

ТБИЛИССКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 25 апреля 2002 года с $M=4.5$, $I_0=7-8$ (Грузия)

З.Ш. Джавахишвили, Т. Годоладзе, М. Елашвили, Дж.Т. Гачечиладзе, В.Г. Папалашвили

Центр сейсмического мониторинга Грузии, г. Тбилиси, smc@seismo.ge

25 апреля 2002 г. в 17^h41^m в Тбилиси произошло землетрясение с $K_p=12.2$, $I_{max}=7-8$ баллов – одно из сильнейших после 1900 г. [1]. Магнитуда M равнялась 4.5, эпицентр был расположен в центральной части города. Он показан в виде звезды на карте эпицентров землетрясений Тбилисской области за 1955–2002 гг. (рис. 1). Землетрясение было неглубоким, с $h=5$ км. Несмотря на небольшое значение магнитуды, землетрясение имело сильный эффект.

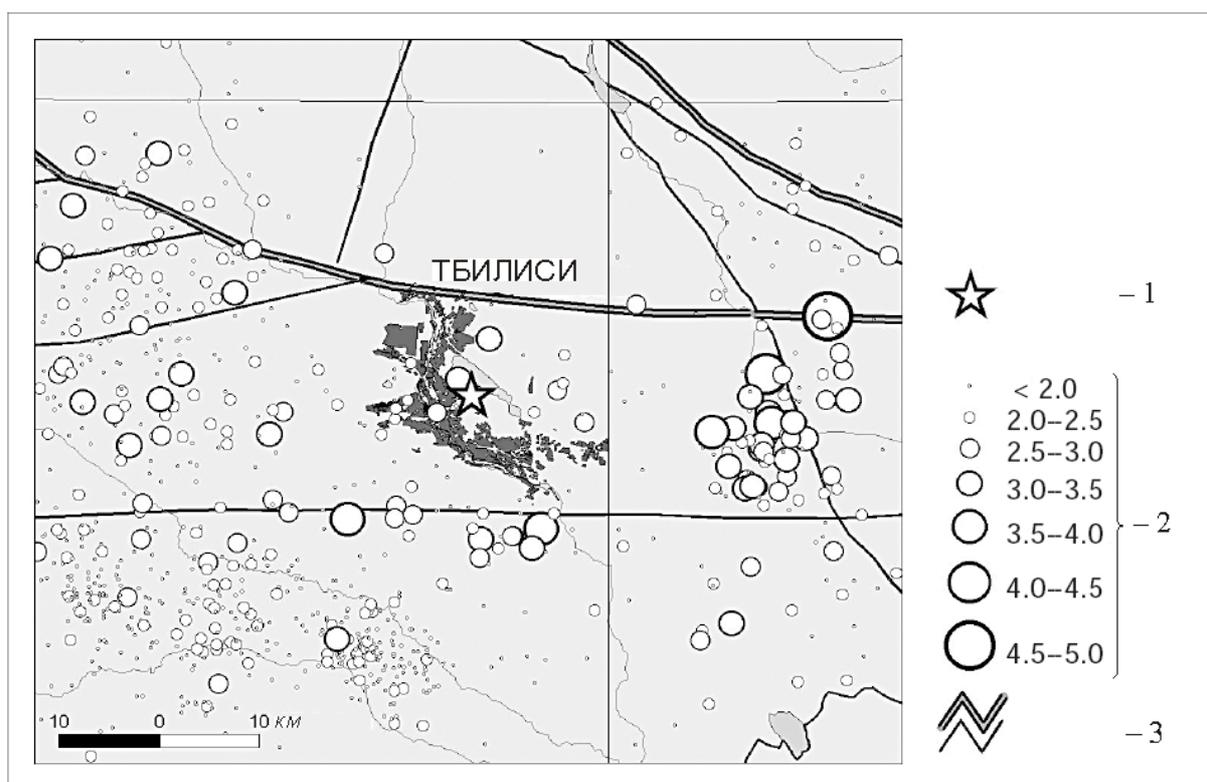


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Тбилисской области за 1955–2002 гг.

1 – инструментальный эпицентр землетрясения 25 апреля 2002 г.; 2 – магнитуда; 3 – разлом.

Известно [2], что иногда мелкие землетрясения небольших магнитуд могут вызвать значительные повреждения, их эффект может достигать 9–10 баллов. Для Тбилисского землетрясения максимальное горизонтальное ускорение почвы на скалистых участках, записанное сейсмической станцией «Тбилиси», равнялось $A_{max}=0.11$ g на расстоянии $\Delta=7$ км от эпицентра. Землетрясение предварялось несколькими форшоками: 11 апреля в 16^h38^m с $K_p=10.5$, $MPVA=5.0$; 21 апреля в 21^h15^m и 21^h17^m с $K_p=7.9$, 7.5 и $MPVA=3.8$, 3.6 соответственно. За основным толчком последовали сотни афтершоков. Наиболее заметные из них имели $K_p=8-9$: 26 апреля в 04^h28^m с $K_p=8.1$, $MPVA=3.7$; 27 апреля в 04^h14^m с $K_p=8.6$, $MPVA=4.0$; 1 мая в 15^h03^m с $K_p=8.0$, $MPVA=3.5$; 4 мая в 06^h23^m с $K_p=7.8$, $MPVA=3.4$; 4 мая в 16^h09^m с $K_p=7.6$; 18 мая в 00^h54^m с $K_p=8.8$ [3]. Интенсивность сотрясений от некоторых из них достигала $I=3$ балла по шкале MSK-64 [4]. Из-за высокой уязвимости зданий землетрясение вызвало тяжелые повреж-

дения и людские потери (5 человек погибли). Было повреждено более 10 000 зданий (пример на рис. 2). Ущерб оценивается в 160 миллионов американских долларов.



Рис. 2. Сквозные трещины в здании на ул. Пиросмани, 27 (фото В.Г. Папалашвили)

Анализ записи сильного движения основного толчка (рис. 3) показывает, что эффект землетрясения был неожиданно высоким. Записанное значение ускорения значительно превышает (даже принимая во внимание его стандартное отклонение) расчетное ускорение, вычисленное на основе уравнения из [1]:

$$\lg A \text{ (см/с}^2\text{)} = 0.27 + 0.44M - \lg r - 0.00231r + 0.28 p. \quad (1)$$

Еще одной важной задачей является рассмотрение спектральных характеристик движения грунта – очень важного фактора для реальной оценки сейсмического риска городов. В [5] вычислена модель спектрального затухания для Кавказа. Было показано, что максимальное ускорение SA_{\max} (Spectral Acceleration) зафиксировано на частоте $f=3$ Гц. Спецификой же Тбилисского землетрясения был более высокочастотный максимум, наблюдаемый на частоте $f=5$ Гц [1].

Сведения о макросейсмической интенсивности собраны с помощью вопросников, распространенных по Интернету. Этот метод предложен учеными Американского геофизического общества (USGS), Южно-Калифорнийского центра землетрясений и Калифорнийского отдела рудников и геологии. Он был использован для составления карты интенсивности (рис. 4,а,б), ее предварительной оценки. Для полного макросейсмического анализа были исследованы данные о структуре строений и локальные геологические условия [1]. Эффект землетрясения оценивался с использованием различных параметров: макросейсмической интенсивности I , максимального горизонтального ускорения почвы, спектрального ускорения. Модель макросейсмического поля, предложенная в [6] по данным о 43 достаточно сильных землетрясениях на территории Грузии, выявила, что затухание интенсивности сотрясений I вблизи очага для сильных ($M \geq 6$) землетрясений больше, чем для землетрясений слабых и средних. Получены следующие уравнения затухания макросейсмической интенсивности $I=f(M, r)$ [1]:

$$I = 1.5 M - 3.4 \lg r + 3.0 \quad \text{при } M < 6 \quad (2)$$

и

$$I = 1.5 M - 4.7 \lg r + 4.0 \quad \text{при } M \geq 6, \quad (3)$$

где I – локальная интенсивность по шкале MSK-64; M – магнитуда поверхностных волн; r – гипоцентральное расстояние; h – глубина гипоцентра.

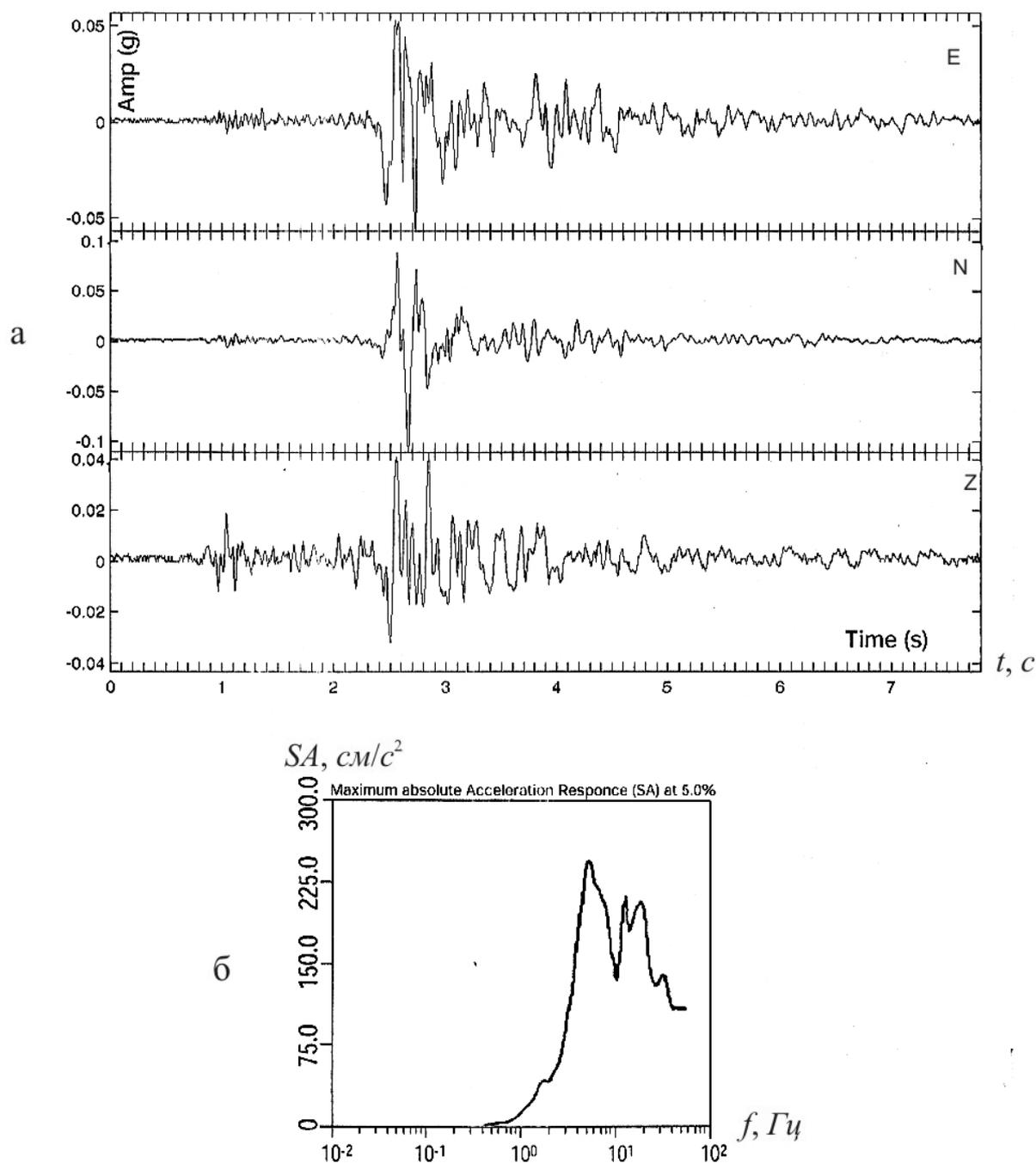


Рис. 3. Сильные движения, вызванные Тбилиским землетрясением 25 апреля 2002 г., записанные на станции «Тбилиси»: а – акселерограмма; б – ее спектр

Интенсивность сотрясений при Тбилиском землетрясении можно оценить по-разному в соответствии с разными критериями:

- согласно уравнению (2) и значениям $M=4.5$ и $h=5$ км, получаем $I_0=7-8$ баллов;
- значение максимального горизонтального ускорения почвы, записанного на расстоянии 7 км от эпицентра, равное $A_{\max}(\Delta=7 \text{ км}) = 0.11 \text{ g}$, соответствует интенсивности 7 баллов;
- вычисленное значение максимального горизонтального ускорения почвы в эпицентре $A_{\max}(\Delta=0 \text{ км}) = 0.2 \text{ g}$ соответствует интенсивности $I_0=8$ баллов;
- проверка 15 000 многоквартирных домов дала следующие результаты: 43% домов имели повреждения второй степени, 20% – третьей, 0.7% – четвертой. В совокупности эти данные соответствуют интенсивности $I_0=7$ баллов как по шкале MSK-64 [4], так по EMS [7].

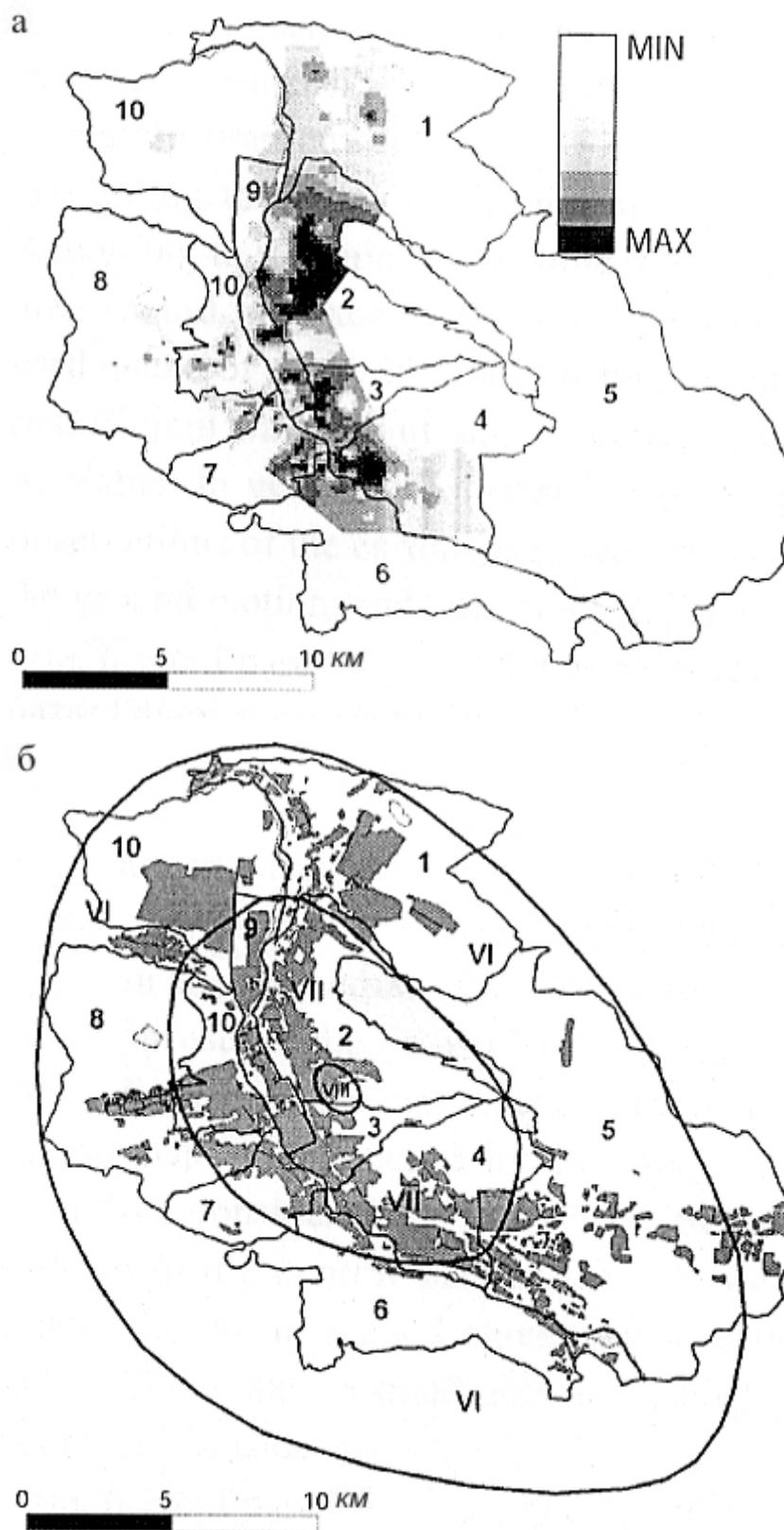


Рис. 4. Макросейсмическое поле Тбилисского землетрясения 25 апреля 2002 г.
а – относительная интенсивность сотрясений I по вопросам, б – карта изосейст.

К счастью, толчок был не продолжительным во времени и высокочастотным, поэтому не вызвал резонансные эффекты. Большинство старых зданий получили дополнительные повреждения от афтершоков, в результате 69 000 жителей остались без крова. Исторический

центр Тбилиси оказался в критическом положении. Среднеэтажные (5–8 этажей) и высотные (9–16 этажей) здания получили более легкие повреждения второй степени.

Решение механизма очага Тбилисского землетрясения, полученное в агентстве ZUR [8], приведено в табл. 1.

Таблица 1. Параметры механизма очага Тбилисского землетрясения 25 апреля 2002 г. с $K_p=12.2$ (метод ТМ)

Дата, д м ч	t_0 , мин с	h , км	Магнитуды			K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство
			M_w	# M_s	\wedge MPSP # m_b		T		N		P		NP1			NP2			
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
25.04	17 41 21	12	4.8	#4.3	^4.9 #4.7	11.4	5	134	57	36	32	228	6	72	208	266	64	339	ZUR

Согласно этому решению, землетрясение возникло под действием явного преобладания напряжений растяжения, ориентированных в юго-восточном направлении. Тип движения в очаге – сдвиг по обеим нодальным плоскостям крутого ($DP=72^\circ$ и 64°) залегания (рис. 5), правостороннего по плоскости NP1 близмеридионального простирания и левостороннего – по близширотной плоскости NP2 с присутствием компонент сброса.

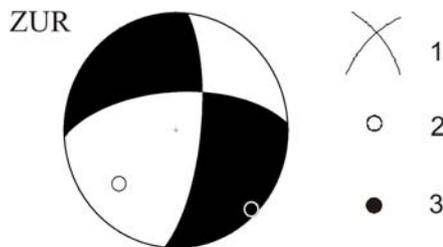


Рис. 5. Стереограмма механизма очага Тбилисского землетрясения 25 апреля в 17^h41^m с $K_p=12.2$ в проекции нижней полусферы

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Сравнение ориентации нодальных плоскостей с направлением вытянутости системы изосейст позволяет выбрать в качестве истинной плоскость NP1.

Л и т е р а т у р а

1. Javakhishvili Z., Godoladze T., Elashvili M., Mukhadze T. and I. Timchenko I. The Tbilisi earthquake of April 25, 2002 in the context of the seismic hazard of the Tbilisi urban area. – Тбилиси: Фонды ЦСМ, 2003. – 38 с.
2. Mohammadion B. and Serva L. Stress drop, slip type, earthquake magnitude and seismic hazard // Bull. Seismol. Soc. Am. – 2001. – 91. – № 4 – P. 694–707.
3. Джавахишвили З.Ш. (отв. сост.), Лабадзе Л.Б., Сохадзе Л.Д., Табуцадзе Ц.А., Гачечиладзе Дж.Т., Глонти Э.Н., Михайлова Р.С. Грузия. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
4. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
5. Smit P., Arzumzian V., Javakhishvili Z., Arefiev S., Mayer-Rosa D., Balassanian S. and Chelidze T. The digital accelerograph network in the Caucasus / Balassanian S., Cisternas A. and Melkumian M. (eds.). Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 109–118.
6. Javakhishvili Z., Varazanashvili O. and Butikashvili N. Interpretation of the macroseismic field of Georgia Geophysical Society // Solid Earth, Issue (A). – 1998. – 3. – P. 85–88.
7. Grunthal G. (editor). European Macroseismic Scale 1998 // Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie (Luxembourg). – 1998. – 15.
8. Bulletin of the International Seismological Centre for 2002. – Berkshire: ISC, 2003–2004.