

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ МИРА**

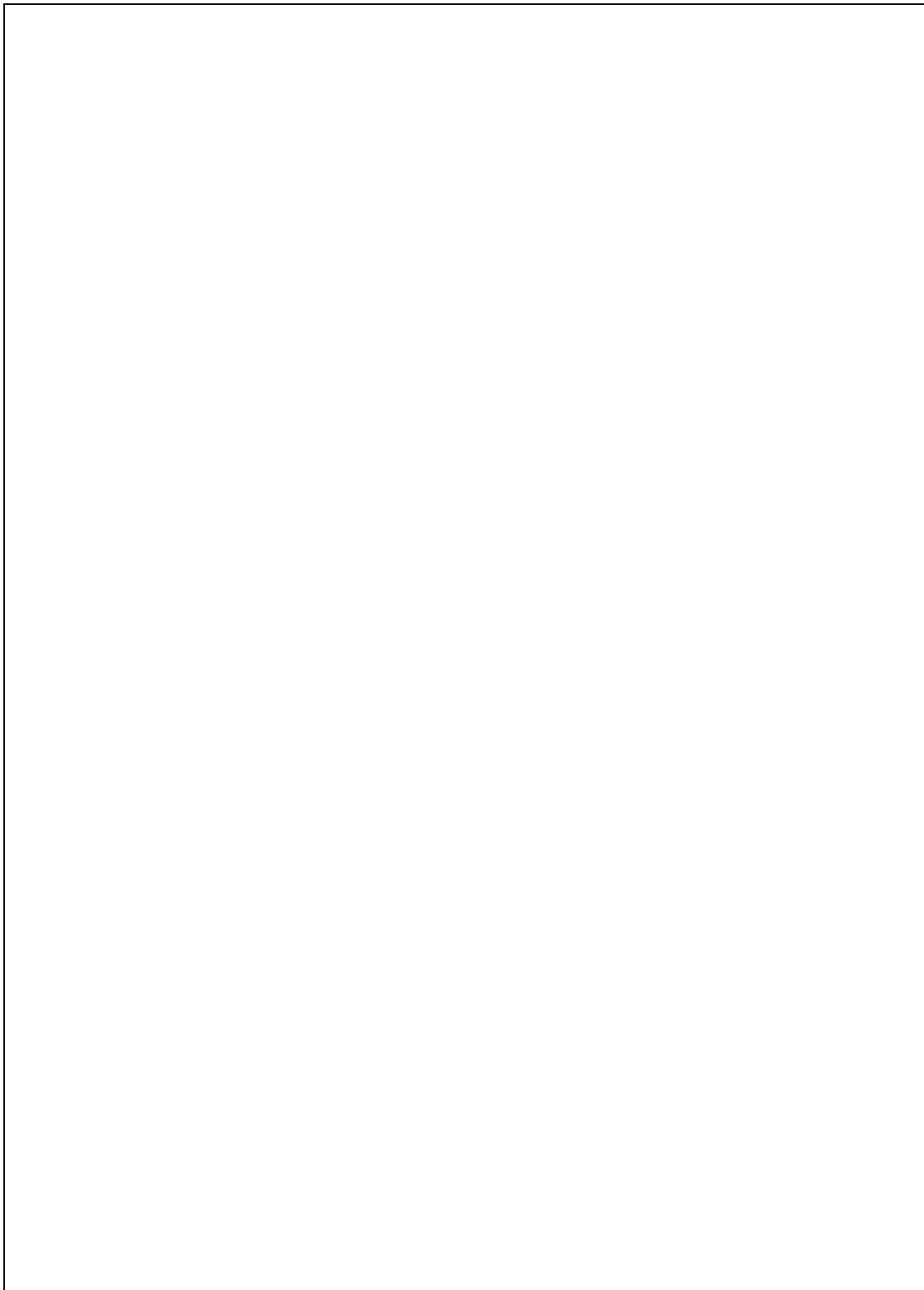
**А.И.Захарова, Л.С.Чепкунас**

Записи 14 сильных землетрясений мира цифровой аппаратурой IRIS, установленной на станции Обнинск, исследованы для определения спектральных и динамических характеристик их очагов. В табл.1 представлены основные параметры землетрясений по данным сейсмических служб России [1] и США [2]. Как и прежде [3], значения параметров  $t_0$ ,  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $\eta$  для I и II получены по временам первых вступлений продольных волн P, зарегистрированных сейсмическими станциями и согласованных с глобальными годографами Джеффриса-Буллена, для III - по методу СМТ [4].

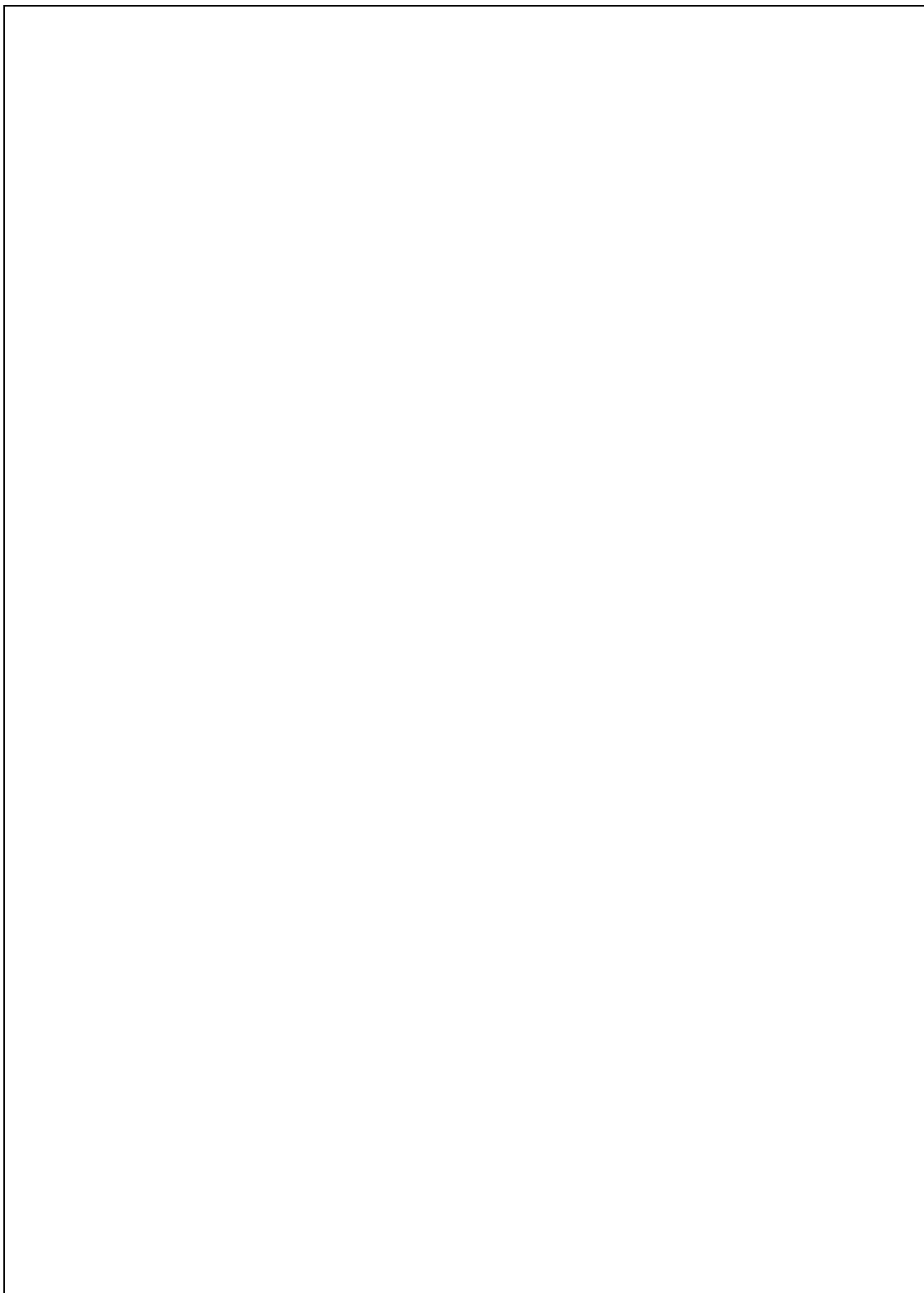
*Таблица 1. Сведения о землетрясениях*

NN пп	Дата, д м	Ист.	$t_0$ , ч мин с	Координаты очага			Магнитуды			Район
				$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	h, км	MPVA	MPVB	MS	
1	02.03	I	12 29 59.3	52.92	159.89	41	6.8	7.1	7.1	У восточного поб. Камчатки
		II	12 29 39.59	52.915	159.886	38.6	6.5		6.8	
		III	12 29 47.3	52.85	160.36	50.2				
2	13.03	I	17 18 40.9	39.90	39.58	29	6.5	6.7	6.7	Турция
		II	17 18 39.98	39.710	39.605	27.2	6.2		6.8	
		III	17 18 46.4	39.94	39.57	15.0				
3	25.04	I	18 06 03.6	40.31	-124.11	14	6.7	7.2	7.1	Поб. северной Калифорнии
		II	18 06 04.21	40.368	-124.316	15.1	6.3		7.1	
		III	18 06 11.8	40.25	-124.31	15.0				
4	17.05	I	09 49 18.5	7.34	126.65	33	6.8	7.1	7.1	О. Минданао, Филиппины
		II	09 49 19.11	7.239	126.645	32.8	6.2		7.1	
		III	09 49 29.4	7.27	126.96	34.0				
5	25.05	I	16 55 07.4	20.07	-77.89	33	6.5	6.5	7.0	Район Кубы
		II	16 55 04.17	19.613	-77.872	23.1	6.3		6.9	
		III	16 55 11.1	19.84	-77.70	15.0				
6	28.06	I	11 57 34.9	34.19	-116.54	10	6.6	6.7	7.8	Южная Калифорния
		II	11 57 34.12	34.201	-116.436	1.1	6.2		7.6	
		III	11 57 53.0	34.65	-116.65	15.0				
7	10.07	I	09 31 29.7	44.87	149.46	33	6.4	6.4	6.6	Курильские о-ва, Россия
		II	09 31 27.59	44.695	149.482	19.9	6.2		6.5	
		III	09 31 36.3	44.69	49.68	30.8				
8	18.07	I	08 36 59.7	39.55	143.28	33	6.4	7.0	7.1	У поб. о. Хонсю, Япония
		II	08 36 58.70	39.419	143.330	28.6	6.2		6.9	
		III	08 37 04.4	39.47	143.54	15.0				
9	19.08	I	02 04 37.4	42.24	73.59	29	7.1	7.2	7.5	Киргизия
		II	02 04 37.41	42.142	73.575	27.4	6.6		7.4	
		III	02 04 45.8	42.19	73.32	17.0				
10	28.08	I	18 18 44.5	-0.75	-13.61	3	6.5	6.9	7.0	Севернее о. Вознесения
		II	18 18 46.44	-0.965	-13.562	15.5	6.3		7.0	

11	02.09	III	18 18 51.7	-0.71	-13.54	15.0	5.6	6.7	7.2	Побережье Никарагуа
		I	00 16 04.6	12.19	-87.56	33				
		II	00 16 01.69	11.742	-87.340	44.8				
12	18.10	III	00 16 42.0	11.20	-87.81	15.0	6.7	6.9	7.2	Северная Колумбия
		I	15 11 57.8	7.09	-76.99	3				
		II	15 11 59.11	7.075	-76.862	10.0				
13	23.10	III	15 12 09.8	7.27	-76.34	15.0	6.3	6.5	6.3	Восточный Кавказ, Грузия
		I	23 19 46.7	42.58	45.10	30				
		II	23 19 45.20	42.589	45.104	16.4				
14	12.12	III	23 19 49.9	42.67	45.01	15.0	7.1	7.5	7.4	Район о.Флорес
		I	05 29 27.4	-8.27	121.79	33				
		II	05 29 26.35	-8.480	121.896	27.7				
		III	05 29 49.9	-8.34	122.49	20.4				



*Рис. 1* Станционные спектры смещения Р-волн по аналоговым (1) и цифровым (2) записям на станции Обнинск



**Рис. 2** Очаговые спектры смещения Р-волн, записанных аппаратурой IRIS на станции Обнинск  
Нумерация дана в соответствии с табл. 1.

Различия этих параметров в I и II в основном не выходят за пределы случайных ошибок определений, за исключением нескольких случаев, явно различающихся системами наблюдений. Вместе с тем для преобладающего числа сильных событий можно отметить некоторые, по большей части незначимые, запаздывания времени возникновения  $t_0$  по данным I по сравнению с II. Хотя эти запаздывания не повлекли значимых расхождений в координатах гипоцентров, их явно направленный характер свидетельствует о необходимости проведения в дальнейшем специального исследования причин на более статистически представительном материале. Кроме того для всех событий имеют место существенные запаздывания  $t_0$  по III по сравнению с I и II и, как следствие, значительные расхождения в координатах. Это вполне закономерно, так как для III кинематические параметры очагов соответствуют максимальной фазе сейсмического процесса, а для I и II - его началу. Благодаря одинаковой методике расчета в I и II значения магнитуд землетрясений по поверхностным волнам (MS) практически не различаются. Значимые превышения магнитуд по объемным волнам (Mb) в I по сравнению с II объясняются различиями методических приемов их определения.

Спектральные характеристики очагов (уровень длиннопериодной ветви спектра  $E_0$ , частоты точки перелома  $f_{п}$  и угловой точки спектра  $f_0$ ), их динамические параметры (сейсмический момент  $M_0$ , сброшенное  $\delta\sigma$  и кажущееся  $\eta \bar{\sigma}$  напряжения), а также характеристики разрыва в очагах (длина  $L$  и подвижка  $\bar{u}$ ) рассчитаны по записям Р-волн цифровой аппаратурой IRIS на станции Обнинск (табл. 2).

**Таблица 2.** Характеристика спектров Р-волн и динамические параметры очагов землетрясений по станции Обнинск [OBN]

NN	?	? <sub>10</sub>	? <sub>f,10</sub>	? <sub>f,10</sub>	$M_0,10$	L, <sub>10</sub>	max, <sub>10</sub>	, <sub>10</sub>	, <sub>10</sub>	$\bar{u}$ ,
пп		м.с	гц	гц	н.м	м	с	н/м	н/м	м
1	62.6	1.3	3.8	9.6	9.1	60	2.5	15	25	0.40
2	15.4	0.9	21.9	21.9	0.5	22	5.0	16	50	0.38
3	83.5	1.4	7.2	9.6	8.3	52	-	21	12	1.12
4	84.1	1.8	5.1	10.0	9.4	50	2.3	26	10	1.37
5	86.8	0.2	8.5	17.8	1.5	28	6.0	24	47	0.70
6	88.1	3.2	0.8	4.6	20.0	98	9.0	7	56	0.76
7	65.4	0.3	6.6	11.5	1.4	42	6.4	7	12	0.29
8	67.0	1.1	7.8	11.5	4.6	42	12.7	22	21	0.95
9	27.3	6.3	3.5	6.9	9.2	70	10.0	9	42	0.68
10	69.0	0.4	9.3	14.4	1.6	31	2.8	19	38	0.71
11	98.2	0.6	3.5	5.8	5.5	86	-	3	25	0.27
12	97.3	0.2	7.4	11.0	2.1	40	3.3	11	57	0.56
13	13.7	1.3	8.3	20.9	0.7	24	6.8	18	9	0.44
14	94.0	1.9	4.6	7.1	18.0	70	25.0	18	15	1.34

Результаты расчетов приведены в табл.2. Методика определения указанных очаговых параметров по амплитудным спектрам смещений Р-волн, зарегистрированных стандартной аналоговой аппаратурой, описана в [5, 6]. Использование цифровых записей скоростей сейсмических колебаний для получения исходных станционных спектров технически особых трудностей не

вызвало и позволило более точно найти величины сейсмических моментов, пропорциональные уровню длиннопериодной ветви спектров, особенно для сильнейших событий. Это хорошо видно на рис. 1, где показаны стационарные спектры двух землетрясений 1991 г. - 21 февраля с  $MS=6.4$  (Берингово море) и 20 июня с  $MS=6.8$  (Индонезия), рассчитанные по записям Р-волн в Обнинске. Для обоих землетрясений значения спектральных плотностей, соответствующих цифровым записям, превышают аналогичные значения по аналоговым записям, причем наиболее отчетливо - у второго землетрясения с большей магнитудой.

Очаговые спектры смещений (стационарные спектры, приведенные к очагу) по цифровым записям станции Обнинск для исследованных землетрясений показаны на рис.2.

В последнее время на основе сейсмических моментов  $M_0$  рассчитываются так называемые моментные магнитуды  $M_w$  [7,8] по формуле:

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 , \quad (1)$$

так как из-за насыщения шкалы стандартных магнитуд  $MS$ , особенно для сильных низкочастотных землетрясений, значения  $MS$  оказываются существенно заниженными. Определения магнитуд  $M_w$  по (1) для исследуемых землетрясений с использованием значений  $M_0$  из табл. 2 были сравнены с аналогичными магнитудами  $M_w$ , полученными с использованием значений  $M_0$  из корреляционной зависимости:

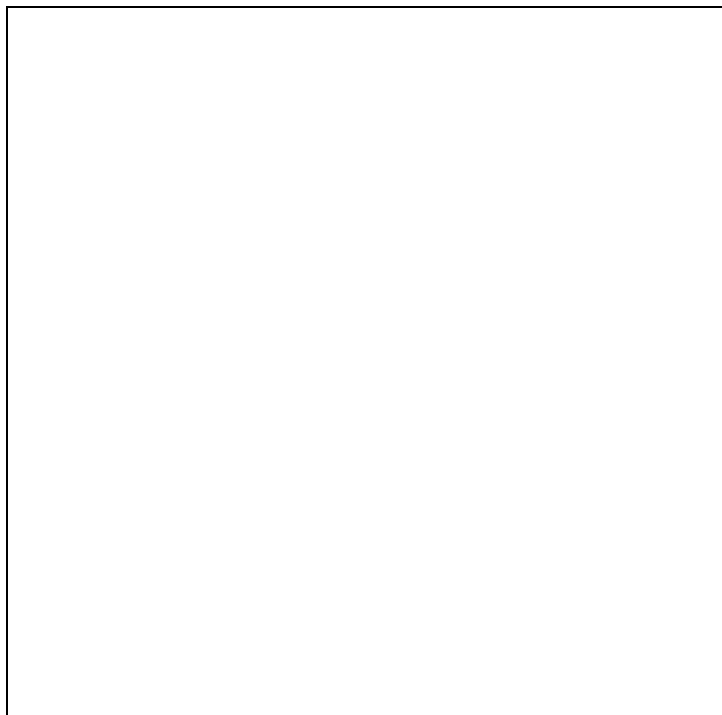
$$\log M_0 = 1.46 MS + 16.53 . \quad (2)$$

Зависимость (2) найдена для землетрясений региона Крым - Кавказ - Копетдаг в интервале магнитуд  $MS = 3.5-7.5$  [9]. Сопоставление магнитуд  $M_w$  представлено на рис.3. Расчеты показывают, что в интервале  $M_w$  от 6 до 8 разница между  $M_w(MS)$  и  $M_w(M_0)$  не превышает 0.2 единиц магнитуды, т.е. находится в пределах случайной ошибки вычислений. Это может свидетельствовать о возможной применимости (2) не только в указанном регионе для получения значений  $M_w$  из  $MS$  в интервале магнитуд 6-9 при отсутствии соответствующих  $M_0$ , что особенно важно для землетрясений исторического и ранне-инструментального периодов.



**Рис. 3** Линейная корреляция моментных магнитуд, найденных разными способами

Элементы механизмов очагов 6 сильных событий, имевших место в Северной Евразии, помещены в разделе "Каталоги дополнительных параметров землетрясений" настоящего сборника. Стереогаммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы даны на рис.4.



**Рис. 4** Механизмы очагов землетрясений  
Нодальные линии (1), оси главных напряжений - сжатия Р (2) и растяжения Т (3). Нумерация дана в соответствии с табл.2.

Решения для них получены по знакам первых вступлений Р-волн ряда сейсмических станций, большая часть которых размещена в пределах изучаемой территории, с помощью программы А.С. Ландера и Ж.Я. Аптекман, написанной для персонального компьютера и представляющей более удобную для пользователя версию программы [10].

#### Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1992 г. Обнинск: ОМЭ ИФЗ РАН, 1992, 1993.
2. Earthquake Data Report. Jan.- Dec. 1992. // U.S. Depart. Int. Geol. Surv., 1992, 1993.
3. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С.** Динамические параметры очагов сильных землетрясений мира // Землетрясения в СССР в 1989 году. М: Наука, 1993. С. 211-220.
4. **Dziewonski A., Chou T. and Woodhouse J.** Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // J. Geophys. Res..86.. 1983. P. 2825-2852.
5. **Аптекман Ж.Я., Дараган С.К., Долгополов Д.В. и др.** Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Унификация исходных данных и процедуры расчета амплитудных спектров // Вулканология и сейсмология. 1985. N 2. С. 60-70.
6. **Аптекман Ж.Я., Захарова А.И., Зобин В.М. и др.** Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага. // Вулканология и сейсмология. N 2.1989. С. 66-79.

7. **Kanamori H.** The energy release in great earthquakes. // J. Geophys. Res.. 82. 1977. P. 2981-2997.
8. **Hanks T.C. and Kanamori H.** A moment-magnitude scale. // J. Geophys. Res.. 84. 1979. P. 2348-2350.
9. **Kondorskaja N.V., Zakharova A.I., Chepkunus L.S.** Some aspects concerning moment magnitude. (in print). 1996.
10. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Аптекман Ж.Я. и др.** Об определении механизма очагов на ЭВМ ЕС-1030 // Физика сейсмических волн и внутреннее строение Земли. М.: Наука, 1983. С. 86-91.