

ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАИБОЛЕЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗЕМЛИ

А. И. Захарова, Л. С. Чепкунас

Изучение очаговых параметров (основных и динамических) проведено для восьми наиболее сильных землетрясений Земного шара с магнитудами ≥ 6.5 . Рассмотрены следующие основные параметры: время возникновения t_0 , координаты гипоцентра φ, λ, h и магнитуды MPSP, MPLP, MS, 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 землетрясений представлены в табл. 1, где I – данные Сейсмологического бюллетеня ЦОМЭ ОИФЗ РАН [1]; II, III – данные Международного сейсмологического бюллетеня (ISC) [2]. Значения гипоцентров в I и II получены по временам первых вступлений P-волн на основе годографа Джеффриса-Буллена [3], но по разным системам наблюдений, в III – по методу тензора момента центраида [4].

Таблица 1. Сведения о землетрясениях 1997 г.

№	Дата, д м	Вариант	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуды				Район
				φ°, N	λ°, E	h, км	Mw	MPSP, m_b	MPLP	MS, Ms	
1	04.02	I	10 37 47.9	37.75	57.24	10	6.5	6.4	6.4	6.6	Иран-Туркмения, пограничная область
		II	10 37 51.2	37.74	57.29	36		5.8		6.6	
		III	10 37 52.5	37.82	57.50	15					
2	27.02	I	21 08 07.1	29.78	68.24	33	7.1	6.7	6.9	6.8	Пакистан
		II	21 08 02.7	29.96	68.20	34		6.1		6.9	
		III	21 08 13.6	29.74	68.13	15					
3	10.05	I	07 57 30.2	33.98	59.81	7	7.2	7.0	6.9	7.0	Иран
		II	07 57 30.0	33.88	59.82	7		6.2		7.1	
		III	07 57 49.8	33.58	60.02	15					
4	08.11	I	10 02 53.2	35.28	87.38	33	7.5	6.5	7.1	7.7	Тибет
		II	10 02 53.4	35.12	87.37	38		6.0		7.4	
		III	10 03 03.4	35.33	86.96	16					
5	05.12	I	11 26 54.8	54.88	161.95	33	7.8	7.0	7.2	7.9	У восточного побережья Камчатки
		II	11 26 53.8	54.80	162.01	25		6.1		7.4	
		III	11 27 21.3	54.31	161.91	34					
6	05.12	I	18 48 22.2	53.71	161.60	33	6.5	6.4	6.5	6.7	У восточного побережья Камчатки
		II	18 48 20.7	53.72	161.72	17		6.1		6.5	
		III	18 48 28.3	53.68	161.96	16					
7	06.12	I	10 59 10.0	53.94	161.93	36	6.1	6.0	6.3	6.5	У восточного побережья Камчатки
		II	10 59 09.6	53.95	161.87	29		5.6		6.1	
		III	10 59 14.9	53.85	162.29	18					
8	07.12	I	17 56 18.8	54.76	162.77	33	6.2	6.2	6.4	6.6	У восточного побережья Камчатки
		II	17 56 17.4	54.64	162.83	22		5.4		6.2	
		III	17 56 22.1	54.50	163.08	15					

Различия в параметрах t_0 , φ , λ , h по I и II в большинстве случаев находятся в пределах погрешности их определений. Однако, как отмечалось и ранее, например в [5], для ряда землетрясений наблюдаются расхождения в магнитудах, достигающие 0.4-0.8 единиц MS, что превышает допустимые погрешности расчета. В этих случаях, при необходимости, можно провести дополнительный анализ данных. Как следует из табл. 1, самые сильные землетрясения года произошли на относительно небольших глубинах, причем половина из них (четыре из восьми) – в Трансзиатском поясе сейсмичности, другая – в Тихоокеанском поясе.

Механизмы очагов для всех 8 землетрясений приведены в табл. 2 по данным [2]. Они получены для модели двойной пары сил из решения по методу тензора момента центраида [4]. Стереогаммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы даны на рис. 1.

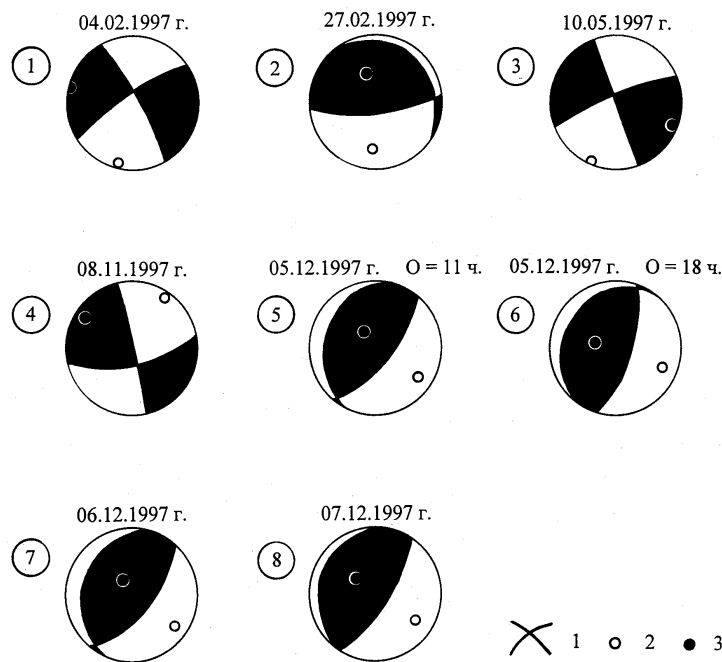


Рис. 1. Механизмы очагов землетрясений №№1-8

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

Таблица 2. Параметры механизмов очагов (метод ТМЦ по HRVD из [2])

№	Дата, д м	t ₀ , ч мин с	h, км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				M _w	M _{S/n}	M _{PSP}	T		N		P		NP1			NP2		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	04.02	10 37 47.9	18*	6.5	6.6/14	6.4/30	0	282	77	14	13	192	328	81	-171	236	81	-9
2	27.02	21 08 01.7	32*	7.1	6.8/11	6.7/21	57	344	8	87	31	182	298	15	122	85	77	82
3	10.05	07 57 30.2	13*	7.2	7.0	7.0	5	113	83	341	5	203	248	83	0	338	90	-173
4	08.11	10 02 53.2	38*	7.5	7.7/7	6.5/18	16	301	69	164	14	35	79	69	2	348	88	159
5	05.12	11 26 54.8	29*	7.8	7.9/16	7.0/15	66	321	6	217	23	124	202	23	74	39	68	97
6	05.12	18 48 22.2	22*	6.5	6.7/32	6.4/40	63	279	4	18	27	110	212	19	104	17	72	85
7	06.12	10 59 10.0	28*	6.1	6.5/28	6.0/35	69	325	7	218	20	125	204	26	75	41	65	97
8	07.12	17 56 18.8	31*	6.2	6.6/26	6.2/27	60	308	2	214	30	123	205	15	81	35	75	93

Примечание. В графах 2,3,6,7 даны параметры землетрясений по [1]; в графе 4 дана глубина очага по волнам типа pP-P, отраженным от дневной поверхности вблизи эпицентра из [2]; в графе 5 дана моментная магнитуда из [2].

Очаг землетрясения (№1), названного Боджнурдским [6], возник на границе Иран-Туркмения под действием напряжений растяжения, несколько превышающих по величине напряжения сжатия. Тип движения представлен сдвигами с незначительной компонентой сброса по обеим нодальным плоскостям, имеющим крутое падение (около 80°). При этом одна нодальная плоскость имеет юго-западное простирание (STK=237°), другая – северо-западное (STK=328°).

Землетрясения в Иране (№3) и Тибете (№4) произошли под действием напряжений сжатия и растяжения, близких по величине. Для землетрясения №3 в движении по обеим плоскостям круглого залегания (северо-западного и юго-восточного направлений) отмечается практически чистый сдвиг. Для землетрясения №4 одна плоскость имеет близмеридиональное простирание (STK=348°), другая – близширотное (STK=79°), в движении по обеим плоскостям также преобладает сдвиговая компонента.

Землетрясение в Пакистане (№2) возникло в основном под действием напряжений сжатия, ориентированных в южном направлении. По нодальной плоскости близширотного простирания

($STK=85^\circ$) и крутого падения ($DP=77^\circ$) в движении преобладает взбросовая компонента, по плоскости северо-западного простирания ($STK=298^\circ$) и пологого залегания ($DP=15^\circ$), подвижка представлена надвигом.

Землетрясение №5 – это сильное Кроноцкое землетрясение [7] у восточного побережья Камчатки, а землетрясения №№6-8 – его сильнейшие афтершоки. Механизм этих землетрясений типичен для очагов региона. Землетрясения возникли под действием напряжений сжатия, ориентированных в юго-восточном направлении. Обе nodальные плоскости имеют северо-восточное простирание, подвижки по ним представлены взбросами.

Динамические параметры рассчитывались по методике [8,9] на основе спектров продольных волн, записанных цифровой аппаратурой IRIS на станции "Обнинск". Станционные спектры, исправленные за аппаратуру и условия распространения Р-волн, т.е. приведенные к очагу, показаны на рис. 2. Спектральные характеристики очагов (уровень Ω_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 \bar{u}) представлены в табл. 3. На основе данных этой таблицы построены зависимости между M_0^{OBN} и M_0^{HRVD} , а также между M_0^{OBN} и M_w по данным Гарвардского центра США [4].

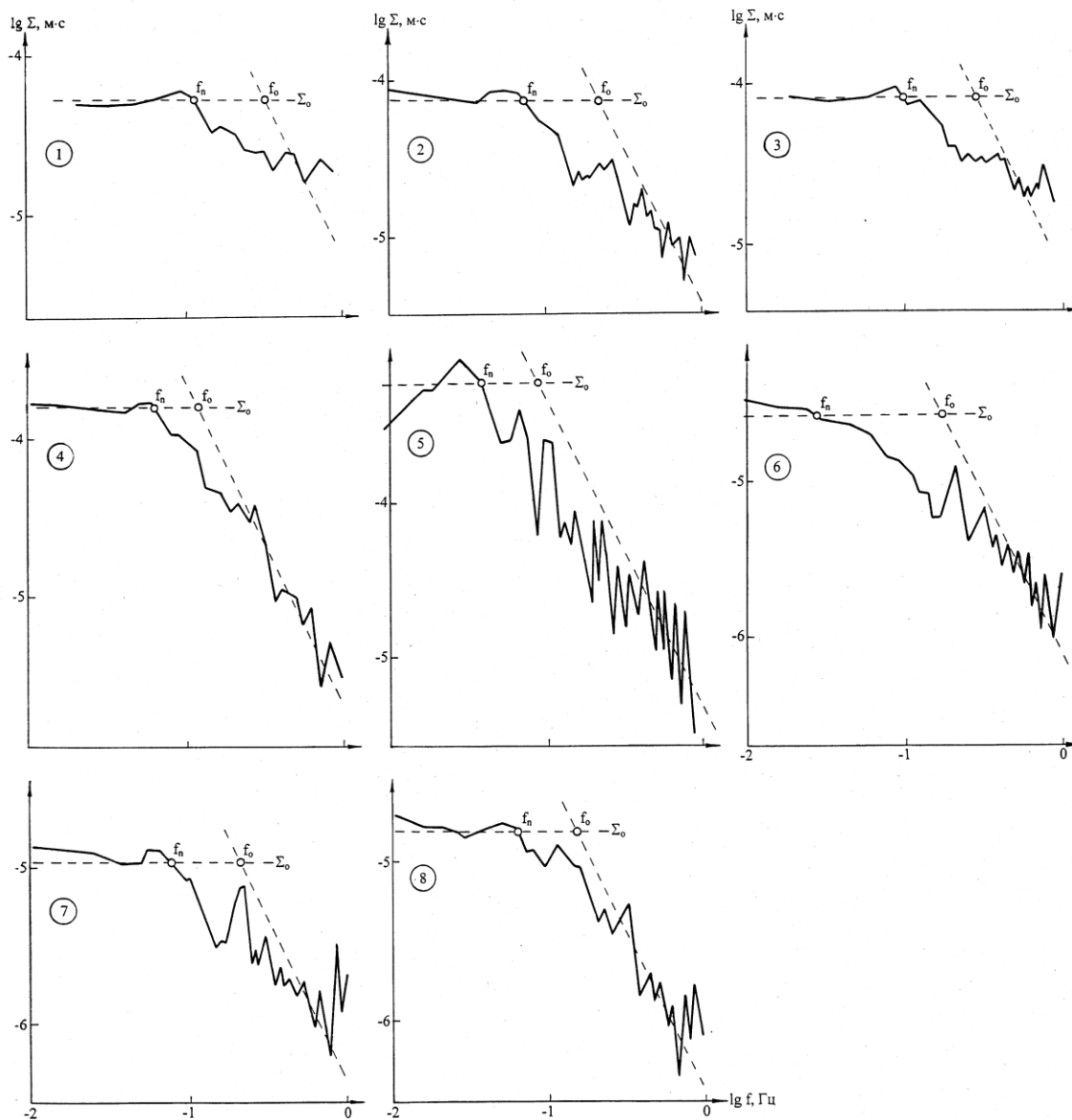


Рис. 2. Очаговые спектры Р-волн, записанные на станции "Обнинск"

Номера спектров соответствуют номерам землетрясений в табл. 1.

Таблица 3. Характеристики спектров Р-волн и динамические параметры очагов землетрясений из табл. 1 по записям станции "Обнинск"

№	Ms	Δ°	$\Omega_0 \cdot 10^{-4}$, м·с	$f_n \cdot 10^{-2}$, Гц	$f_0 \cdot 10^{-2}$, Гц	$M_0 \cdot 10^{19}$, Н·м OBN	$M_0 \cdot 10^{19}$, Н·м HRVD	$L \cdot 10^3$, м	$\Delta\sigma \cdot 10^5$, Н/м ²	$\bar{\eta}\sigma \cdot 10^5$, Н/м ²	\bar{u} , м
1	6.6	22.3	0.52	12.0	34.7	0.52	0.67	14	66	29	1.13
2	6.8	34.0	0.76	7.4	22.4	2.00	5.2	22	66	18	1.50
3	7.0	26.6	0.79	10.7	29.5	1.20	7.3	16	102	50	1.99
4	7.7	39.9	1.58	6.3	24.5	5.20	22.0	42	24	151	1.07
5	7.9	61.6	5.75	4.2	10.0	22.00	53.2	49	65	71	3.33
6	6.7	62.5	0.24	2.9	18.2	0.93	0.54	27	16	27	0.46
7	6.5	62.4	0.12	7.9	20.9	0.81	0.15	24	20	15	0.51
8	6.6	61.9	0.16	6.3	15.8	0.60	0.21	30	8	29	0.24

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

$$\lg M_0^{OBN} = (7.91 \pm 2.17) + (0.58 \pm 0.13) \lg M_0^{HRVD}.$$

Коэффициент корреляции $r=0.87$.

$$\lg M_0^{OBN} = (13.11 \pm 1.51) + (0.89 \pm 0.19) Mw.$$

Коэффициент корреляции $r=0.88$.

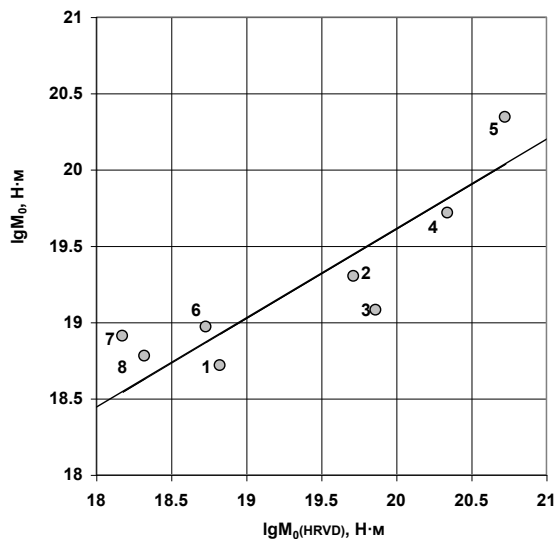


Рис. 3. Зависимость величины M_0 , полученной авторами, от M_0 (HRVD)

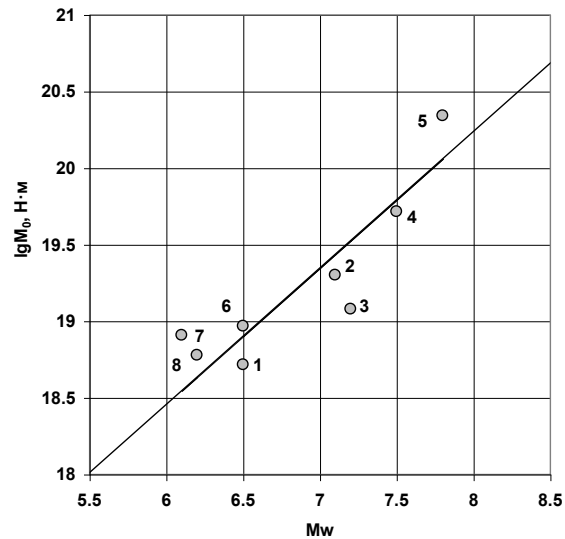


Рис. 4. Зависимость величины M_0 , полученной авторами, от моментной магнитуды Mw(HRVD)

Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1997 год. 1997-1998. / Отв. ред. О.Е. Старовойт. Обнинск: Изд-во ЦОМЭ ИФЗ РАН.
2. Bulletin of the International Seismological Centre (for 1997). 1999-2000. Berkshire, ISC.
3. Jeffreys H., Bullen K.E. 1967. Seismological tables. London: Office of the British Association. Burlington House. W.1. 50 p.
4. 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.

5. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С. 2002.** Очаговые параметры сильных землетрясений Земли // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 165-170.
6. **Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Ильясов Б.И., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р., Безменова Л.В., Гарагозов Д., Ходжаев А., Баймурадов К., Рахманова М.С.** Боджнурдское землетрясение 4 февраля 1997 года с $MS=6.6$, $I_0=8$ (Копетдаг). См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.
7. **Левина В.И., Гусев А.А., Павлов В.М., Иванова Е.И., Левин В.Е., Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М., Гусева Е.М., Салтыков В.А., Зобин В.М.** Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года с $Mw=7.8$, $I_0=8$ (Камчатка). См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.
8. **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.
9. **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.