

ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА за 1982-1994 гг.

К. М. Мирзоев, Р.С. Михайлова, Л.С. Чепкунас

В последнее время, благодаря организации инструментальных наблюдений временными сейсмическими станциями, на территории Татарстана за период 1982-1994 гг. зарегистрированы 68 землетрясений с $K \geq 8.5$. Параметры гипоцентров (t_0 , φ , λ , h) получены методом засечек с использованием местного скоростного разреза [1]. Энергетические характеристики этих землетрясений были определены ранее И.А. Исхаковым [2] по аппаратуре, записывающей скорость сейсмических колебаний. Это энергетический класс K_{II} , рассчитанный по плотности энергии, и магнитуда $M(K_{II})$, пересчитанная из классов K_{II} с использованием известной формулы Т.Г. Раутиан [3]:

$$K = 4 + 1.8 M.$$

С целью поиска соотношения между расчётными магнитудами $M=f(K_{II})$ и наблюдаемыми магнитудами M_S , M_d , которые были определены нами независимо по записям аналоговой аппаратуры, регистрирующей смещение, были выбраны двенадцать землетрясений с наибольшими классами, в основном, с $K_{II} \geq 9.5$ (табл.1), часть из которых была рассмотрена ранее в [4].

Таблица 1. Список землетрясений, выбранных для анализа.

№	Год	Дата, д м	t_0 ,	K_{II}	$M(K_{II})$
			ч мин с		
1	1986	23.09	00 54 04	10.6	3.7
2	1986	23.09	01 04 30	9.6	3.1
3	1986	24.09	01 58 35	9.6	3.1
4	1988	15.07.	07 08 52	10	3.3
5	1988	11.08	06 53 53	10	3.3
6	1989	17.04	01 21 36	9.6	3.1
7	1989	11.11	05 22 06	8.5	2.5
8	1990	10.01	03 16 39	11	3.85
9	1990	12.12	20 04 01	10	3.3
10	1991	28.10	19 34 38	10.8	3.8
11	1992	11.11	08 59 21	9.7	3.1
12	1993	05.08	21 55 10	9.1	2.8

Прежде всего, необходимо было выяснить, какие из землетрясений табл. 1 есть на записи ближайших к Татарии стационарных сейсмических станций. Рассматривались записи двух станций на Урале: "Арти" (ARU), "Свердловск" (SVE), расположенных от эпицентральной зоны на расстояниях 450 и 550 км соответственно, и двух на Русской платформе – "Москва" (MOS) и "Обнинск" (OBN) на расстояниях 920 и 950 км соответственно. Использовались, в основном, сейсмограммы, в отдельных случаях – станционные бюллетени.

Анализ регистрационных возможностей указанных станций относительно землетрясений Татарстана показал следующее: на станции "Обнинск" приборами СКМ-3(N,Z,E) с увеличением $V_{\max}=34000$ могли быть записаны землетрясения с энергетическим классом $K_p \geq 9.5-10$; на станции "Свердловск", расположенной в пределах города, из-за большого фона микросейсм, несмотря на меньшие эпицентральные расстояния, прибором СКМ-3(Z) с увеличением $V_{\max}=25000$ с уверенностью могли быть записаны землетрясения такого же класса; на станции "Арти", имеющей приборы СКМ-3(N,Z,E) с увеличением $V_{\max}=38000$ и наименее удалённой от территории Татарстана – землетрясения с $K_p \geq 9.0$; станция "Москва" (MOS), оборудованная короткопериодными приборами (сначала сейсмограф Харина – СХ, а далее СКМ-3) с увеличением $V=10000$, могла фиксировать землетрясения с $K_p \geq 10$.

Волновая картина на расстояниях 450-950 км имеет свою специфику. Наблюдаемые волны в зависимости от характера их распространения обозначаются как P_n , P_g , S_n , $S_g(L_g)$, LR [5-7].

Первой регистрируется продольная волна P_n . Долгое время она интерпретировалась как головная волна от границы Мохо, разделяющей земную кору и верхнюю мантию. Как показано в [6], её амплитуда обычно больше предсказываемой для головных волн. Поэтому более правдоподобна интерпретация P_n как каналовых волн, распространяющихся практически горизонтально вблизи верхней границы мантии внутри слоя с высокой добротностью и мощностью несколько десятков километров [7]. Скорость их распространения – 7.8-8.3 км/с. На телесеismicких расстояниях это обычная продольная волна P , проникающая глубоко в мантию.

Волна P_g – это волна, отражённая от границы Мохо, более интенсивная чем P_n . Она приходит позднее волн P_n , полностью оставаясь в пределах земной коры.

Волна S_n – поперечная волна, аналог P_n , проходящая тот же путь, что и P_n , но с меньшей скоростью.

Волна $S_g(L_g)$ – наиболее интенсивная из всех волн, наблюдаемых на региональных расстояниях около 1000 км. Она распространяется со скоростями, близкими к средней скорости поперечных волн (3.5-3.6 км/с) в верхней части континентальной коры.

Анализ сейсмограмм четырёх землетрясений (№№ 1-3, 10 в табл. 1) на станции "Обнинск" показывает удивительную похожесть их волновых форм, а именно: наличие на вертикальной компоненте двух вступлений продольных волн P_n и P_g , на горизонтальных компонентах – чётких вступлений поперечных волн S_n и явно выраженных волн $S_g(L_g)$ с большими амплитудами (рис. 1). На вертикальной компоненте наблюдаются также достаточно хорошо выраженные колебания в максимальной фазе (фаза Эйри) поверхностных волн Релея – LRM. Подобная картина наблюдается и для трёх других землетрясений (№№ 6, 7, 12), хотя здесь амплитуды волн L_g меньше, чем у вышеупомянутых четырёх событий. Это свидетельствует, прежде всего, о том, что наблюдаемая волновая картина – типична для эпицентральных расстояний около 1000 км. Для остальных землетрясений (№№ 4, 5, 9, 11) на сейсмограммах видны лишь единичные колебания в максимальных фазах L_g . Не получены кинематические и динамические данные по землетрясению 10.01.1990 г. в $03^h16^m39^s$ (№ 8), так как за 7 минут до него (в $03^h09^m20^s$) произошло достаточно сильное ($M_S=5.9$) землетрясение в Японии [8]. Группа волн от исследуемого нами землетрясения практически наложилась на P -волны от Японского землетрясения (расчетное время наступления максимальной фазы L_g от землетрясения в Татарии – $t_{LgM}=03^h20^m50^s$, время вступления P -волны от Японского землетрясения $t_p^{OBN}=03^h20^m10^s$). В итоге, из двенадцати выбранных землетрясений пригодными для сопоставления энергетических характеристик оказались только семь.

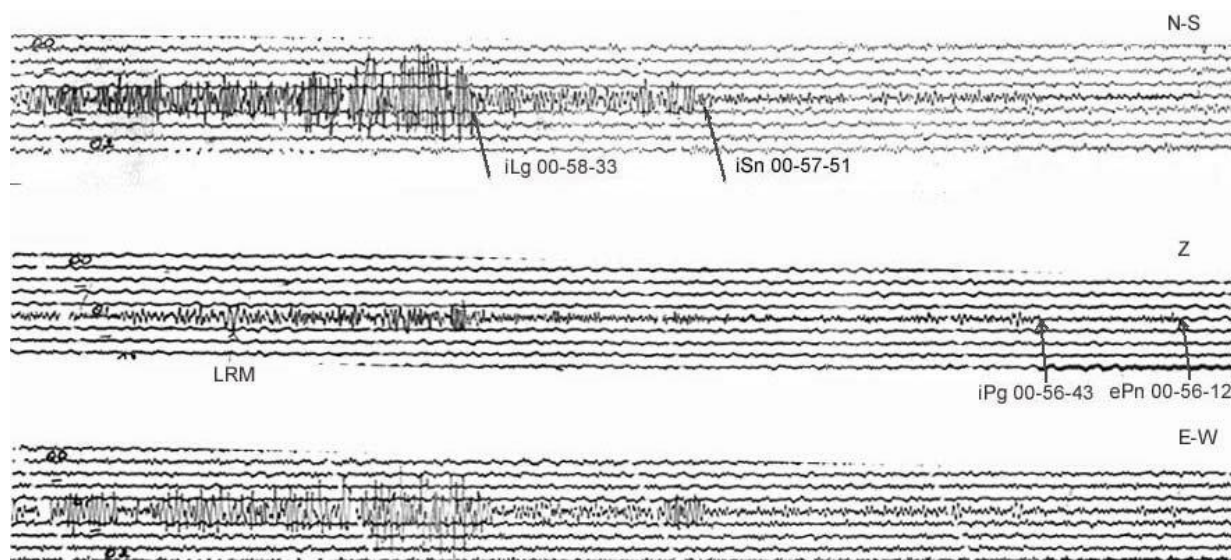


Рис. 1. Сейсмограмма станции Обнинск (прибор СКМ-3) с записью землетрясения Татарстана 23.09.1986 г. ($t_0=00^h54^m04^s$).

Магнитуда по поверхностным волнам M_S определялась по амплитудам A и соответствующим им периодам T , замеренным на вертикальной составляющей в максимальной фазе волны Релея (LRM). Магнитуда M_d рассчитывалась по общей длительности колебаний на

записи на основе формулы А.С. Маламуда [9]:

$$M_d = 2.4 \lg t + 1.6,$$

где t – общая длительность колебаний на записи, равная $t_F - t_P$, измеряемая в минутах (t_F – приближённое время полного поглощения записи землетрясения фоновыми колебаниями на сейсмограмме, t_P – момент вступления Р-волн).

В табл. 2. для сравнения приведены стационарные и средние значения магнитуд M_S , M_d и $M(K_{II})$ для семи землетрясений.

Таблица 2. Стационарные и средние значения магнитуд M_S , M_d и $M(K_{II})$

№	Год	Дата	t_0 , ч мин с	Станция	M_S	\bar{M}_S	M_d	\bar{M}_d	$M(K_{II})$
1	1986	23.09	00 54 04	OBN SVE ARU	4.0 3.4 4.0	3.8/3	3.9 3.5	3.7/2	3.7
2	1986	23.09	01 04 30	OBN SVE ARU	3.6 3.0 3.5	3.4/3	3.6 3.1	3.4/2	3.1
3	1986	24.09	01 58 35	OBN SVE ARU MOS	4.1 3.5 4.1-4.3 3.7	3.9/4	4.3 3.9	4.1/2	3.1
6	1989	17.04	01 21 36	OBN MOS	3.4 3.0	3.2/2	3.4	3.4/1	3.1
7	1989	11.11	05 22 06	OBN SVE	3.2 3.2	3.2/2	3.3	3.3/1	2.5
10	1991	28.10	19 34 38	OBN SVE MOS	3.7 3.4 3.3	3.5/3	3.6	3.6/1	3.8
12	1993	05.08	21 55 10	OBN SVE MOS	3.4 3.0 3.2	3.2/3	3.6 3.1	3.2/2	2.8

Примечание. В графе 1 указаны номера землетрясений из табл. 1.

Средние значения магнитуд \bar{M}_S и \bar{M}_d по поверхностным волнам и по общей длительности записи близки между собой, их разница не превышает 0.2 единицы магнитуды, что находится в пределах точности определения магнитуд. Значения \bar{M}_S и $M(K_{II})$ различаются в среднем на 0.4 единицы, что соответствует разности 0.7 единицы класса между K_P и K_{II} .

Учитывая малый объем данных (всего 7 пар значений) нецелесообразно искать корреляционные уравнения, связывающие эти величины, ограничимся средней разницей между ними. Поэтому в окончательный вариант «Сводного каталога землетрясений Татарстана за 1982-1994 гг. с $K \geq 8.5$ » (табл. 3) для получения значений K_P из K_{II} была учтена указанная разница. Магнитуды M_S были получены из K_P обычным способом [3].

Таблица 3. Сводный каталог землетрясений Татарстана за 1982-1994 гг. с $K_p \geq 8.5$

№	Год	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h, км	MS	K_p	I_0 , баллы
				φ°, N	λ°, E				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	1982	28.10		55.06	52.15	5	3.3	10.0	5
2.	1982	21.11		55.06	52.15	5	3.2	9.6	4-5
3.	1982	22.11		55.06	52.15	5	2.5	8.6	3-4
4.	1982	27.11		55.06	52.15	5	2.5	8.6	3-4
5.	1982	29.11		55.06	52.15	5	2.8	9.0	4
6.	1982	30.11		55.06	52.15	5	2.8	9.0	4
7.	1983	11.09		55.06	52.15	5	3.2	10	5
8.	1983	11.09		55.06	52.15	5	2.8	9.0	4
9.	1983	.12		55.06	52.15	5	2.5	8.6	4
10.	1985	.09		55.06	52.15	5	2.8	9.0	4
11.	1986	23.09	00 54 04	55.04	52.20	5	3.8	10.8	5-6
12.	1986	23.09	01 04 30	55.03	52.18	5	3.4	10.2	5-6
13.	1986	24.09	01 58 35*	55.01	52.22	4	3.9	11.1	6
14.	1986	24.09	20 08 30	55.01	52.22	3	2.5	8.5	
15.	1986	22.11	14 01 25	54.88	52.39	3	3.2	9.6	3-4
16.	1986	31.12	13 43 12	55.04	52.09	4	2.8	9.0	
17.	1987	09.01	07 10 53	54.85	52.16	3	2.8	9.0	
18.	1987	26.01	13 17 17	55.04	52.10	3	2.8	9.0	
19.	1987	27.01	10 23 11	54.94	52.19	4	2.8	9.0	
20.	1987	21.02	21 00 03	55.00	52.12	4	2.8	9.0	
21.	1987	30.03	22 29 49	54.87	52.11	4	2.8	9.0	
22.	1987	14.11	00 36 50	54.99	52.20	6	2.8	9.0	
23.	1987	23.11	11 09 07	55.15	52.43	4	2.8	9.0	
24.	1988	07.06	07 53 57	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
25.	1988	10.06	12 16 20	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
26.	1988	23.06	07 34 11	55.06	52.16	3	3.1	9.5	
27.	1988	14.07	11 50 33	55.15	52.43	5	2.8	9.0	
28.	1988	14.07	15 31 29	55.15	52.43	5	2.8	9.0	
29.	1988	15.07	07 08 52	55.15	52.43	5	3.3	10.0	
30.	1988	19.07	15 25 42	55.15	52.43	5	2.8	9.0	
31.	1988	20.07	15 49 38	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
32.	1988	24.07	16 02 22	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
33.	1988	25.07	15 19 23	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
34.	1988	27.07	16 02 21	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
35.	1988	11.08	06 53 53	55.15	52.43	8	2.8	9.0	
36.	1988	13.08	09 26 40	55.15	52.43	8	2.8	9.0	
37.	1988	07.09	07 02 38	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
38.	1988	08.09	11 33 54	55.06	52.16	3	2.8	9.0	
39.	1988	19.09	01 16 22*	55.33	52.21	5	3.1	9.5	4-5
40.	1988	17.10	12 01 25	55.15	52.43	3	3.1	9.5	4-5
41.	1989	19.01	01 48 35	54.99	52.11	3	3.1	9.5	4-5
42.	1989	17.04	01 21 36*	55.85	52.10	3	3.2	9.8	5-6
43.	1989	12.10	18 41 47	55.68	52.00	3	3.1	9.5	5
44.	1989	11.11	05 22 06*	55.68	52.15	3	3.2	9.8	5
45.	1990	10.01	03 16 39	55.15	52.43	3	3.2	9.8	
46.	1990	30.01	12 26 40	55.15	52.43	3	2.8	9.0	
47.	1990	05.02	04 25 37	55.64	51.98	3	3.0	9.4	4-5
48.	1990	23.02	12 56 18	55.15	52.43	2	2.8	9.0	
49.	1990	12.12	02 04 01	55.15	52.43	3	2.8	9.8	
50.	1991	06.06	14 47 55	55.65	52.02	8	2.8	9.5	3-4
51.	1991	28.10	19 34 38*	54.93	52.08	6	3.6	10.5	6
52.	1992	01.01	13 25 57	54.84	52.13	7	2.8	9.1	
53.	1992	21.01	18 44 57	54.79	52.17	2	2.5	8.5	

№	Год	Дата, д м	t ₀ , ч мин с	Эпицентр		h, км	MS	K _p	I ₀ , баллы
				φ°,N	λ°, E				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
54.	1992	22.01	01 31 26	55.01	52.16	2	3.1	9.5	
55.	1992	07.02	08 25 58	54.86	52.14	6	2.8	9.1	
56.	1992	30.05	13 48 14	54.86	52.17	4	3.2	9.8	
57.	1992	28.07	09 16 05	54.93	52.09	6	2.9	9.2	
58.	1992	28.07	09 18 18	54.93	52.10	7	3.1	9.5	
59.	1992	11.11	08 59 21	54.95	52.11	7	3.1	9.5	
60.	1992	11.11	09 54 03	54.90	52.02	3	3.2	9.8	
61.	1992	22.12	17 16 12	54.80	52.80	3	2.7	8.9	
62.	1993	01.02	01 31 07	54.98	52.10	3	2.6	8.6	
63.	1993	04.07	10 29 55	55.03	52.55	4	2.8	9.1	
64.	1993	10.07	22 08 34	55.02	52.62	4	2.9	9.3	
65.	1993	16.07	05 43 22	55.06	52.58	2	2.8	9.1	
66.	1993	05.08	21 55 10	55.03	51.86	4	3.2	9.8	
67.	1993	12.08	10 01 12	54.88	52.15	2.5	2.8	9.0	
68.	1994	04.12	03 42 41	54.84	52.01	3	2.6	8.7	

Примечание. Знаком * отмечены ощутимые землетрясения, для которых построены карты изосейст [1].

Л и т е р а т у р а

1. **Мирзоев К.М., Рахматуллин М.Х., Гатиятуллин Р.Н.** I. Обзор сейсмичности по регионам и территориям за 1994 год: Землетрясения Татарстана с древнейших времен по 1994 г. См. наст. сб.
2. **Исхаков И.А. 1991.** Сейсмичность востока Татарии // Экспертиза геолого-гидрогеологических и тектонических условий площадки Татарской АЭС и прилегающих районов. Альметьевск: Изд-во ПО "Татнефть". С. 33-36.
3. **Раутиан Т.Г. 1960.** Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР. №9 (176)). М.: Изд-во АН СССР. С. 75-114.
4. **Чепкунас Л.С., Михайлова Р.С., Мирзоев К.М. 1999.** Уточнение параметров сильных землетрясений на территории Татарии по региональным данным // Геодинамика и геоэкология. Архангельск: Изд-во ИЭП Севера УрО РАН. С. 396-398.
5. **Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. 1964.** Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР. №32(199)). С. 63-88.
6. **Аки К., Ричардс П. 1983.** Количественная сейсмология. Т. I. М.: Мир. С. 499-500.
7. **Сейсмический контроль за соблюдением договоров о ядерных испытаниях. 1992.** М.: Мир. С. 70-73.
8. **Сейсмологический бюллетень за 1990 год (ежедекадный). 1990.** / Отв. ред. О.Е. Старовойт, А.И. Захарова. Обнинск: ОМЭ ИФЗ РАН.
9. **Маламуд А.С. 1974.** Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. М.: Изд-во ИФЗ АН СССР. С. 180-192.