзоре (Кировакан). Сейсмостойкое строительство. №4. М.: 1998, с.44-46.
2. Дарбинян С.С., Назаретян С.Н., Овсепян А.А. Об

исходной сейсмичности территории г.Спитака. Докл. НАН РА, 1993, №3, с.154-159.

3. Караханян А.С. Активные разломы и сильные землетрясения Анатолийско-Иранского региона. Дисс. на соиск. уч. ст. докт. геол.-мин. наук, 1995.
4. Методические основы инженерно-геологических, гидрогеологических и сейсмологических изысканий в зоне бедствия Арм.ССР. АН СССР. Госстрой СССР и АрмССР. Ереван, 1989, 160 с.
5. Назаретян С.Н. Глубинные разломы территории Армянской ССР. Ереван. Изд. АН АрмССР. 1984. 136 с.
6. Назаров А.Г. Дарбинян С.С. Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974, 166 с.
7. Пучков С.В. Закономерности колебаний грунта при землетрясении. М.: Наука, 1974, 118 с.
8. Хачиян Э.Е. Прикладная сейсмология. Ереван: 2001, 309 с.
9. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования, СНРА II-2.02-94, под. ред. Э.Хачияна и др. Ереван: 1995, 34 с.
10. Сейсмическое микрорайонирование территории г.Кировакана и р.ц Гугарк (научно-технический отчет), Арминжпроект, Ереван, 1989, 296 с.
11. Maley R.P. Cloud W.K. Strong-motion Accelerograph Records. Strong-motion instrumental Data in the San-Fernando Earthquake of February 9, 1971. California Institute of Technology and U.S. Department of Commerce, 1971.
12. SPITAK-88, Proceeding of international Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, 503 p.

ՎԱՆԱԶՈՐ ՔԱՂԱՔԻ ՏԱՐԱԾՔՈՒՄ 1988 ԹՎԻ ՍՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՆՎԱԶ ՀԵՏԵՎԱՆՔՆԵՐԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ՊԱՏՃԱՌՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ռ. Ա. Արաբեկյան

Ա ն փ ո փ ո լ մ

Հոդվածը նվիրված է երկրաշարժերի ի հայտ եկող ուժգնությանը Վանաձոր քաղաքի տարածքում կախված տարածաշրջանի առանձնահատկություններից: Եղած բազմաթիվ ուսումնասիրությունների և Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի ազդեցության գոտում կատարած երկարամյա հետազոտությունների հիման վրա առանձնացված են երեք հիմնական գործոններ – սեյսմատեկտոնիկ, գեոմորֆալոգիական և գրունտային պայմանները: Մակրոսեյսմիկ տվյալները և հետագա գործիքային գրանցումները վկայում են Վանաձոր քաղաքի տարածքի սեյսմիկ “պասսիվության” մասին Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի ժամանակ:

ABOUT THE POSSIBLE CAUSES OF DECREASING OF SEISMIC AFFECTS OF THE SPITAK EARTHQUAKE OF 1988 ON THE TERRITORY OF VANADZOR

R. A. Atabekyan

Abstract

On the basis of actual materials collected in the result of many years, research in the zone of influence of the 1988 earthquake of Spitak there has been made an attempt to define the main factors influencing on the intensity of the earthquake on the territory of Vanadzor. Some of the factors that have been identified are the seism tectonic, geomorphologic and ground conditions.