

VI. Механизмы очагов отдельных землетрясений России

¹И.П. Габсатарова, ²Н.А. Гилёва, ³Н.В. Богинская, ⁴Е.И. Иванова,
¹Л.С. Малянова, ^{5,3}Д.А. Сафонов, ⁶А.И. Середкина

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск; ²Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск; ³Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск; ⁴Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский; ⁵Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск; ⁶Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

В данном разделе представлены параметры механизмов очагов и их диаграммы в нижней полусфере наиболее сильных землетрясений 2016 г., произошедших в шести регионах России – «Камчатка и Командорские острова», «Курило-Охотский регион», «Приамурье и Приморье», «Прибайкалье и Забайкалье», «Сахалин» и «Северный Кавказ».

В [1] помещена таблица параметров механизмов очагов 89 землетрясений в формате MS Excel за 2016 год. База данных землетрясений России [2] дополнена параметрами механизмов очагов 89 землетрясений за 2016 год.

Механизмы очагов 38 землетрясений региона «Камчатка и Командорские острова» и четырех землетрясений Курило-Охотского региона рассчитаны в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН (KAGSR) по знакам первых вступлений P -волн на региональных сейсмических станциях с привлечением данных станций мировой сети. Для этого использовалась программа FA2002, составленная А.В. Ландером [3, 4]. Программа определяет механизм землетрясения, основываясь на методе максимального правдоподобия, а также вычисляет доверительные области для тензорных, векторных и скалярных характеристик решений.

Программа FA2002 А.В. Ландера [3, 4] использовалась и в Центральном отделении (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН для построения механизмов очагов по знакам первых вступлений P -волн девяти наиболее сильных землетрясений региона «Северный Кавказ» (OBGSR) и четырех землетрясений Камчатского и Курило-Охотского регионов (GSRAS в [5]).

В Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН (SAGSR) механизмы очагов пяти землетрясений рассчитывались по знакам первых вступлений P -волн на региональных сейсмических станциях с использованием программы Fostec [6, 7] для регионов «Сахалин», «Приамурье и Приморье», «Курило-Охотский» и «Камчатка и Командорские острова».

Для 33 землетрясений регионов «Сахалин», «Курило-Охотский», «Приамурье и Приморье» и «Камчатка и Командорские острова» механизмы очагов получены в Институте морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН (код центра – IMGG) путем расчета тензора сейсмического момента по программе ISOLA [8, 9]. Для расчета использовались широкополосные записи сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН [10], а также сети F-net агентства NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Япония) [11].

Для региона «Прибайкалье и Забайкалье» механизмы очагов семи землетрясений были получены путем расчета тензора сейсмического момента (ТСМ) по амплитудным спектрам поверхностных волн в приближении двойной пары сил [12, 13]. При этом использовались записи широкополосных каналов цифровых сейсмических станций сетей IRIS. Для нахождения единственного решения была привлечена дополнительная информация о знаках первых вступлений объемных волн, записанных на региональных сейсмических станциях. Методика расчета ТСМ подробно описана в [14].

Для десяти сильных землетрясений 2016 г. имеется по два решения механизма очага центров GSGSR, IMGG, KAGSR и SAGSR.

Параметры механизмов очагов 89 землетрясений России в 2016 г. представлены в табл. VI.1. Решения для центров KAGSR, SAGSR, IMGG и BAGSR сопровождаются оценками качества (точности) Q :











– KAGSR – определение класса точности Q основано на объеме доверительной области в пятимерном пространстве, которому принадлежат все возможные тензорные решения, и на статистике предыдущих решений для механизмов камчатских землетрясений. Класс точности определяет надежность соответствующего механизма по отношению ко всей совокупности камчатских решений. Принадлежность механизма классу А означает, что он входит в число 10% лучших камчатских решений, В – в 25%, С – в 50%, D – в 75%, Е – все остальные;

– SAGSR – количество использованных знаков / количество несогласованных знаков;

– IMGG – Vr – усредненная корреляция между реальными и синтетическими сейсмограммами – 1–0.8 – хорошее решение; 0.8–0.5 – нормальное решение; 0.5–0.2 – посредственное решение; 0.2–0 – плохое решение;

– BAGSR – R – функция нормированной невязки, оценивающая качество полученных решений и характеризующая отклонение амплитудных спектров, рассчитанных для конкретных очаговых параметров, от наблюдаемых.

Таблица VI.1. Параметры механизмов очагов отдельных землетрясений России в 2016 г.

№	Дата, $дд.мм$ t_0 , $чч.мм.сс$ Код центра	M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Q	Диаграмма	Регион	
			T		N		P		$NP1$			$NP2$						
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$				
1	01.01. 21:28:32 SAGSR	4.8	60	208	0	118	30	28	118	15	90	298	75	90	33/2		Курило-Охотский регион	
2	02.01. 04:22:19 SAGSR	5.3	17	202	60	81	24	300	340	61	-6	72	85	-150	39/0		Приамурье и Приморье	
	IMGG		59	166			22	300	226	70	112	356	29	44		0.89		
3	03.01. 00:37:07 IMGG	5.5	66	272				20	126	236	27	118	26	66	77	0.63		Курило-Охотский регион
4	07.01. 20:23:34 KAGSR	5.2	9	289	6	198	79	76	194	54	-97	26	36	-80	E		Камчатка и Командорские острова	
	SAGSR		33	33	20	290	50	174	173	22	-26	286	81	-110	22/0			
5	09.01. 22:44:40 KAGSR	5.0	15	161	74	0	5	253	206	83	165	298	76	8	E		Курило-Охотский регион	
6	10.01. 23:48:52 KAGSR	4.7	8	288	82	90	3	198	63	86	7	333	83	176	B		Камчатка и Командорские острова	
7	11.01. 17:08:03 SAGSR	6.5	13	51	30	148	57	300	344	64	-56	107	41	-139	50/0		Курило-Охотский регион	
	IMGG		6	48			43	144	176	56	-29	283	66	-142	0.71			

№	Дата, дд.мм t_0 , чч.мм.сс Код центра	M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Q	Диаграмма	Регион
			T		N		P		NP1			NP2					
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP			
8	14.01. 03:25:32 IMGG	6.5	69	310			21	122	207	24	84	34	66	93	0.76		Курило-Охотский регион
9	21.01. 08:43:31 KAGSR	5.3	48	69	33	207	22	312	196	75	55	86	37	155	E		Камчатка и Командорские острова
10	22.01. 13:26:43 KAGSR	4.9	30	226	56	14	15	127	359	80	33	263	58	168	A		Камчатка и Командорские острова
	IMGG		75	302			15	128	220	30	93	37	60	88	0.13		
11	23.01. 15:57:00 IMGG	5.4	42	358			39	135	66	88	113	159	23	4	0.83		Курило-Охотский регион
12	26.01. 05:05:15 KAGSR	5.3	59	172	15	55	26	317	239	73	106	16	23	49	D		Камчатка и Командорские острова
	IMGG		51	153			38	321	236	84	96	13	9	47	0.34		
13	30.01. 00:16:36 KAGSR	5.4	44	255	12	153	44	52	333	90	102	63	12	0	C		Камчатка и Командорские острова
14	30.01. 03:25:08 KAGSR	7.4	19	197	56	76	27	297	69	85	-146	335	57	-6	A		Камчатка и Командорские острова
	GSRAS		11	197	28	101	59	307	318	42	-45	85	62	-122			
15	30.01. 03:42:21 KAGSR	4.7	20	348	41	239	42	97	227	77	-133	123	44	-19	D		Камчатка и Командорские острова
16	30.01. 17:23:33 IMGG	5.5	57	335			38	119	174	23	43	43	75	107	0.87		Курило-Охотский регион
17	01.02. 22:47:47 KAGSR	5.1	60	195	29	34	8	299	233	59	124	0	45	47	D		Камчатка и Командорские острова
18	03.02. 17:05:56 OBGSR	3.8	0	198	37	108	52	288	77	56	-137	319	56	-43			Северный Кавказ
19	03.02. 18:27:52 BAGSR	4.8	12	311	7	42	77	162	33	34	-102	227	57	-82	0.323		Прибайкалье и Забайкалье
20	13.02. 20:31:46 BAGSR	4.6	25	328	41	214	39	80	108	42	-12	207	82	-131	0.266		Прибайкалье и Забайкалье
21	18.02. 09:55:10 KAGSR	5.5	76	215	10	354	9	85	346	55	77	188	37	107	E		Курило-Охотский регион
22	25.02. 07:37:06 IMGG	5.1	31	41			18	300	173	82	36	77	55	170	0.27		Камчатка и Командорские острова

№	Дата, дд.мм t_0 , чч.мм.сс Код центра	M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Q	Диаграмма	Регион
			T		N		P		NP1			NP2					
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP			
23	08.03. 18:18:40 KAGSR	5.3	22	155	67	315	7	62	290	80	21	196	70	169	B		Камчатка и Командорские острова
24	18.03. 05:53:45 BAGSR	4.6	27	343	17	81	57	200	37	24	-136	266	74	-72	0.280		Прибайкалье и Забайкалье
25	20.03. 22:50:16 KAGSR	6.9	61	215	28	16	8	110	357	59	57	229	44	132	B		Камчатка и Командорские острова
	GSRAS		60	299	15	180	25	83	143	24	50	5	71	106			
26	24.03. 07:57:38 IMGG	5.6	45	327			45	142	145	3	0	235	90	-92	0.79		Курило- Охотский регион
27	25.03. 21:36:23 KAGSR	5.3	67	140	23	320	0	230	162	49	121	299	49	59	C		Камчатка и Командорские острова
28	30.03. 05:09:59 IMGG	5.5	72	327			17	126	206	28	77	41	62	97	0.76		Курило- Охотский регион
29	05.04. 09:34:23 KAGSR	5.2	26	28	64	198	4	297	165	75	21	70	69	164	A		Камчатка и Командорские острова
30	09.04. 21:48:23 OBGSR	2.8	50	216	18	103	34	0	286	81	108	42	20	27			Северный Кавказ
31	14.04. 03:06:07 KAGSR	6.2	57	207	33	27	0	117	358	54	47	235	54	133	B		Камчатка и Командорские острова
32	22.04. 21:42:16 KAGSR	4.7	8	302	33	207	56	43	185	61	-129	64	48	-42	E		Курило- Охотский регион
33	26.04. 22:39:40 IMGG	5.5	36	2			42	134	249	87	-117	153	27	-7	0.72		Курило- Охотский регион
34	03.05. 00:00:51 IMGG	5.8	18	18			43	126	257	75	-134	152	46	-21	0.49		Курило- Охотский регион
35	05.05. 22:33:57 KAGSR	5.1	26	208	64	18	4	117	345	75	21	250	69	164	E		Камчатка и Командорские острова
36	12.05. 06:32:31 IMGG	5.2	25	321			62	113	222	71	-102	75	23	-59	0.77		Курило- Охотский регион
37	13.05. 21:17:47 OBGSR	5.2	18	150	12	243	69	5	69	64	-77	222	29	-114			Северный Кавказ
38	15.05. 04:13:42 KAGSR	4.9	74	135	16	315	0	45	299	47	68	151	47	112	B		Камчатка и Командорские острова
39	03.06. 18:23:06 KAGSR	5.2	44	120	39	261	21	8	249	76	50	143	42	159	E		Камчатка и Командорские острова

№	Дата, дд.мм t_0 , чч.мм.сс Код центра	M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Q	Диаграмма	Регион
			T		N		P		NP1			NP2					
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP			
40	07.06. 05:16:42 IMGG	4.4	57	350			27	207	103	74	72	333	23	137	0.66		Курило-Охотский регион
41	08.06. 11:15:15 IMGG	4.5	57	42			5	304	187	58	51	65	49	136	0.54		Сахалин
42	12.06. 17:11:39 IMGG	4.6	53	352			35	192	94	81	80	322	13	137	0.52		Курило-Охотский регион
43	17.06. 18:58:28 BAGSR	4.3	32	171	37	289	37	53	111	87	-53	205	37	-175	0.332		Прибайкалье и Забайкалье
44	17.06. 19:04:03 BAGSR	4.4	74	325	13	179	9	87	9	55	106	162	38	69	0.300		Прибайкалье и Забайкалье
45	21.06. 17:59:55 IMGG	4.1	65	287			25	99	181	20	81	11	70	93	0.54		Сахалин
46	28.06. 03:17:13 KAGSR	5.1	0	56	61	146	30	326	7	70	-22	105	70	-158	C		Камчатка и Командорские острова
47	28.06. 09:32:31 KAGSR	5.3	0	315	30	225	60	45	198	52	-129	72	52	-51	B		Камчатка и Командорские острова
48	02.07. 01:47:49 IMGG	5.8	45	311			29	75	10	81	121	114	32	17	0.64		Курило-Охотский регион
49	04.07. 18:40:45 KAGSR	5.1	57	117	21	353	25	253	179	73	111	306	27	40	D		Камчатка и Командорские острова
50	14.07. 06:34:46 KAGSR	5.3	36	337	2	246	54	154	246	81	-92	77	9	-79	A		Камчатка и Командорские острова
51	23.07. 01:00:19 IMGG	5.7	73	48			13	269	170	59	78	13	33	109	0.69		Курило-Охотский регион
52	24.07. 02:51:21 IMGG	5.4	46	22			40	230	126	87	75	25	15	168	0.56		Курило-Охотский регион
53	28.07. 06:05:15 OBGSR	3.9	21	237	64	18	15	142	10	86	26	278	64	176			Северный Кавказ
54	28.07. 21:55:40 IMGG	4.4	45	146			44	310	228	90	98	319	3	1	0.31		Курило-Охотский регион
55	29.07. 11:26:30 KAGSR	4.9	42	349	48	169	0	79	25	62	147	132	62	33	C		Камчатка и Командорские острова
56	03.08. 10:52:25 KAGSR	4.7	72	61	2	156	18	247	155	63	88	339	27	94	C		Камчатка и Командорские острова
57	03.08. 23:28:55 BAGSR	4.2	5	354	9	85	80	237	74	41	-104	272	50	-78	0.290		Прибайкалье и Забайкалье

№	Дата, дд.мм t_0 , чч.мм.сс Код центра	M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Q	Диаграмма	Регион
			T		N		P		NP1			NP2					
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP			
58	07.08. 08:15:06 OBGSR	4.7	0	252	90	88	0	342	297	90	180	27	90	0			Северный Кавказ
59	10.08. 12:17:23 KAGSR	4.8	66	71	16	201	17	296	193	64	73	49	31	122	E		Камчатка и Командорские острова
60	14.08. 11:15:11 SAGSR	5.8	65	358	20	140	14	235	128	62	67	350	36	126	49/2		Сахалин
	IMGG		73	1			10	237	135	56	73	343	37	113	0.6		
61	15.08. 08:23:06 IMGG	4.9	74	320			7	75	149	40	68	357	53	108	0.57		Сахалин
62	16.08. 21:15:45 IMGG	4.9	68	314			11	72	140	38	58	359	59	113	0.52		Сахалин
63	17.08. 14:03:16 IMGG	4.9	85	171			1	64	158	44	97	329	47	84	0.64		Сахалин
64	17.08. 15:50:30 IMGG	4.6	83	284			6	74	160	39	84	347	51	94	0.48		Сахалин
65	20.08. 02:07:14 IMGG	4.2	77	358			4	248	147	50	75	351	42	108	0.63		Сахалин
66	22.08. 02:39:10 KAGSR	5.1	52	121	28	254	24	358	245	74	61	129	33	150	E		Камчатка и Командорские острова
67	27.08. 19:44:23 IMGG	4.4	71	112			14	251	171	60	103	325	32	68	0.44		Сахалин
68	04.09. 15:40:17 KAGSR	5.0	54	293	6	32	36	127	31	81	84	247	11	125	C		Камчатка и Командорские острова
69	05.09. 22:54:02 KAGSR	6.3	41	155	49	323	6	60	295	67	36	189	58	153	E		Камчатка и Командорские острова
	GSRAS		32	81	47	214	25	334	115	48	174	209	86	43			
70	07.09. 16:57:44 OBGSR	4.0	9	256	9	347	77	121	174	54	-79	336	37	-104			Северный Кавказ
71	07.09. 20:07:34 KAGSR	5.3	56	47	33	243	8	149	85	61	129	206	48	42	B		Камчатка и Командорские острова
72	07.09. 20:47:04 KAGSR	5.2	61	146	29	326	0	56	301	52	52	172	52	128	E		Камчатка и Командорские острова
73	07.09. 21:29:35 OBGSR	3.9	9	251	6	342	79	104	166	54	-83	334	36	-100			Северный Кавказ

№	Дата, дд.мм t_0 , чч:мм:сс Код центра	M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Q	Диаграмма	Регион
			T		N		P		NP1			NP2					
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP			
74	21.09. 19:27:36 OBGSR	4.2	28	270	49	37	28	164	217	90	-41	307	49	-180			Северный Кавказ
75	26.09. 18:52:22 IMGG	4.9	79	102			11	279	190	56	91	9	34	89	0.51		Курило-Охотский регион
76	23.10. 20:25:26 GSRAS	5.6	63	303	9	51	25	146	256	21	117	48	71	80			Курило-Охотский регион
	IMGG		66	297			23	140	43	68	81	247	24	112	0.72		
77	29.10. 09:21:46 IMGG	5.5	48	257			24	137	22	77	57	272	36	156	0.26		Курило-Охотский регион
78	30.10. 05:27:05 OBGSR	4.1	19	116	43	225	41	8	57	77	-46	160	46	-162			Северный Кавказ
79	02.11. 03:44:31 KAGSR	5.7	4	297	82	180	7	27	162	88	-172	72	82	-3	A		Камчатка и Командорские острова
80	22.11. 11:37:13 BAGSR	5.0	25	137	65	309	3	45	178	70	164	274	75	21	0.289		Прибайкалье и Забайкалье
81	24.11. 22:30:57 KAGSR	5.7	18	336	2	66	72	161	247	63	-88	63	27	-94	E		Камчатка и Командорские острова
82	25.11. 04:06:49 KAGSR	5.2	35	314	15	55	51	164	237	81	-75	356	18	-150	A		Камчатка и Командорские острова
83	25.11. 07:26:21 KAGSR	5.9	45	112	45	292	0	22	256	60	35	147	60	145	A		Камчатка и Командорские острова
84	25.11. 08:22:48 IMGG	4.3	77	102			10	240	158	55	100	320	36	76	0.51		Сахалин
85	26.11. 10:04:57 KAGSR	4.9	27	339	6	72	62	173	253	72	-84	55	19	-108	D		Камчатка и Командорские острова
86	21.12. 23:55:49 KAGSR	4.7	69	185	12	63	18	330	249	64	103	42	29	66	C		Камчатка и Командорские острова
87	22.12. 06:06:00 KAGSR	4.9	41	319	49	127	6	224	98	67	36	353	58	153	D		Камчатка и Командорские острова
88	22.12. 16:05:06 KAGSR	5.5	35	305	12	207	52	101	205	81	-102	78	15	-38	A		Камчатка и Командорские острова
89	30.12. 17:13:19 KAGSR	5.1	78	34	9	168	9	259	161	55	79	359	37	105	C		Камчатка и Командорские острова

Литература

1. *Part_VI-2016. Mechanisms_2016.xls* // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD-ROM.
2. *Электронный вариант ежегодника «Землетрясения России»* // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD-ROM.
3. *Ландер А.В.* Комплекс программ определения механизмов очагов землетрясений и их графического представления // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.2003–31.12.2003). Отчет КОМСП ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004.
4. *Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов* (Отчет за 01.01.2005 г. – 31.12.2005 г.). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. – 478 с.
5. *Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2016 гг.* [Электронный ресурс]. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016–2017. – Режим доступа: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/.
6. *Snoke J.A., Munsey J.W., Teague A.C., Bollinger G.A.* A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and *SV–P* amplitude ratio data // *Earthquake Notes*. – 1984. – Vol. 55, N 3. – P. 15.
7. *Сафонов Д.А., Коновалов А.В.* Апробация вычислительной программы FOCMES для определения фокальных механизмов землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // *Тихоокеанская геология*. – 2013. – Т. 32, № 3. – С. 102–117.
8. *Sokos E.N., Zahradnik J.* ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data // *Computers & Geosciences*. – 2008. – Vol. 34, Is. 8. – P. 967–977.
9. *Сафонов Д.А., Коновалов А.В.* Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // *Тихоокеанская геология*. – 2017. – Т. 36, № 3. – С. 102–112.
10. *Сейсмические данные* // Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН» [сайт]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/wf.htm>.
11. *Continuous Waveform Images* // NIRD F-net [Web Site]. – URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp/waveform/?LANG=en>.
12. *Букчин Б.Г.* Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // *Известия АН СССР, серия «Физика Земли»*. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
13. *Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R.* Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu ($M_w=5.2$) and 1995 July 21 Yongen ($M_w=5.6$) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // *Geophys. J. Int.* – 2001. – Vol. 144 (1). – P. 206–220.
14. *Середкина А.И., Мельникова В.И.* Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // *Физика Земли*. – 2014. – № 3. – С. 103–114.