

## ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗЕМЛИ

А.И. Захарова, Л.С. Чепкунас, Л.С. Малянова

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, [luba@gsras.ru](mailto:luba@gsras.ru)

Для 12 землетрясений Земли из разных сейсмических поясов с очагами в земной коре (табл. 1) представлены основные и динамические параметры очагов. Среди них больше половины произошли в Тихоокеанском сейсмическом поясе (1, 2, 5, 6, 8–10), три – в Трансазиатском (7, 11, 12) и два – в сейсмическом поясе Индийского океана (3, 4). Отметим, что наиболее значимыми на территории России были землетрясения на Сахалине (5) и на Алтае (7), а в странах СНГ – вблизи Азербайджана, в акватории Каспийского моря (11) и в Туркменистане (12).

**Основные параметры очагов землетрясений** (время возникновения  $t_0$ , координаты гипоцентра  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ , магнитуды) даны в табл. 1 в трех вариантах: I – из Оперативного бюллетеня ЦОМЭ ГС РАН [1]; II, III – из бюллетеня Международного сейсмологического центра [2, ISC, HRVD]. Гипоцентры в I и II получены по временам первых вступлений  $P$ -волн на основе одного и того же годографа Джеффриса-Буллена [3], но по разным системам наблюдений, а в III – по методу тензора сейсмического момента центроида (СМТ) с использованием волновых форм от продольных до поверхностных волн [2, HRVD].

В варианте I представлены магнитуды по продольным волнам –  $MPSP$ ,  $MPLP$  и по поверхностным –  $MS$ . Кроме того, здесь приведены моментные магнитуды  $Mw$ , рассчитанные на основе величины сейсмического момента  $M_0$  по цифровым сейсмограммам двух сейсмических станций ГС РАН – «Обнинск» и «Талая» (см. в табл. 3). Расчет  $Mw$  выполнен по формуле Канамори [4]:

$$Mw = \frac{2}{3} \lg M_0 - 10.7 \quad (1)$$

для сейсмического момента в единицах «дн·см».

В варианте II даны магнитуды  $m_b$  по продольным волнам и  $Ms$  – по поверхностным. Моментные магнитуды  $Mw$  в варианте III получены по методу СМТ и взяты из [2, HRVD].

Следует отметить, что для всех землетрясений значения  $m_b < MPSP$ , что объясняется методикой их расчета. Максимальное различие магнитуд  $MPSP$  и  $m_b$  равно 0.6 единицы магнитуды для землетрясения (9). Для  $m_b$  выбирается интервал записи  $P$ -волн в пределах 5 с от вступления, в то время как для  $MPSP$  он может быть увеличен до 40–60 с [5]. Для землетрясения (10)  $m_b > MPSP$  на 0.5 единицы магнитуды.

Сравнение магнитуд  $MS(MOS)$  и  $Ms(ISC)$  показывает, что в основном различия не превышают 0.2 единиц магнитуд, кроме землетрясения (1), где она достигает 0.5, что, по-видимому, связано с разной выборкой данных для расчета.

Разница магнитуд  $Mw$  варьируют от 0.1 до 0.7, причем  $Mw$  в варианте I, как правило, меньше  $Mw$  в варианте III. Лишь для одного землетрясения 27 октября  $Mw$  (I) превышает  $Mw$  (III) на 0.3 единицы магнитуд, что также, вероятно, связано с методикой их определения:  $Mw$  (I) определены по  $P$ -волнам по записи одной станции («Обнинск» или «Талая»), в то время как при расчете  $Mw$  (III) используется вся сейсмограмма по нескольким станциям.

**Таблица 1.** Сведения о сильных ( $M \geq 7$ ) землетрясениях за 2000 г.

№	Дата, д м	Вариант	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр			Магнитуды				Район
				$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км	$Mw$	$MPSP$ , $m_b$	$MPLP$	$MS$ , $Ms$	
1	28.01	I	14 21 03.7	42.96	146.81	33	6.4	6.9	7.1	7.1	У побережья острова Хоккайдо, Япония
		II	14 21 05.8	43.05	146.83	46		6.6		6.6	
		III	14 21 12.3	43.08	146.81	50	6.8				

№	Дата, д м	Вариант	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр			Магнитуды				Район
				$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км	$M_w$	$MPSP$ , $m_b$	$MPLP$	$MS$ , $M_s$	
2	04.05	I	04 21 16.7	-0.99	123.45	33	7.2	6.7	7.4	7.3	Полуостров Минахасса (Целебес)
		II	04 21 18.7	-1.17	123.54	54		6.5		7.4	
		III	04 21 33.4	-1.29	123.59	19	7.6				
3	04.06	I	16 28 26.4	-4.61	102.17	33	7.8	7.0	7.5	7.7	Южная Суматра
		II	16 28 28.8	-4.69	102.14	53		6.7		7.9	
		III	16 28 46.5	-4.73	101.94	44	7.9				
4	18.06	I	14 44 12.5	-13.82	97.37	10	7.4	7.1	7.5	7.8	Юг Индийского океана
		II	14 44 13.2	-13.80	97.42	10		6.8		7.7	
		III	14 44 27.6	-13.47	97.17	15	7.9				
5	04.08	I	21 13 04.4	48.76	142.27	21	6.6	6.4	6.9	7.1	Сахалин
		II	21 13 03.3	48.75	142.24	13		6.2		7.1	
		III	21 13 12.1	48.77	142.03	15	6.8				
6	06.10	I	04 30 23.8	35.67	133.06	33	6.4	6.0	6.5	7.0	Южный Хонсю
		II	04 30 17.5	35.38	133.16	1		5.8		6.7	
		III	04 30 25.3	35.33	133.20	15	6.7				
7	27.10	I	00 08 50.2	54.82	95.07	10	5.8	5.8	6.1	5.6	Алтай
		II	00 08 50.7	54.75	94.97	10		5.5		5.5	
		III	00 08 55.7	54.91	95.28	33	5.5				
8	16.11	I	04 54 58.4	-3.82	151.92	33	7.4	5.8	7.3	7.7	Район Новой Ирландии
		II	04 54 56.2	-3.98	152.18	28		5.8		8.0	
		III	04 55 36.5	-4.56	152.79	24	8.0				
9	16.11	I	07 42 18.0	-5.27	153.15	33	7.6	6.5		7.6	Район Новой Ирландии
		II	07 42 17	-5.22	153.07	34		5.9		7.7	
		III	07 42 44.5	-5.03	153.17	31	7.8				
10	17.11	I	21 01 56.4	-5.44	151.87	33	7.5	5.6	6.8	7.5	Район Новой Британии
		II	21 01 56.2	-5.52	151.80	31		6.1		7.7	
		III	21 02 20.1	-5.26	152.34	17	7.8				
11	25.11	I	18 09 08.3	40.01	50.02	33	6.7	6.1		6.4	Каспийское море
		II	18 09 11.5	40.22	49.93	51		5.7	6.4		
		III	18 09 19.9	40.24	49.95	15	6.8				
12	06.12	I	17 11 07.5	39.68	54.71	33	6.3	6.7	7.4	7.3	Туркменистан
		II	17 11 06.6	39.49	54.81	33		6.7		7.4	
		III	17 11 14.7	39.60	54.87	33	7.0				

Механизмы очагов приведены в табл. 2 и показаны на рис. 1 в стереографической проекции (нижняя полусфера) для всех двенадцати землетрясений. Все решения взяты из [2, HRVD]. Они получены для модели двойной пары сил по методу СМТ [6].

Таблица 2. Параметры механизмов очагов 2000 г. (метод СМТ [2, HRVD])

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				$M_w$	$MS/n$	$MPSP/n$	T		N		P		NP1			NP2		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	28.01	14 21 03.7	33	6.8	7.1/30	6.9/30	42	6	37	234	26	123	163	38	15	61	81	127
2	04.05	04 21 16.7	33	7.6	7.3/24	6.7/21	23	185	63	332	13	89	225	64	172	319	83	26
3	04.06	16 28 26.4	33	7.9	7.7/27	7.0/19	42	60	47	225	7	323	92	55	152	199	67	38
4	18.06	14 44 12.5	10	7.9	7.8/19	7.1/25	15	25	63	263	22	121	161	63	355	254	85	207
5	04.08	21 13 04.4	21	6.8	7.1/26	6.4/22	69	134	17	353	13	259	328	36	60	183	60	110
6	06.10	04 30 23.8	33	6.7	7.0/37	6.0/33	6	196	83	56	45	286	331	83	1	241	89	173
7	27.10	00 08 50.2	10	5.5	5.6/33	5.8/34	87	10	22	243	3	153	241	42	87	65	48	93
8	16.11	04 54 58.4	33	8.0	7.7/7	5.8/10	33	181	43	54	29	292	328	43	3	236	88	133
9	16.11	07 42 18.0	33	7.8	7.6/16	6.5/22	60	339	1	70	30	160	253	15	93	70	75	89
10	17.11	21 01 56.4	33	7.8	7.5/14	5.6/19	65	7	10	254	22	160	230	24	64	78	68	101
11	25.11	18 09 08.3	33	6.8	6.4/13	6.1/23	44	56	2	148	46	240	93	2	215	328	89	272
12	06.12	17 11 07.5	33	7.0	7.3/29	6.7/23	60	323	23	98	19	197	319	33	136	89	68	65

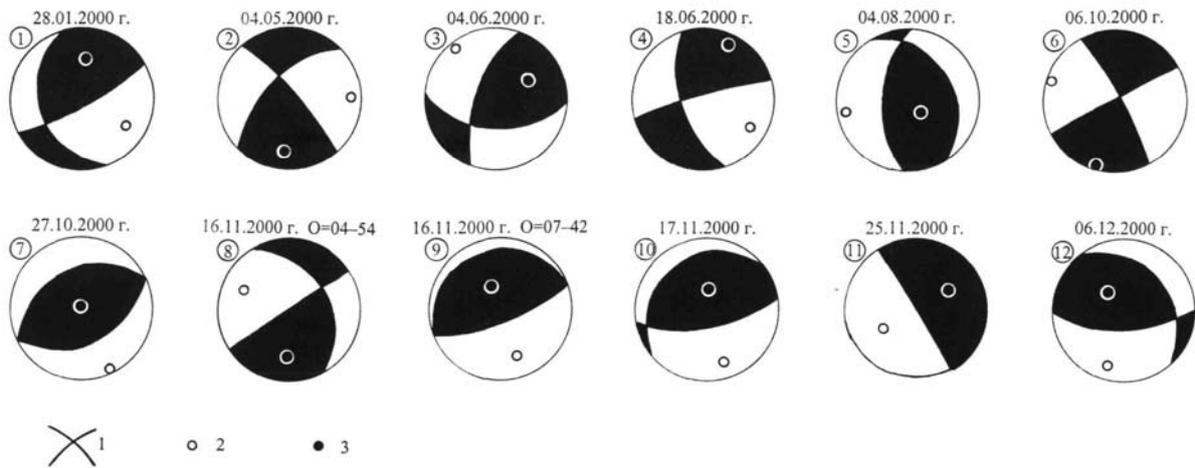


Рис. 1. Стереограммы механизмов очагов землетрясений 2000 г. в проекции нижней полусферы

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

Землетрясение 28 января в 14<sup>h</sup>21<sup>m</sup> (1) у побережья о. Хоккайдо возникло под действием превалирующего напряжения сжатия, ориентированного в юго-восточном направлении. Нодальная плоскость  $NP1$  имеет юго-восточное простирание и залегает полого,  $NP2$  – простирается в северо-восточном направлении и имеет крутое падение. Тип движения по обеим плоскостям – взброс с элементами сдвига (по  $NP1$  – левостороннего, по  $NP2$  – правостороннего).

Механизм очага землетрясения 4 августа в 21<sup>h</sup>13<sup>m</sup> (5) на Сахалине типичен для Сахалинской зоны [7]. Оно произошло на южной окраине сейсмоактивной зоны, которая простирается близмеридионально между сейсмическими станциями Углегорск и Тымовское и характеризуется подвижками взбросового типа. В очаге (5) нодальная плоскость  $NP1$  простирается с северо-запада на юго-восток. Взбросовая подвижка сочетается с левосторонним сдвигом. Плоскость  $NP2$  имеет близмеридиональное направление и более крутое падение, подвижка по ней – почти чистый взброс. С этим простиранием совпадает близмеридиональная вытянутость сейсмоактивной зоны. Отметим, что эпицентр землетрясения (5) расположен в другой сейсмогенной зоне, нежели разрушительное Нефтегорское землетрясение 27.05.1995 г. с  $MS=7.7$  [8].

Взбросовый тип движения наблюдается также для землетрясений (7, 9, 10), относящихся к району Новой Британии, Новой Ирландии. Землетрясения произошли в условиях сжимающих напряжений, ориентированных в юго–юго-восточном направлении. Обе нодальные плоскости имеют северо-восточное простирание.

Для землетрясений (2, 3, 4, 6, 8) характерны подвижки типа сдвиг. Землетрясения произошли в условиях близких по величине сжимающих и растягивающих напряжений. Одна из нодальных плоскостей имеет северо-западное простирание, другая – северо-восточное. Углы наклона плоскостей варьируют от 43° до 89°.

Землетрясение 25 ноября в 18<sup>h</sup>09<sup>m</sup> (11) произошло под действием как сжимающих, так и растягивающих напряжений. Тип движения по обеим плоскостям – сброс. По пологой плоскости  $NP1$  близширотного простирания присутствуют компоненты правостороннего сдвига, по крутопадающей плоскости  $NP2$  – чистый сброс.

В очаге землетрясения 6 декабря в 17<sup>h</sup>11<sup>m</sup> (12) отмечается явное преобладание напряжения сжатия. Плоскость  $NP1$  залегает полого и имеет северо-западное простирание, подвижка – взброс с присутствием компоненты правостороннего сдвига. По плоскости  $NP2$  близширотного простирания, залегающей достаточно круто, отмечается взброс.

**Динамические параметры** очагов в табл. 3 рассчитаны по спектрам продольных волн, зарегистрированных цифровой аппаратурой IRIS на станции «Обнинск» (OBN) для восьми землетрясений (2–4, 6–9, 12) и на станции «Талая» (TLY) – для остальных четырех (1, 5, 10, 11). Привлечение волновых форм этих станций для определения динамических параметров продиктовано их расположением на эпицентральных расстояниях менее 100° (согласно методике их расчета по [9, 10]). Станционные спектры, приведенные к очагу, показаны на рис. 2. Для первой

группы очагов определены уровень  $\Omega_0$  длиннопериодной ветви спектра, частота  $f_n$  точки перелома спектра, частота угловой точки  $f_0$  по станции «Обнинск». На их основе рассчитаны динамические параметры (сейсмический момент  $M_0$ , сброшенное  $\Delta\sigma$  и кажущееся  $\eta\sigma$  напряжения), а также характеристики разрыва в очагах (длина  $L$  и подвижка  $\bar{u}$ ). Для остальных четырех землетрясений из динамических параметров рассчитан только сейсмический момент  $M_0$  по величине  $\Omega_0$ . Остальные динамические параметры, а также характеристики разрыва не определены из-за отсутствия для станции «Талая» поправок за частотную характеристику земной коры.

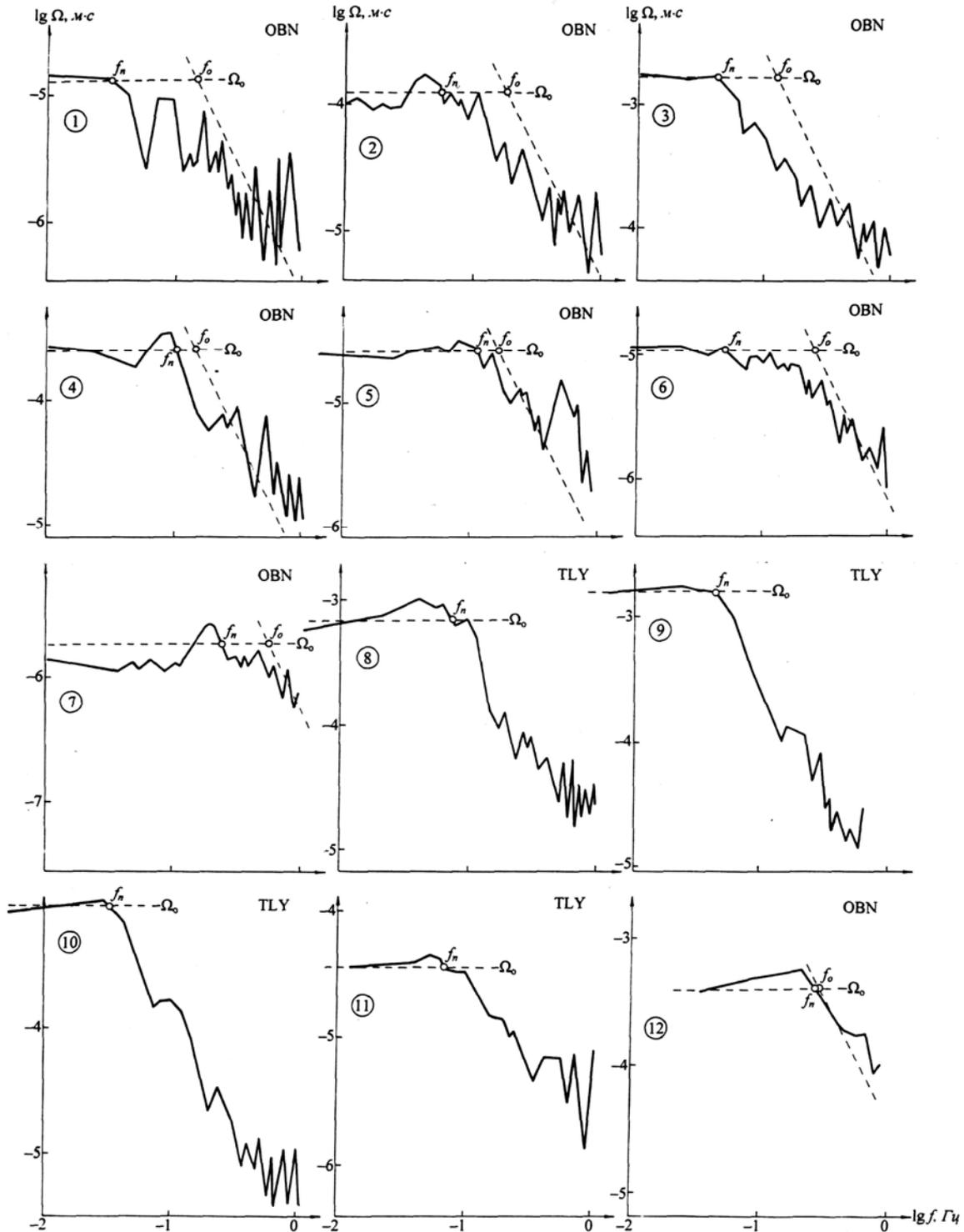


Рис. 2. Очаговые спектры  $P$ -волн, записанных на станциях «Обнинск» и «Талая»  
Номера спектров соответствуют номерам землетрясений в табл. 1.

**Таблица 3.** Характеристики спектров  $P$ -волн и динамические параметры очагов землетрясений по записям цифровой аппаратуры IRIS

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Станция	$M_w$	$\Delta^\circ$	$\Omega_0 \cdot 10^{-4}$ , мс	$f_n \cdot 10^{-2}$ , Гц	$f_0 \cdot 10^{-2}$ , Гц	$M_0 \cdot 10^{19}$ , Н·м	$L \cdot 10^3$ , м	$\Delta\sigma \cdot 10^5$ , Н/м <sup>2</sup>	$\bar{\eta}\sigma \cdot 10^5$ , Н/м <sup>2</sup>	$\bar{u}$ , м
1	28.01	14 21 03.7	OBN	6.4	65.81	0.126	3.2	15.1	0.52	32	5.5	162.3	0.22
2	04.05	04 21 16.7	OBN	7.2	89.02	1.20	5.5	20.0	8.0	24	201.8	21.2	5.88
3	04.06	16 28 26.4	OBN	7.8	80.14	14.4	4.2	12.3	69.0	40	377.3	9.7	18.31
4	18.06	14 44 12.5	OBN	7.4	85.53	2.51	10.0	14.1	14.0	35	114.3	67.7	4.85
5	04.08	21 13 04.4	OBN	6.6	59.28	0.251	12.0	18.2	0.91	27	16.2	93.0	0.53
6	06.10	04 30 23.8	OBN	6.4	65.02	0.107	4.9	24.5	0.44	20	19.2	136.4	0.47
7	27.10	00 08 50.2	OBN	5.8	32.73	0.019	24.5	57.5	0.06	8	42.4	7.6	0.41
8	16.11	04 54 58.4	TLY	7.4	68.80	6.46	7.6	–	14.0	–	–	–	–
9	16.11	07 42 18.0	TLY	7.6	70.66	14.4	4.7	–	32.0	–	–	–	–
10	17.11	21 01 56.4	TLY	7.5	70.17	9.12	3.3	–	20.0	–	–	–	–
11	25.11	18 09 08.3	TLY	6.7	38.30	0.372	6.2	–	1.11	–	–	–	–
12	06.12	17 11 07.5	OBN	6.3	19.66	3.80	26.3	28.8	0.27	17	192.3	88.2	3.97

### Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2000 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 2000–2001.
2. Bulletin of the International Seismological Centre for 2000. – Berkshire: ISC, 2002.
3. Jeffreys H., Bullen K.E. Seismological tables // Brit. Assoc. for the advancement of Sci. – London: Gray-Milne Trust, 1958. – 65 p.
4. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях ЕССН СССР. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
5. Kanamori H. The energy release in great earthquakes // J. Geophys. Res. 1977. – **82**. – P. 2981–2977.
6. 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. – 1981. – **86**. – № В4. – P. 2825–2852.
7. Захарова А.И., Чепкунас Л.С. Очаговые параметры сильных землетрясений Земли // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – С. 159–162.
8. Оскорбин Л.С., Поплавский А.А., Стрельцов М.И., Шолохова А.А., Давыдова Н.А., Койкова Л.Ф., Садчикова А.А., Хритова Л.И. 2001. Нефтегорское землетрясение 27(28) мая 1995 года ( $M_w=7.1$ ) // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – С. 170–182.
9. Аптекман Ж.Я., Дараган С.К., Долгополов Д.В., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С. Спектры  $P$ -волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Унификация исходных данных и процедуры расчета амплитудных спектров // Вулканология и сейсмология. – 1985. – № 2. – С. 60–70.
10. Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С. Спектры  $P$ -волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 2. – С. 66–79.