

**ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗЕМЛИ**

*А. И. Захарова, Л. С. Чепкунас*

Изучение очаговых параметров (основных и динамических) проведено для двенадцати наиболее сильных сейсмических событий Земного шара с магнитудами более 6.5, а также для двух землетрясений меньших магнитуд, возникших на Российской территории в районе Северного Ледовитого Океана (в море Лаптевых и на Северном побережье Восточной Сибири), где толчки такой величины редки. Основные параметры: время возникновения  $t_0$ , координаты гипоцентра  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  и магнитуды MPSP, MPLP, MS,  $m_b$ , Mw; динамические параметры: сейсмический момент  $M_0$ , длина разрыва в очаге  $L$ , сброшенное  $\Delta\sigma$  и кажущееся  $\eta\sigma$  напряжения, величина подвижки  $u$ , элементы механизмов очагов.

Основные параметры очагов представлены в табл. 1, где I – данные Сейсмологического бюллетеня ОМЭ ОИФЗ РАН [1]; II, III – данные Международного сейсмологического бюллетеня (ISC) [2]. Параметры гипоцентров в I и II получены по временам первых вступлений Р-волн на основе годографа Джеффриса-Буллена, но по разным системам наблюдений, в III – по методу тензора момента центраида [3].

**Таблица 1.** Сведения о землетрясениях 1996 г.

№	Дата, д м	Ист.	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр			Магнитуды				Район
				$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h$ , км	Mw	MPSP, $m_b$	MPLP	MS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	01.01	I	08 05 12.3	00.76	119.96	33		6.9	7.5	7.4	Север острова Сулавеси, Индонезия
		II	08 05 10	00.68	119.98	23*		6.3		7.5	
		III	08 05 23.1	00.74	119.93	15	7.9				
2	07.02	I	21 36 44.4	45.26	149.94	30		6.9	7.1	7.0	Курильские острова, Россия
		II	21 36 45.6	45.26	149.89	37*		6.3		6.8	
		III	21 36 56.6	45.29	150.45	49	7.2				
3	17.02	I	05 59 30.6	-0.94	136.98	33		6.5	7.1	7.9	Остров Новая Гвинея
		II	05 59 32.0	-0.94	136.95	50*		6.3		7.8	
		III	06 00 02.8	-0.67	136.62	15	8.2				
4	10.06	I	04 03 35.6	51.60	-177.67	33		6.7	7.3	7.8	Андреановские острова, Алеуты
		II	04 03 35.7	51.55	-177.61	36*		6.5		7.4	
		III	04 04 03.4	51.10	-177.41	29	7.9				
5	10.06	I	15 24 58.0	51.44	-176.66	33		6.3	7.0	7.5	Андреановские острова, Алеуты
		II	15 24 57.2	51.40	-176.85	31*		5.9		6.9	
		III	15 25 09.4	51.38	-176.49	37	7.3				
6	11.06	I	18 22 55.9	12.63	125.12	33		6.5	6.9	7.0	Остров Самар, Филиппины
		II	18 22 53.1	12.65	125.20	16		6.1		6.8	
		III	18 23 05.6	12.74	125.41	28	7.1				
7	21.06	I	13 57 13.6	51.79	158.98	36		6.6	6.8	7.3	Восточнее побережья Камчатки
		II	13 57 12.0	51.55	159.08	33*		5.9		6.8	
		III	13 57 18.2	51.49	159.72	24	6.8				
8	22.06	I	16 47 12.9	75.75	134.62	10		5.9	6.0	6.0	Море Лаптевых
		II	16 47 15	75.78	134.63	24*		5.6		5.7	
		III	16 47 17.1	75.53	135.07	15	5.8				
9	16.07	I	03 48 28.1	55.83	165.08	33		6.0	6.4	7.0	Район Командорских островов
		II	03 48 28.9	56.05	165.00	37*		5.7		6.6	
		III	03 48 34.0	56.16	164.98	15	6.5				

№	Дата, д м	Ист.	t <sub>0</sub> , ч мин с	Эпицентр			Магнитуды				Район
				φ°,N	λ°,E	h, км	M <sub>w</sub>	MPSP, m <sub>b</sub>	MPLP	MS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	18.10	I	10 50 20.9	30.68	131.07	10		6.5	6.3	6.9	Остров Кюсю, Япония
		II	10 50 22.6	30.55	131.15	17*		5.9		6.7	
		III	10 50 32.4	30.42	131.29	22	6.6				
11	19.10	I	14 44 41.6	31.97	131.53	25		6.7	6.9	7.4	Остров Кюсю, Япония
		II	14 44 43.1	31.87	131.73	40*		6.2		6.8	
		III	14 44 48.9	31.78	131.78	22	6.7				
12	24.10	I	19 31 55.1	66.99	-173.01	25		6.5	6.5	6.2	Север Побережья Восточной Сибири (Чукотка)
		II	19 31 54.1	66.96	-173.24	19*		5.8		6.1	
		III	19 31 58.3	67.02	-172.95	17	6.1				
13	19.11	I	10 44 45.5	35.21	78.28	36		6.8	6.8	7.1	Восточный Кашмир, Индия
		II	10 44 46.3	35.31	78.20	36*		6.1		7.0	
		III	10 44 52.3	35.45	77.86	15	6.9				
14	02.12	I	22 17 57.0	31.85	131.37	29		6.3	6.5	6.9	Остров Кюсю, Япония
		II	22 17 58.5	31.78	131.47	45		5.8		6.7	
		III	22 18 06.3	31.76	131.72	33	6.7				

Примечание. В графе 7 знаком \* помечена глубина очага, определенная по волнам pP-P, отраженным от дневной поверхности вблизи эпицентра.

Различия в параметрах t<sub>0</sub>, φ, λ, h по I и II в большинстве случаев находятся в пределах точности их определений. Однако, как отмечалось и ранее в [4-7], для ряда землетрясений наблюдаются расхождения в магнитудах, достигающие 0.4-0.8 единиц MS, что превышает допустимые погрешности расчета. В этих случаях, по-видимому, необходимо провести дополнительный анализ данных.

Механизмы очагов для всех 14 землетрясений приведены в [8] по данным [2]. Они получены по методу тензора момента центроида [3]. Стереограммы механизмов в проекции нижней полусферы даны на рис. 1. Рассмотрим землетрясения по регионам и типу механизмов очагов.

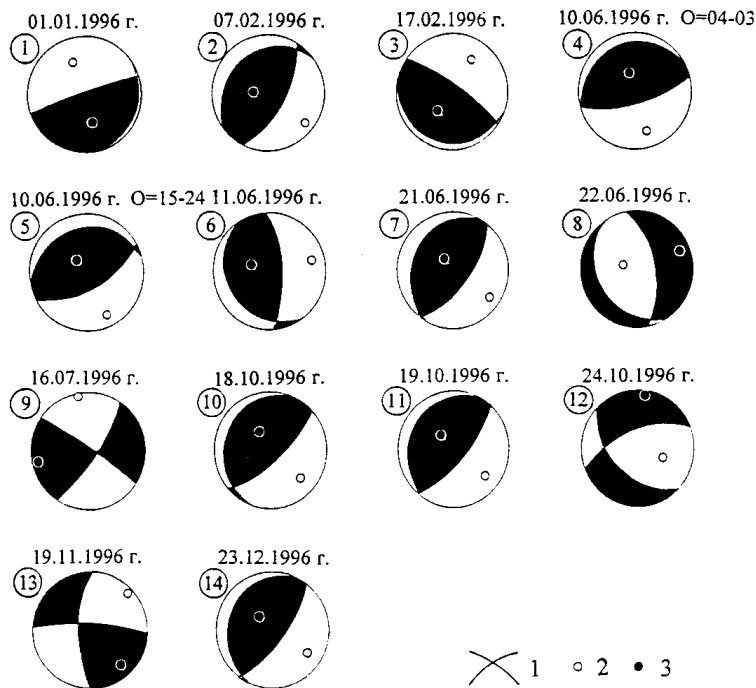


Рис. 1. Механизмы очагов землетрясений

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

Как следует из табл. 1, большая часть землетрясений (одиннадцать из четырнадцати) произошла в Тихоокеанском поясе сейсмичности на относительно небольших глубинах.

Из них восемь землетрясений (1,2,4,5,7,10,11,14 из табл. 1) имеют близкие механизмы очагов, обусловленные действием сжимающих напряжений юго-восточного или юго-юго-восточного направлений. Это землетрясения (2,7), происшедшие 7 февраля в районе южных Курильских островов с  $M_w = 7.1$  и 21 июня у Восточного побережья Камчатки с  $M_w=6.7$ . В их очагах обе нодальные плоскости (как пологая, так и более крутая) имеют северо-восточное простирание и взбросовые подвижки. Подобные механизмы очагов характерны и для трех землетрясений из района Японского о. Кюсю: главного события 19 октября с  $M_w=6.7$  (11), его сильнейшего форшока 18 октября с  $M_w=6.6$  (10) и сильного афтершока 2 декабря с  $M_w=6.7$  (14). Механизмы двух землетрясений (4,5) из района Андреановских островов, возникших 10 июня (главный толчок с  $M_w=7.9$  и его сильнейший афтершок с  $M_w=7.2$ ), отличаются от упомянутых выше близширотным простиранием обеих нодальных плоскостей, подвижки по ним также представлены взбросами. К механизмам очагов землетрясений (4,5) 10 июня близок механизм очага землетрясения 1 января с  $M_w = 7.9$ , происшедшего в северной части о. Сулавеси, Индонезия. Здесь одна плоскость имеет почти горизонтальное заложение с надвиговой подвижкой, другая – вертикальное со взбросовой.

Подвижки взбросового типа присущи также механизмам очагов землетрясений (3,6), происшедших 17 февраля с  $M_w=8.2$  из района о. Новая Гвинея и 11 июня с  $M_w=7.1$  из района о. Самар, Филиппины. Но если для первого события они обусловлены преобладанием сжимающего напряжения северо-восточного направления, то для второго – близширотного. В обоих очагах одна нодальная плоскость также залегает полого, другая – круто, но для события (3) простирание обеих плоскостей – северо-западное, для (6) – близмеридиональное.

К Тихоокеанскому сейсмическому поясу относится и землетрясение (9) из района Командорских островов 16 июля с  $M_w=6.5$ , имеющее совершенно иной тип механизма очага. Оно возникло под действием близгоризонтальных сжимающих и растягивающих напряжений, при этом ось сжатия ориентирована на север, ось растяжения – на запад. Обе нодальные плоскости имеют крутое падение, простирание одной из них северо-восточное, другой – северо-западное, подвижки по ним представлены сдвигами.

Сдвиговые подвижки отмечены также по нодальным плоскостям почти широтного и меридионального направлений в очаге землетрясения (13) 19 ноября с  $M_w=6.9$ . Оно произошло на границе Индийской и Евразийской плит под действием близгоризонтальных напряжений сжатия и растяжения.

В очаге землетрясения (12) 24 октября с  $M_w=6.1$  на Северном побережье Восточной Сибири, происшедшем на Чукотском нагорье, на границе Северо-Американской и Евразийской плит, сдвиговые подвижки имеют подчиненное значение в комбинации со сбросами. Землетрясение возникло в условиях преобладающего напряжения растяжения, направленного меридионально. Одна из нодальных плоскостей ориентирована в направлении северо-запад, другая – на северо-восток.

Сбросовые подвижки по обеим нодальным плоскостям, ориентированным в северо-северо-западном направлении, преобладают и в очаге землетрясения (8) в море Лаптевых – 22 июня с магнитудой  $M_w=5.7$ . Землетрясение приурочено к Срединно-Арктическому поясу, протягивающемуся через глубоководную часть Арктического бассейна до шельфа моря Лаптевых (осевая зона подводного хр. Гаккеля). Оно возникло под действием растягивающих напряжений близширотного направления.

Динамические параметры рассчитывались по методике [9,10] на основе спектров продольных волн, записанных цифровой аппаратурой IRIS на станциях "Обнинск" для тринадцати землетрясений, а для (4) также на цифровых станциях "Арти" и "Кисловодск". Станционные спектры, исправленные за аппаратуру и условия распространения Р-волн, т.е. приведенные к очагу, показаны на рис. 2. Спектральные характеристики очагов (уровень  $\Sigma_0$  длиннопериодной ветви спектра, частота  $f_n$  точки перелома спектра, частота  $f_0$  его угловой точки) и их динамические параметры (сейсмический момент  $M_0$ , сброшенное  $\Delta\sigma$  и кажущееся  $\eta\sigma$  напряжения), а также характеристики разрыва в очагах (длина  $L$  и подвижка  $u$ ) представлены в табл. 2, где для сравнения приведены значения  $M_0$  из [2] по данным Гарвардского центра США (HRVD).

Зависимости  $M_0^{OBN}$  от  $M_0^{HRVD}$  и  $M_0^{OBN}$  от  $M_w$  показаны на рис. 3,4. Уравнения ортогональной регрессии имеют вид:

$$\lg M_0^{OBN} = (4.15 \pm 1.82) + (0.79 \pm 0.09) \lg M_0^{HRVD},$$

при коэффициенте корреляции  $r=0.94$ , и

$$\lg M_0^{OBN} = (11.30 \pm 1.03) + (1.18 \pm 0.13) M_w,$$

при коэффициенте корреляции  $r=0.94$ .

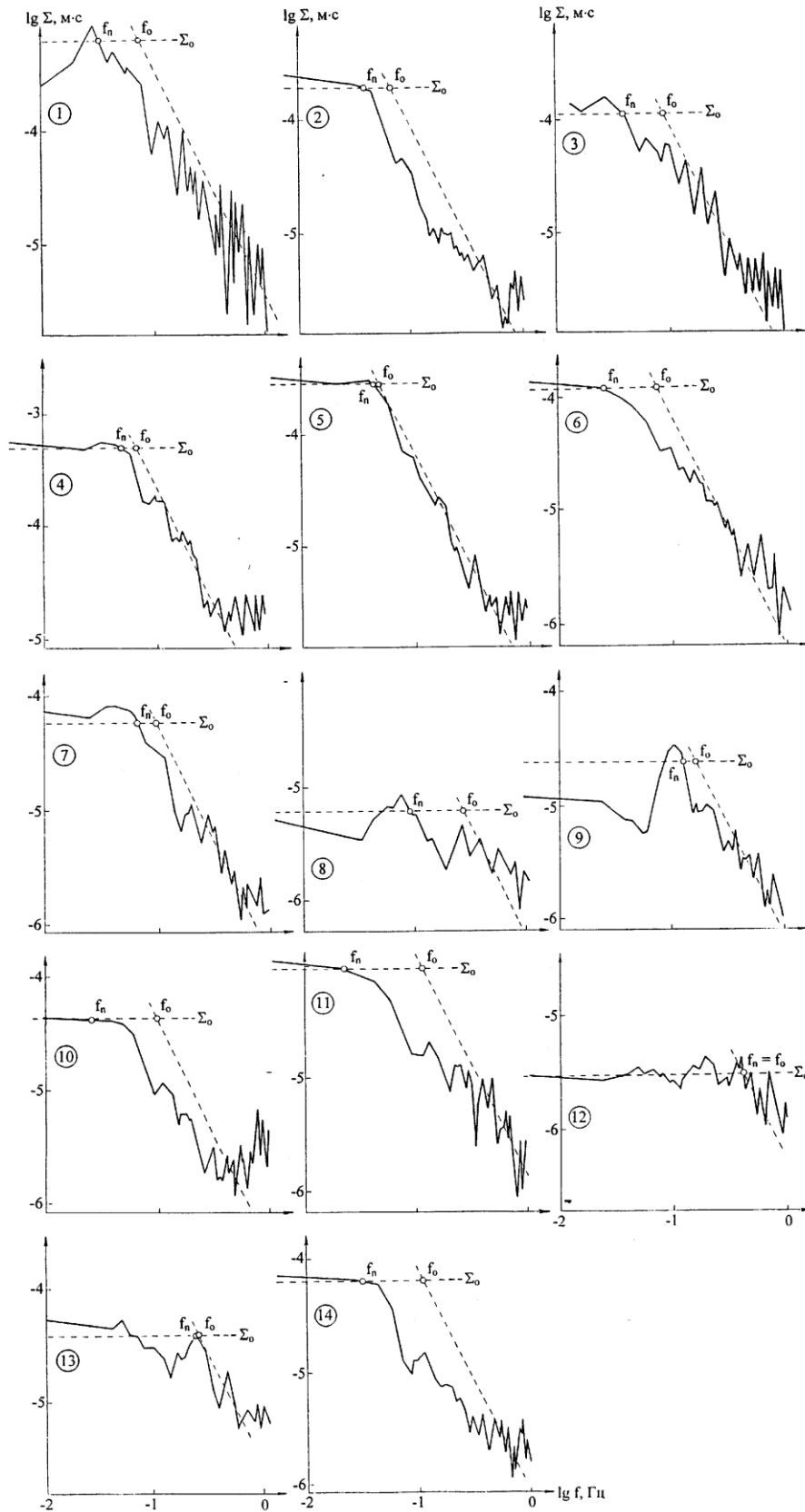


Рис. 2. Очаговые спектры Р-волн, записанные на станции "Обнинск"

Нумерация дана в соответствии с табл. 1

Таблица 2. Характеристики спектров Р-волн и динамические параметры очагов землетрясений 1996 г. по станциям "Обнинск" (1-14), "Арти" (4\*), "Кисловодск" (4\*\*)

№	MS	$\Delta^\circ$	$\Sigma_0 \cdot 10^{-4}$ , м·с	$f_n \cdot 10^{-2}$ , Гц	$f_0 \cdot 10^{-2}$ , Гц	$M_0 \cdot 10^{19}$ , Н·м	$M_0 \cdot 10^{19}$ , Н·м, (HRVD)	$L \cdot 10^3$ , 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	7.4	85.6	5.9	3.2	7.2	33	78	68	37	8	2.60
2	7.0	65.3	1.8	4.0	6.9	7.4	6.4	71	7	9	0.53
4	7.8	69.9	4.6	5.2	7.2	23	80	68	22	55	1.57
*4	7.8	62.8	12.9	5.0		25					
**4	7.8	78.6	11.2	3.8		26					
5	7.5	70.3	2.5	4.6	5.1	11	8.5	96	4	36	0.43
6	7.0	78.9	1.1	2.4	6.9	5.4	4.9	71	5	13	0.39
7	7.3	63.2	0.5	6.9	10.2	4.0	1.5	57	8	112	0.20
8	6.0	39.4	0.06	9.1	26.9	0.2	0.05	18	11	10	0.25
9	7.0	61.7	0.2	13.5	17.8	0.9	0.7	28	15	75	0.43
10	6.9	67.9	0.4	2.5	9.6	1.8	1.0	52	4	24	0.28
11	7.4	67.1	0.9	2.4	11.7	4.0	1.4	42	19	70	0.82
12	6.2	56.2	0.03	40.7	40.7	0.18	0.15	12	20	44	0.25
13	7.1	34.8	0.4	24.0	25.7	1.9	2.4	23	55	119	0.57
14	6.9	67.1	0.6	3.5	12.3	2.6	1.2	40	14	19	0.59

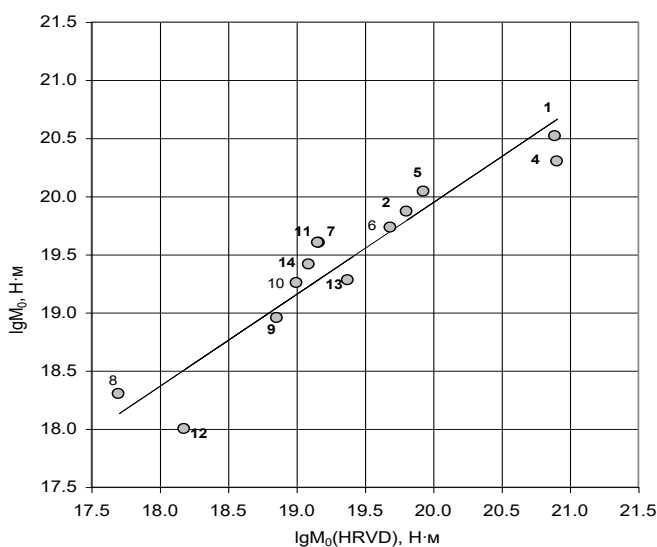


Рис. 3. Зависимость величины  $M_0$ , полученной авторами, от  $M_0$ (HRVD)

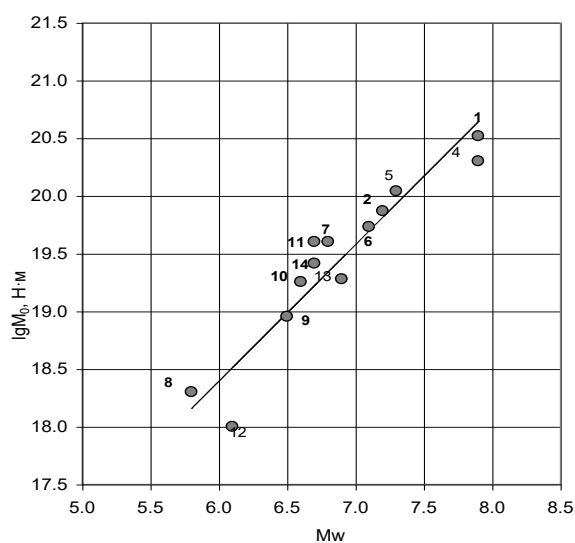


Рис. 4. Зависимость величины  $M_0$ , полученной авторами, от моментной магнитуды  $M_w$ (HRVD)

### Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1996 год. 1996-1997. / Отв. ред. О.Е. Старовойт. Обнинск: Изд-во ОМЭ ИФЗ РАН.
2. Bulletin of the International Seismological Centre (for 1996). 1998-1999. Ньюбери: Изд-во ISC.
3. Dzievonski A., Chou T. and Woodhouse J. 1981. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // J. Geophys. Res. V.86. №B4. P. 2825-2852.
4. Захарова А.И., Чепкунас Л.С. 1997. Спектральные и динамические характеристики очагов сильных землетрясений Мира // Землетрясения Северной Евразии в 1992 году. М.: Изд-во Геоинформмарк. С. 120-126.

5. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С. 1999.** Очаговые параметры сильных землетрясений Мира // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М.: Изд-во НИИ-Природа. С. 136-139.
6. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С. 2000.** Очаговые параметры сильных землетрясений Мира // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 129-133.
7. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С. 2001.** Очаговые параметры сильных землетрясений Земли // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 159-162.
8. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С.** Землетрясения Земли в целом // См. раздел IV (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб.
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. 1985.** Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Унификация исходных данных и процедуры расчета амплитудных спектров // Вулканология и сейсмология. №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. 1989.** Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. №2. С. 66-79.

