

**ЮЖНО-БАЙКАЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 25 февраля 1999 года с  $M_w=6.0$ ,** **$I_0=8$  (Прибайкалье)****Н.А. Радзиминович<sup>1</sup>, Н.А. Гилева<sup>2</sup>, В. И. Мельникова<sup>1</sup>, О.К. Масальский<sup>2</sup>,****Я.Б. Радзиминович<sup>1</sup>, В.В. Ружич<sup>1</sup>, Л.П. Бержинская<sup>1</sup>, А.П. Ордынская<sup>1</sup>,****И.А. Емельянова,<sup>1</sup> О.П. Смекалин**<sup>1</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, [nradzim@crust.irk.ru](mailto:nradzim@crust.irk.ru)<sup>2</sup>Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, [nagileva@crust.irk.ru](mailto:nagileva@crust.irk.ru)

На юге оз. Байкал 25 февраля 1999 г. в 18<sup>h</sup>58<sup>m</sup> произошло землетрясение с  $M_w=6.0$ , которое в связи с его географическим положением получило название Южно-Байкальского [1]. Это землетрясение является вторым по величине сейсмическим событием после Среднебайкальского землетрясения 29.08.1959 г. с  $M=6.8$  [2], произошедшим в пределах акватории оз. Байкал за период постоянных инструментальных наблюдений с 1950 г. Параметры гипоцентра Южно-Байкальского землетрясения, полученные разными агентствами (табл. 1), согласуются между собой, за исключением решения CSEM, где эпицентр смещен по широте почти на градус по сравнению с остальными (возможно, это опечатка). Региональная обработка землетрясения проведена по данным 21 станции сети Байкальского филиала ГС СО РАН (ВУКЛ) и является наиболее достоверной ввиду хорошего азимутального покрытия, наличия большого числа близких станций (9 станций с эпицентральной дистанцией до 350 км) и четких вступлений волн  $P_g$ ,  $P_n$  и  $S_g$  на записях всех станций.

**Таблица 1.** Основные параметры очага Южно-Байкальского землетрясения по данным разных сейсмологических агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр					Магнитуды		Источник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
ВУКЛ	18 58 29.9	0.6	51.64	0.04	104.82	0.04			$K_p=14.6\pm 0.4$	[3]
MOS	18 58 28.9	1.08	51.60	0.04	104.98	0.06	10		$M_S=6.1/25$ , $M_{PSP}=6.0/50$ , $M_{PLP}=6.2/10$ , $M_0=1.1\cdot 10^{18}$ H·м	[4]
ISC	18 58 29.6	0.10	51.63	0.02	104.91	0.03	17*	2*	$M_S=5.6/91$ , $m_b=5.6/194$ , $h^*$ по $pP$	[5]
NEIC	18 58 29.4	0.12	51.60		104.86		10		$M_S=5.5/65$ , $m_b=5.9/142$ , $M_0=8.5\cdot 10^{17}$ H·м	[5]
EIDC	18 58 29	0.47	51.67		105.02		0		$M_S=5.4/12$ , $M_b=4.9/22$	[5]
ВЛ	18 58 31	1.4	51.39		104.95		7		$M_S=6.2$ , $M_b=6.1$	[5]
CSEM	18 58 39		52.7		104.47		10		$M_w=6.0$ , $M_0=1.1\cdot 10^{18}$ H·м	[5]
HRVD									$M_w=5.9$	[5]

**Исторические хроники** свидетельствуют о высоком сейсмическом потенциале района возникновения Южно-Байкальского землетрясения. Так, предположительно в данном месте произошло землетрясение 27.06.1742 г., магнитуда которого оценивается в 7.7, а интенсивность в эпицентре превышала, по-видимому,  $I_0=10$  баллов [2]. По историческим данным к южному Байкалу относят также сильные землетрясения 24.10.1769 г. ( $M\sim 7.3$ ), 08.08.1771 г. ( $M\sim 6.0$ ) и 01.08.1779 г. ( $M\sim 6.6$ ). В XIX в. к рассматриваемому району были приурочены события 08.03.1866 г. ( $M\sim 6.0$ ) и 19.06.1870 г. ( $M\sim 5.5$ ) [2, 6].

С момента первых инструментальных наблюдений в Прибайкалье эпицентры относительно сильных землетрясений определялись уже более уверенно. Это касается землетрясения 11.04.1902 г. с  $M\sim 6.6$ , произошедшего на юго-западной оконечности озера [2], и двух событий

1912 г. с  $M > 5$  [7]. В целом, до 1959 г. в каталоге [2] имеются существенные пропуски землетрясений с  $M < 5$ , однако сильное землетрясение, сопоставимое с событием 22.05.1912 г., было все же отмечено 27.05.1936 г. с эпицентром в районе п. Танхой, практически напротив истока р. Ангары. Магнитуда этого землетрясения оценивается в 5.5, интенсивность в п. Танхой – 7 баллов, в Иркутске – 5 баллов [2, 6].

Во второй половине XX в. достаточно сильные землетрясения на юге озера регистрировались 30.08.1966 г. ( $M=5.5$ ) и 25.01.1973 г. ( $M=4.4$ ). Последним значимым событием здесь до 1999 г. стало землетрясение 12.05.1991 г. ( $M=4.9$ ), эпицентр которого располагался в пределах акватории озера в 20–30 км к западу от п. Бабушкин. В ближайших к эпицентру населенных пунктах интенсивность сотрясений составила  $I=6-7$  баллов [8].

**Пространственно-временные особенности развития очаговой зоны** Южно-Байкальского землетрясения 1999 г. с  $K_p=14.6$  характеризуются многочисленными форшоками и афтершоками (рис. 1). Ранее, даже после землетрясения 30.08.1966 г. с  $K_p=14$  [9], несмотря на выставленные временные станции, было зафиксировано всего два афтершока. Единственным примером группирующихся событий на юге Байкала служит рой немногочисленных (менее 100) землетрясений 1973 г. с  $K_{max}=10$ , эпицентральное поле которых располагалось западнее событий 1999 г. и вытягивалось в северо-западном направлении.

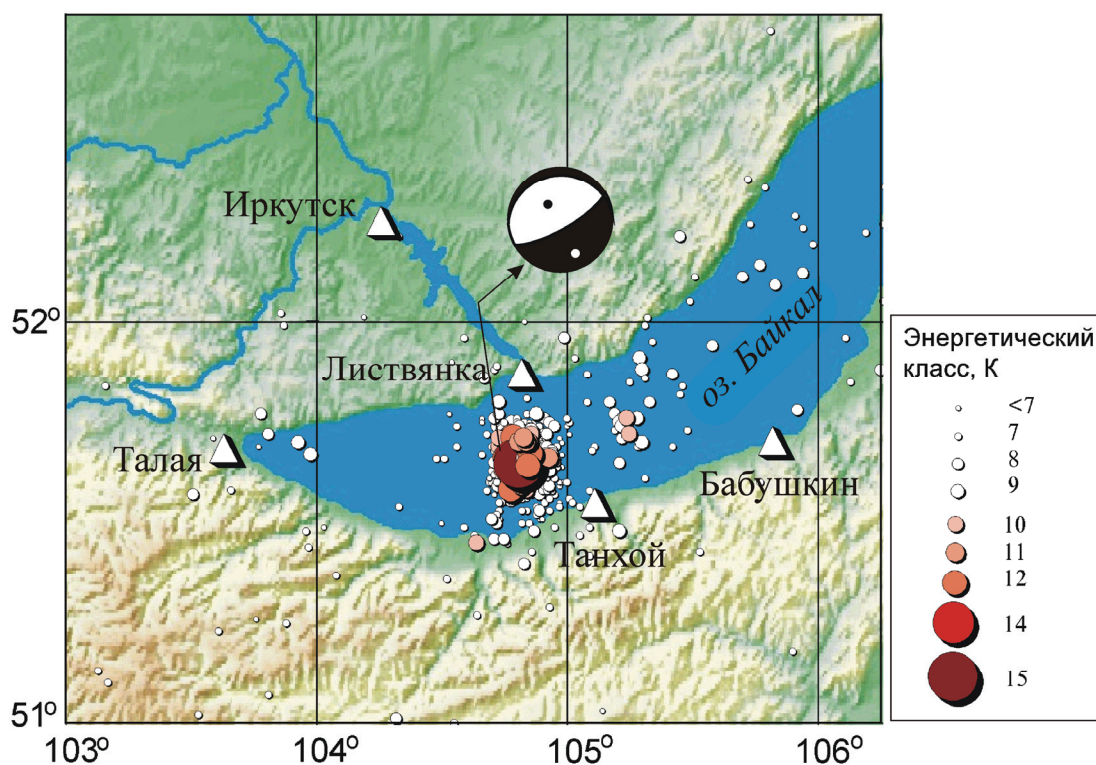


Рис. 1. Положение эпицентрального поля последовательности землетрясений 1999 г. и механизм очага главного толчка 25 февраля

Треугольники – сейсмические станции; стереограмма механизма очага приведена в проекции верхней полусферы, закрашены области волн сжатия.

Форшоковый процесс перед этим землетрясением протекал достаточно сложно. Первая фаза активности началась 9 февраля в 15<sup>h</sup>27<sup>m</sup> землетрясением с  $K_p=11.2$  и достигла своего максимума 10 февраля, когда было записано более 50 толчков с  $K_p \geq 7$ , из них 2 события 11-го класса и три 12-го, а именно: в 08<sup>h</sup>05<sup>m</sup> с  $K_p=12.5$ ; в 08<sup>h</sup>28<sup>m</sup> с  $K_p=11.8$ ; в 11<sup>h</sup>18<sup>m</sup> с  $K_p=12.1$  (рис. 2). Величина энергетической ступени между основным событием и максимальным форшоком составила:

$$\Delta K_\phi = 14.6 - 12.5 = 2.1 \quad (1).$$

11 февраля отмечены еще два форшока 11-го класса: в 00<sup>h</sup>14<sup>m</sup> с  $K_p=11.0$ , в 00<sup>h</sup>16<sup>m</sup> с  $K_p=10.8$ .

Эпицентры этих землетрясений вытянулись в виде цепочки северо-западного направления. С 12 по 22 февраля включительно наблюдается затухание активности, за этот период произошло всего 19 землетрясений с  $K_{\max}=9.1$ . Последующие двое суток (23 и 24-ое февраля) характеризовались полным затишьем. Основная фаза активности форшоков, кульминацией которой и стало собственно Южно-Байкальское землетрясение в  $18^{\text{h}}58^{\text{m}}$  с  $K_{\text{p}}=14.6$ , пришлось на 25 февраля (рис. 2). Первым форшоком 25 февраля сразу же стало событие с  $K_{\text{p}}=12.1$  (в  $05^{\text{h}}37^{\text{m}}$ ), а затем «посыпались» более слабые форшоки, в том числе событие 10-го класса в  $18^{\text{h}}56^{\text{m}}$ , произошедшее за две минуты до главного толчка.

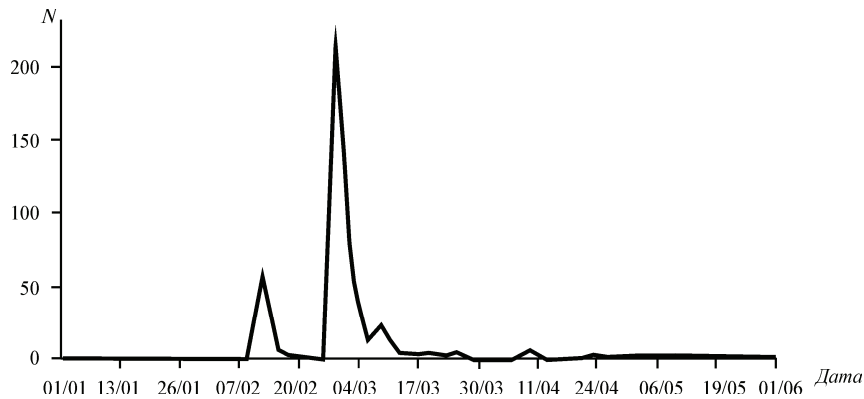


Рис. 2. Распределение во времени числа землетрясений Южно-Байкальской последовательности с 1 января по 1 июня 1999 г.

Эпицентр Южно-Байкальского землетрясения располагался на юге области вышеупомянутых слабых форшоков. Через 13 минут после главного толчка последовал сильнейший афтершок с  $K_{\text{p}}=13.7$ , т.е. энергетическая ступень между главным землетрясением и его максимальным афтершоком составляет

$$\Delta K_{\text{a}}=14.6-13.7=0.9 \quad (2).$$

Следует отметить, что основная часть афтершоков также располагалась к северу от главного толчка, трассируя проекцию основной плоскости разрыва, что подтверждается и разрезом гипоцентров по глубине (см. далее). До конца февраля активность была все еще высока, и наблюдалась тенденция к разрастанию эпицентрального поля. В целом, эпицентрального поле всей последовательности землетрясений (форшоки – главный толчок – афтершоки) несколько вытянуто в меридиональном направлении и имеет приблизительные размеры 15 на 23 км. В марте число афтершоков начало постепенно уменьшаться, далее в апреле область афтершоков стала еще более рассеянной, при этом максимальный класс землетрясений не превышал  $K_{\text{p}} \div 10$ . К июню активность приблизилась к фоновому уровню. Несмотря на такое относительно быстрое затухание афтершокового процесса, район рассматриваемой последовательности остается активным.

Для регистрации афтершоков была дополнительно установлена сейсмическая станция в п. Листвянка на расстоянии 25–30 км от поля афтершоков, начавшая их запись с 1 марта. Это позволило провести релокализацию афтершоков с целью уточнения глубин их гипоцентров. В обработке использовались также записи станций Бурятского филиала ГС РАН, расположенные на восточном побережье озера [10]. Релокализация проводилась по программе HYPOIN-VERSE [11], в основе которой лежит принцип минимизации среднеквадратичного отклонения невязок времен пробега сейсмических волн. Использовались прямые волны  $P_{\text{g}}$  и  $S_{\text{g}}$ . Расчет проводился с различными скоростными моделями земной коры (более подробное описание см. в [12]), но результаты показали, что использование в моделях осадочного слоя, мощность которого в Южно-Байкальской впадине достигает 6–7 км [13], приводит к неадекватным решениям. Поэтому окончательный результат был получен с использованием однослойной модели земной коры со средней скоростью  $P_{\text{g}}=6.1$  км/с и  $v_{\text{p}}/v_{\text{s}}=1.71$ . Ошибки в  $\delta t_0$  у релокализованных событий не превышают 0.6 с, причем для большинства землетрясений они ограничены значением 0.3 с. Средние ошибки в определении эпицентра и глубины составляют 1 и 3 км при 68% доверительном интервале (табл. 2).

**Таблица 2.** Параметры гипоцентров релокализованных афтершоков Южно-Байкальского землетрясения

№	Дата д м	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Эпицентр				$h$ , км	$\delta h$ , км	$K_p^*$
				$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$			
1	01.03	11 43 52.49	0.12	<b>51.637</b>	0.006	<b>104.828</b>	0.012	<b>17.9</b>	1.9	7.8
2	01.03	12 50 09.01	0.16	<b>51.676</b>	0.006	<b>104.685</b>	0.010	<b>24.9</b>	1.5	7.5
3	01.03	13 08 20.90	0.34	<b>51.633</b>	0.006	<b>104.820</b>	0.012	<b>20.4</b>	2.5	8.3
4	01.03	18 50 36.76	0.08	<b>51.576</b>	0.005	<b>104.743</b>	0.011	<b>17.1</b>	2.2	8.1
5	01.03	20 29 46.40	0.19	<b>51.577</b>	0.005	<b>104.778</b>	0.011	<b>18.6</b>	2.6	7.8
6	01.03	23 26 04.41	0.31	<b>51.696</b>	0.006	<b>104.880</b>	0.013	<b>14.1</b>	2.4	7.7
7	02.03	17 27 21.30	0.12	<b>51.622</b>	0.006	<b>104.858</b>	0.013	<b>9.2</b>	3.6	7.8
8	03.03	02 08 40.30	0.19	<b>51.650</b>	0.006	<b>104.872</b>	0.013	<b>17.1</b>	1.9	10.7
9	03.03	07 05 32.15	0.11	<b>51.574</b>	0.005	<b>104.784</b>	0.011	<b>20.0</b>	1.5	8.4
10	03.03	07 31 25.49	0.21	<b>51.645</b>	0.006	<b>104.867</b>	0.013	<b>11.3</b>	4.3	8.0
11	03.03	15 06 16.53	0.11	<b>51.647</b>	0.006	<b>104.829</b>	0.012	<b>17.7</b>	1.6	8.8
12	03.03	15 41 42.17	0.12	<b>51.642</b>	0.006	<b>104.813</b>	0.012	<b>18.5</b>	1.6	9.0
13	03.03	17 00 54.81	0.29	<b>51.665</b>	0.006	<b>104.938</b>	0.014	<b>18.4</b>	2.3	9.5
14	03.03	17 46 24.05	0.35	<b>51.664</b>	0.006	<b>104.821</b>	0.012	<b>17.2</b>	2.6	8.0
15	04.03	00 23 16.27	0.12	<b>51.658</b>	0.006	<b>104.871</b>	0.013	<b>10.8</b>	3.3	7.9
16	04.03	21 04 21.93	0.33	<b>51.662</b>	0.006	<b>104.916</b>	0.014	<b>12.7</b>	3.5	8.2
17	04.03	23 20 04.45	0.25	<b>51.655</b>	0.006	<b>104.785</b>	0.012	<b>21.5</b>	1.9	9.3
18	05.03	04 04 33.92	0.39	<b>51.611</b>	0.006	<b>104.778</b>	0.011	<b>18.7</b>	4.6	7.7
19	05.03	11 01 50.25	0.09	<b>51.620</b>	0.006	<b>104.752</b>	0.011	<b>20.9</b>	1.7	8.1
20	05.03	11 16 29.71	0.26	<b>51.579</b>	0.005	<b>104.833</b>	0.012	<b>13.0</b>	4.9	7.9
21	05.03	13 05 04.89	0.05	<b>51.554</b>	0.005	<b>104.771</b>	0.011	<b>10.0</b>	6.5	8.2
22	05.03	14 38 54.71	0.21	<b>51.571</b>	0.005	<b>104.807</b>	0.012	<b>4.3</b>	9.1	8.3
23	05.03	14 57 46.85	0.21	<b>51.594</b>	0.005	<b>104.736</b>	0.011	<b>14.5</b>	2.7	8.3
24	05.03	15 13 27.07	0.45	<b>51.579</b>	0.005	<b>104.772</b>	0.011	<b>14.5</b>	5.3	7.9
25	06.03	00 54 34.81	0.23	<b>51.647</b>	0.006	<b>104.821</b>	0.012	<b>23.0</b>	2.3	11.9
26	06.03	02 03 31.14	0.21	<b>51.589</b>	0.005	<b>104.837</b>	0.012	<b>10.0</b>	4.2	9.2
27	06.03	03 12 06.26	0.39	<b>51.662</b>	0.006	<b>104.816</b>	0.012	<b>20.9</b>	2.4	8.2
28	06.03	09 22 40.45	0.15	<b>51.685</b>	0.006	<b>104.868</b>	0.013	<b>20.3</b>	1.8	9.2
29	06.03	10 36 33.87	0.3	<b>51.585</b>	0.005	<b>104.815</b>	0.012	<b>20.3</b>	3.0	10.3
30	06.03	10 49 23.68	0.33	<b>51.598</b>	0.005	<b>104.794</b>	0.012	<b>12.5</b>	5.4	8.2
31	06.03	11 25 13.46	0.6	<b>51.609</b>	0.005	<b>104.800</b>	0.012	<b>13.8</b>	6.4	8.1
32	06.03	12 55 55.23	0.37	<b>51.653</b>	0.006	<b>104.844</b>	0.012	<b>17.7</b>	3.8	8.2
33	06.03	16 05 47.84	0.07	<b>51.663</b>	0.006	<b>104.839</b>	0.012	<b>14.3</b>	2.3	8.1
34	06.03	21 23 20.02	0.15	<b>51.624</b>	0.006	<b>104.773</b>	0.011	<b>18.9</b>	1.8	8.8
35	07.03	21 27 18.24	0.22	<b>51.666</b>	0.006	<b>104.836</b>	0.012	<b>18.3</b>	2.0	8.1
36	07.03	21 41 12.11	0.42	<b>51.681</b>	0.006	<b>104.827</b>	0.012	<b>21.8</b>	2.3	8.6
37	08.03	05 18 55.81	0.4	<b>51.656</b>	0.006	<b>104.812</b>	0.012	<b>16.9</b>	2.9	9.0
38	08.03	07 48 19.20	0.33	<b>51.682</b>	0.006	<b>104.798</b>	0.012	<b>15.9</b>	2.4	8.1
39	08.03	15 31 21.19	0.25	<b>51.667</b>	0.006	<b>104.838</b>	0.012	<b>24.3</b>	1.9	8.3
40	10.03	10 23 21.19	0.12	<b>51.628</b>	0.006	<b>104.822</b>	0.012	<b>14.5</b>	1.8	8.5
41	10.03	14 09 50.61	0.04	<b>51.666</b>	0.006	<b>104.813</b>	0.012	<b>13.2</b>	1.9	7.5
42	14.03	12 28 05.76	0.16	<b>51.651</b>	0.006	<b>104.827</b>	0.012	<b>18.0</b>	1.7	9.4
43	14.03	13 11 24.59	0.32	<b>51.634</b>	0.006	<b>104.852</b>	0.013	<b>15.5</b>	3.1	8.6
44	18.03	02 16 17.31	0.24	<b>51.661</b>	0.006	<b>104.830</b>	0.012	<b>17.4</b>	2.2	8.2
45	18.03	19 08 37.14	0.39	<b>51.629</b>	0.006	<b>104.862</b>	0.013	<b>8.4</b>	6.0	8.5
46	20.03	12 24 52.03	0.21	<b>51.638</b>	0.006	<b>104.817</b>	0.012	<b>19.8</b>	2.1	10.2
47	20.03	15 13 27.48	0.14	<b>51.652</b>	0.006	<b>104.800</b>	0.012	<b>20.3</b>	1.5	8.3
48	20.03	15 37 51.91	0.28	<b>51.641</b>	0.006	<b>104.817</b>	0.012	<b>9.6</b>	5.3	7.5
49	20.03	19 31 43.84	0.29	<b>51.672</b>	0.006	<b>104.756</b>	0.011	<b>15.6</b>	2.6	7.4
50	04.04	17 16 02.04	0.52	<b>51.672</b>	0.006	<b>104.861</b>	0.013	<b>10.5</b>	5.6	7.5
51	05.04	07 40 04.46	0.09	<b>51.523</b>	0.005	<b>104.789</b>	0.012	<b>18.9</b>	1.7	8.7
52	05.04	17 29 30.31	0.47	<b>51.695</b>	0.006	<b>104.808</b>	0.012	<b>14.4</b>	3.2	7.5
53	12.04	22 32 06.87	0.08	<b>51.700</b>	0.006	<b>104.825</b>	0.012	<b>18.2</b>	1.4	9.6
54	13.04	12 46 37.05	0.09	<b>51.629</b>	0.006	<b>104.850</b>	0.013	<b>14.8</b>	1.6	9.9
55	13.04	17 41 19.35	0.23	<b>51.676</b>	0.006	<b>104.782</b>	0.011	<b>14.4</b>	2.5	7.6

№	Дата д м	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Эпицентр				$h$ , км	$\delta h$ , км	$K_p^*$
				$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$			
56	18.04	16 28 47.85	0.08	<b>51.648</b>	0.006	<b>104.810</b>	0.012	<b>17.7</b>	1.8	8.2
57	22.04	06 30 47.17	0.23	<b>51.666</b>	0.006	<b>104.802</b>	0.012	<b>15.7</b>	2.4	9.1
58	23.04	00 36 45.21	0.25	<b>51.655</b>	0.006	<b>104.794</b>	0.012	<b>17.8</b>	2.4	9.1
59	03.05	22 56 59.08	0.13	<b>51.674</b>	0.006	<b>104.754</b>	0.011	<b>16.0</b>	1.8	7.3
60	05.05	19 42 08.18	0.26	<b>51.743</b>	0.007	<b>104.715</b>	0.011	<b>20.6</b>	1.8	8.0
61	05.05	20 34 34.45	0.06	<b>51.657</b>	0.006	<b>104.792</b>	0.012	<b>16.9</b>	1.7	8.7
62	08.05	11 04 38.00	0.14	<b>51.668</b>	0.006	<b>104.883</b>	0.013	<b>16.0</b>	1.6	8.4
63	14.05	15 47 47.36	0.19	<b>51.711</b>	0.006	<b>104.911</b>	0.013	<b>13.2</b>	2.0	7.5
64	23.05	21 04 03.08	0.37	<b>51.686</b>	0.006	<b>104.806</b>	0.012	<b>14.8</b>	2.8	7.5

\* Энергетический класс взят из [3].

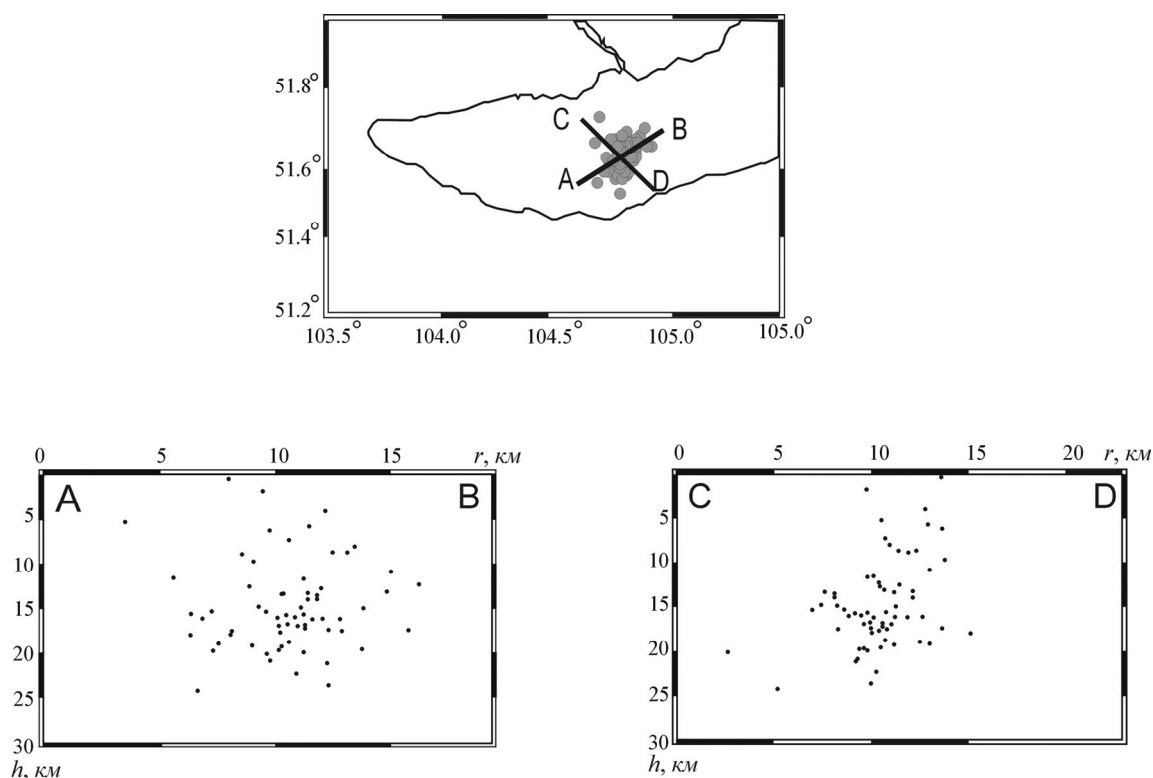


Рис. 3. Распределение гипоцентров по глубине по разрезам АВ и CD

Два разреза по глубине, сделанные в северо-западном и северо-восточном направлениях, показали, что гипоцентры рассредоточены практически от поверхности до глубины 25 км, но большая их часть приурочена к диапазону 10–20 км (рис. 3). Если разрез по линии CD показывает заглубление гипоцентров в северо-западном направлении, то по линии АВ наблюдается достаточно равномерное рассеяние гипоцентров на средних глубинах.

**График повторяемости** для Южно-Байкальской последовательности объемом  $N=800$  землетрясений рассчитан методом наименьших квадратов. Отмечается существенное уменьшение значения  $\gamma$ , равного  $0.38 \pm 0.02$ , по сравнению со средним долговременным его значением в этом локальном районе  $\gamma=0.51 \pm 0.01$ . Как отмечено в [14], пониженные значения  $\gamma$  типичны для начала афтершоковых серий, что определяется характером высвобождения энергии – ее максимум выделяется, как правило, в начале афтершокового процесса. И действительно, уже через сутки после главного толчка  $\gamma$  начинает возрастать и к маю достигает фактически фонового значения  $\gamma=0.51 \pm 0.03$ .

Еще одним объяснением низкого среднего значения  $\gamma$  может быть высокая скорость деформирования среды, о чем также свидетельствуют результаты расчета сеймотектонической деформации [12] и данные GPS измерений [15].

Среди особенностей выделения энергии во время исследуемой последовательности необходимо отметить очень маленькое значение энергетической ступени  $\Delta K_a$  между главным толчком и сильнейшим афтершоком –  $\Delta K_a=0.9$ , тогда как обычно это значение равно 2 [14]. Вероятно, с таких позиций землетрясение 25 февраля в 19<sup>h</sup>11<sup>m</sup> с  $K_p=13.7$  можно рассматривать как второй главный толчок.

**Механизмы очагов** для главного толчка, полученные как по знакам первых вступлений, так и моделированием волновых форм, показали, что Южно-Байкальское землетрясение произошло под действием близгоризонтальных сил растяжения, ориентированных в северо-западном направлении (339°). Обе нодальные плоскости, восток–северо-восточного простирания, характеризуются различным залеганием: одна круто падает на северо-запад, а другая полого на юго-восток. Несогласующийся с другими агентствами механизм очага выдал CSEM, но и в этом решении присутствует субширотная плоскость со сбросовой компонентой (рис. 4).

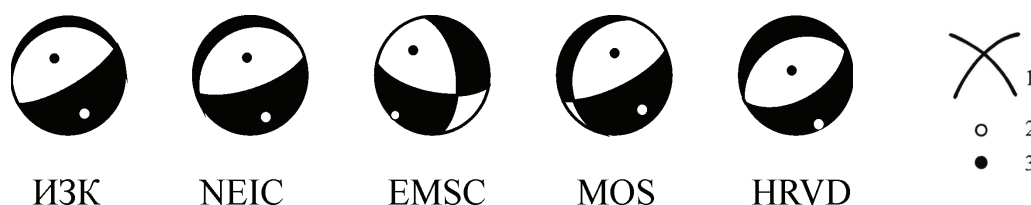


Рис. 4. Механизм очага Южно-Байкальского землетрясения (проекция верхней полусферы) по данным разных агентств

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

По региональным данным были определены механизмы очагов для пяти форшоков и четырех афтершоков с  $K_p \geq 10.6$  (рис. 5). Использовались знаки первых вступлений прямых и рефрагированных  $P$ -волн на записях станций Байкальского и Бурятского филиалов ГС СО РАН. Все механизмы практически однотипны и свидетельствуют о сбросообразовании по плоскостям преимущественно северо-восточного простирания. В решениях механизмов очагов афтершоков присутствуют также нодальные плоскости северо-западной ориентации. Примечательно, что уже в форшоке 10 февраля (в 09<sup>h</sup>17<sup>m</sup>) проявился механизм очага, подобный механизму главного толчка. Обращает на себя внимание также наличие решений с «обратным» падением плоскостей: пологая падает на северо-запад и крутая на юго-восток (для событий 10 февраля в 08<sup>h</sup>05<sup>m</sup> и 25 февраля в 05<sup>h</sup>37<sup>m</sup>).

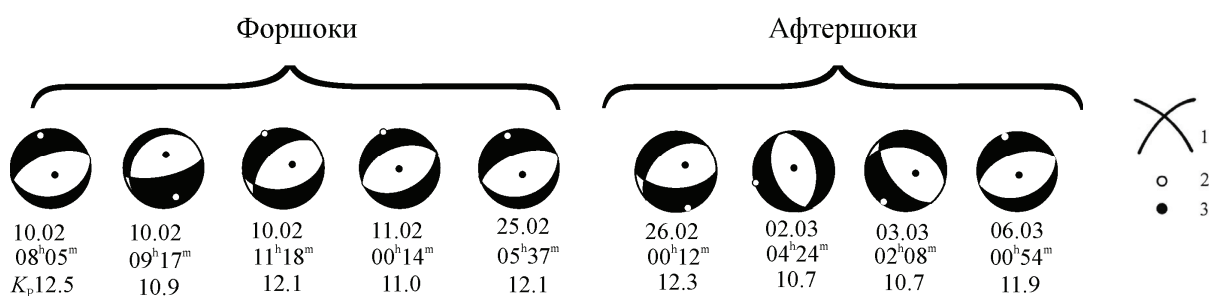


Рис. 5. Механизмы очагов землетрясений форшоков и афтершоков Южно-Байкальского землетрясения (проекция верхней полусферы)

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия. Подписи обозначают дату, время и энергетический класс землетрясения.

В работе [14] отмечено, что у региональных землетрясений, имеющих байкальский тип подвижек в очаге (сбросы по северо-восточным плоскостям), наблюдается меньшее число повторных толчков, чем у землетрясений сдвигового типа, что наглядно продемонстрировали две крупнейших последовательности в 1999 г.: рассматриваемая Южно-Байкальская на южном Байкале и Кичерская [16] – на северном.



В сеймотектоническом плане развитие Южно-Байкальской впадины контролируется разломами, ограничивающими ее борта. Это глубинные генеральные разломы: Обручевский сброс (северо-западный борт), Главный Саянский разлом (западная оконечность озера) и региональные разломы системы Черского (юго-восточный борт). Поперечным Ангарским разломом впадина делится на две депрессии – Култукскую, где и произошло Южно-Байкальское землетрясение (рис. 6), и Мишихинскую. В самой впадине в осадочном слое по данным сеймопрофилирования закартированы внутривпадинные разрывные нарушения [17], отражающие разломы фундамента. К одному из таких разломов северо-восточного простирания и приурочен очаг землетрясения 25 февраля 1999 г. В пользу этого утверждения, помимо визуальной привязки, говорит простирание возможных плоскостей разрывов в решениях механизмов очагов и распределение гипоцентров афтершоков по глубине. Наиболее вероятной плоскостью разрыва является субвертикальная плоскость, падающая на северо-запад.

Несмотря на то, что Южно-Байкальская впадина является историческим ядром эволюции всей Байкальской рифтовой зоны [18], ее южное окончание, по меньшей мере, на современном этапе развития, характеризуется режимом растяжения со сдвигом [12]. Сдвиговая компонента смещений по разломам обусловлена их субширотным простиранием при северо-западном положении горизонтальной оси растяжения. Очевидно, что разломы северо-восточной ориентации в таком поле напряжений должны проявляться как сбросы, что и наблюдалось во время событий 1999 г.

Однако, сложность форшокового процесса, форма афтершокового эпицентрального поля, а также разнообразие в простирании нодальных плоскостей, свидетельствуют в пользу активизации в данном месте разломного узла, где сочленяются или пересекаются разрывы всех основных направлений: субширотного, северо-восточного, северо-западного и меридионального [1]. На активизацию в 1999 г. именно разломного узла указывает и тот факт, что горизонтальная ось минимального сжатия  $\sigma_3$ , определенная в процессе инверсии решений механизмов очагов для всей совокупности Южно-Байкальской последовательности землетрясений, несколько развернута к северу относительно ее регионального значения ( $340^\circ$  против  $320^\circ$ ) [12], что обусловлено подвижками по разломам разной ориентации.

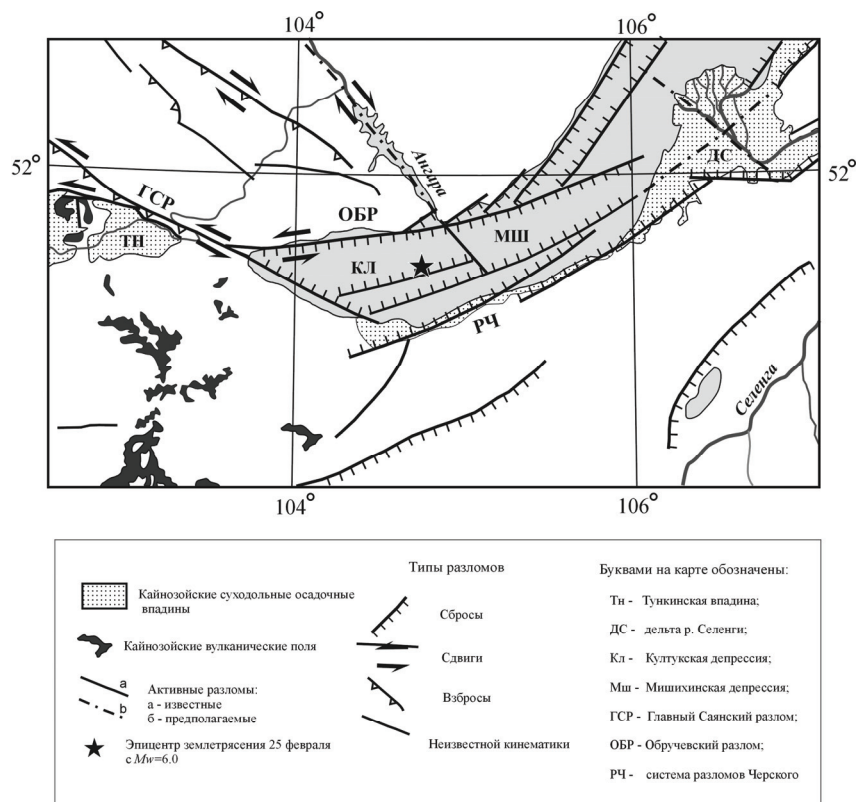


Рис. 6. Неотектоническая схема Южно-Байкальской впадины

Составлена В.А. Саньковым с использованием схемы структурно-тектонического районирования БРЗ [17].

**Макросейсмические данные** по Южно-Байкальскому землетрясению собраны на значительной площади. В ближайших к эпицентру населенных пунктах интенсивность сотрясений достигала  $I=6-7$  баллов [1, 19]. Непосредственно после землетрясения (26 февраля 1999 г.) сотрудниками ИЗК СО РАН (Е.В. Скляр, Д.П. Гладкочуб, А.М. Мазукабзов, Ю.В. Меньшагин), находившимися в ближней к эпицентру зоне, был проведен опрос в пунктах Выдрино, Танхой, Байкальск. Информация о макросейсмических проявлениях в Тункинских впадинах была собрана С.Г. Аржанниковым и С.П. Серебренниковым. В период с 10 по 12 марта 1999 г. сотрудники лаборатории сейсмостойкого строительства ИЗК СО РАН (Л.П. Бержинская, А.П. Ордынская, И.Ю. Бержинский) выполнили инженерное обследование последствий землетрясения по маршруту от п. Култук до п. Бабушкин [20, 21]. Также с 22 по 26 марта 1999 г. в область наибольших сотрясений выезжали сотрудники лаборатории сейсмогеологии ИЗК СО РАН И.А. Емельянова, О.П. Смекалин [1]. Кроме непосредственного обследования ближней зоны, сведения о макросейсмических проявлениях этого землетрясения были получены посредством рассылки опросных листов, что помогло определить зону осязаемости и составить приблизительную схему изосейст. Предварительный анализ этих данных был проведен С.И. Голенецким [19]. Для г. Иркутска при помощи студентов старших курсов ИрГТУ было получено 1430 анкет из разных административных округов города. Подобное по массовости обследование землетрясения в Иркутске проведено впервые. Оценка интенсивности сотрясений сделана по шкале MSK-64 [22], оценка степени повреждений зданий – по шкале MMSK-92 [23] и новейшей региональной шкале сейсмической интенсивности РШСИ [24]. Ниже приводятся основные результаты макросейсмического обследования в ближайших к эпицентру пунктах.

*Станция Переёмная.* В момент землетрясения большинство населения поселка испытало сильный испуг. Многие жители двухэтажного кирпичного и старых деревянных многоквартирных домов выбежали или вышли на улицу. Ощущалось колебание земли под ногами, в домах – волнообразное движение пола. Многие слышали сильный гул во время первого толчка.

Наиболее заметные макросейсмические проявления наблюдались на втором этаже кирпичного жилого дома, расположенного ближе других к побережью Байкала: звенела люстра, другая, плохо закрепленная люстра, соскочила с подвесного крюка, открывались дверцы мебели и антресолей, шевелилась тяжелая мебель, падали детские игрушки с тумбочки, открылся и оторвался откидной столик в старом секретере. На первом этаже также отмечены факты раскачивания люстры, дребезжания посуды, падения часов с телевизора, флакона духов с полки, треск стен. Жильцы других строений указывают только на брэнчание посуды и тонкие трещинки в штукатурке старых построек.

При землетрясении наиболее сильно пострадало дежурное здание станции. Во внутреннем помещении на стыке потолка и внутренних перегородок ранее тонкая трещина разошлась на ширину до 2 см и стала сквозной. Обнаружены сквозные горизонтальные и наклонные трещины в продольной внутренней стене с шириной раскрытия 5–7 мм, со смещением 2–2.5 мм – около дверного проема в продольной кирпичной перегородке и в продольной и поперечной кирпичных стенах с шириной раскрытия 0.3–0.5 мм. Трещины возникли также между железобетонными плитами перекрытия.

В деревянном одноэтажном здании медпункта (1903 г. постройки) появились трещины с выпадением кусочков штукатурки на стыке потолка и стены. Чугунная плита печи отошла от кирпичной перегородки на 1–1.5 см.

В старом одноэтажном многоквартирном пристанционном строении в печной кладке появилась трещина. Печная труба выше крыши почти развалилась, образовались сквозные дыры; старые кирпичи раскрошились. В одной из квартир на стыке печи и надстроенной над ней кирпичной стены обнаружена горизонтальная тонкая трещина.

Во время землетрясения с улицы было видно, что бараки «ходили ходуном», раскачивались провода на столбах и сами столбы, хотя печные трубы уцелели и поленница дров даже не рассыпалась. Во льду вдоль берега и с удалением от него до 300 м и более рыбаки заметили ряд протяженных трещин, с выплескиванием воды. Через несколько дней после землетрясения эти трещины закрылись с образованием торосов шириной и высотой до 1 м. Наиболее крупная сдавленная трещина простиралась заметным торосом вдоль берега в 50 м от него (в некоторых местах до 100 м) и прослеживалась, по крайней мере, от ст. Слюдянка до ст. Мысовая.

Интенсивность сотрясений в этом пункте составила **7 баллов**.



Выдрино. Проснулись все жители, наблюдался сильный страх, переходящий в панику, подавляющее большинство покинуло помещения и практически всю ночь провело на улице. Ощущалось сильное сотрясение зданий. Скрипели стены, потолки, мебель. Качались люстры, упал плафон; дребезжала и сползала к краю полок посуда, в некоторых случаях отмечено ее падение, часто падали мелкие предметы. Раскрывались дверцы шкафов, качалась тяжелая мебель.

В трехэтажных кирпичных домах современной постройки в привокзальном микрорайоне в некоторых подъездах образовались тонкие трещины на стыках потолка и стен, вертикальные трещины в стенах длиной до 1.5–2 м. В лестничных маршах одного из домов снизу появились тонкие трещины, вытянутые вдоль маршей вблизи их сочленения со стенами. В некоторых квартирах образовались волосяные трещины в углах и на стыках стен и потолков.

В трехэтажном кирпичном здании больницы, 1967 г. постройки, появились трещины в штукатурке в продольной стене с шириной раскрытия до 2.5 мм (первый этаж), а также между плитой перекрытия и поперечной стеной с шириной раскрытия до 1.0 мм (второй этаж). Отмечено осыпание известки со стен. На стыке стены и деревянного косяка двери тамбура вывалились куски штукатурки, здесь же появилась тонкая диагональная трещина, пересекающая потолочное перекрытие и стену.

В трехэтажном кирпичном здании школы на втором и третьем этажах вскрылись антисейсмические швы, отмечено выпадение из них кусков штукатурки. Появились трещины и осыпалась штукатурка на заделанных бывших оконных проемах одной из стен; на втором и третьем этажах образовались две П-образные глубокие трещины – стена-потолок-стена, с выпадением штукатурки.

В деревянных двухэтажных домах возникли трещины в штукатурке с выпадением отдельных ее кусков; отмечены также повреждения кладки печей и печных труб. В двух домах печные трубы провалились внутрь сквозь проломленный шифер. В каменном двухэтажном доме, 1955 г. постройки, по ул. Пионерской образовались глубокие горизонтальные ломаные трещины в наружной стене с обеих сторон дверного проема подъезда, а также хорошо заметные, вертикально ориентированные, протяженные трещины на наружной стене дома.

На оз. Байкал и р. Снежной отмечено образование трещин на льду. Вблизи поселка, параллельно береговой линии озера возникли две заметные трещины, с расхождением стенок до 2 см. Отмечены также трещины, перпендикулярные береговой линии, протяженностью от 5 до 10 м и раскрытием не более 1 мм. В одном месте наблюдались выплески воды.

Интенсивность сотрясений соответствует **6–7 баллам.**

Танхой. Основные толчки ощущались большей частью (около 80%) населения. Многие из них были достаточно сильно испуганы происходящим и провели остаток ночи без сна и в верхней одежде, но на улицу вышли единицы. При землетрясении был слышен «перекатывающийся», идущий «со всех сторон» сильный давящий гул.

Среди основных макросейсмических проявлений отмечены звон и дребезжание посуды, раскачивание висячих предметов, треск оконных стекол, самопроизвольное раскрытие дверок мебели. В некоторых случаях наблюдалось сильное раскачивание тяжелых предметов мебели и отмечалось ощущение значительных колебаний всего помещения.

Ветхостью и значительным износом строений объясняются многочисленные повреждения первой степени у определенной части зданий и сооружений поселка. Во многих деревянных домах старой застройки появились мелкие трещины в штукатурке – на потолке и стенах, в угловых стыках. В некоторых случаях замечено незначительное отслоение и выпадение штукатурки. На стыках стеновых панелей наблюдалось смятие, а во многих случаях и разрыв обоев.

В здании вокзала, в помещении кассы, на стыке фасадной стены и внутренней перегородки образовалась трещина от пола до потолка с выпадением кусочков штукатурки размером до 5 см. Во временном помещении администрации поселка, в этом же здании, появились тонкие косые трещины на стенах и потолке.

В здании амбулатории повреждена штукатурка на двух смежных стенах двумя субпараллельными косыми трещинами. Трещины с раскрытием в диапазоне первых миллиметров без перерывов и смещений перешли с одной стены на другую. Осыпалась штукатурка и в музыкальном классе детского сада.

В здании школы многочисленные горизонтальные трещины с небольшим выпадением штукатурки расположились, в основном, поперек деревянных потолочных перекрытий в коридорах. Обнаружены также и вертикальные расхождения стеновых панелей на 0.5 см, в нескольких местах лопнули обои. В компьютерном классе на 1 см от стены отошла полоса обивки,

тонкая деревянная панель, вместе с мелкими гвоздями. Треснуло и выпало стекло из дверцы книжного шкафа в кабинете директора, частично перестали работать люминесцентные светильники (расхождение контактов).

Треснула и практически развалилась кирпичная труба аварийного двухэтажного деревянного дома, 1938 г. постройки, образовались трещины и в печной кладке. Отмечено еще два, менее серьезных случая, повреждения печных труб в старых деревянных домах.

Жители центральной части поселка отметили понижение уровня грунтовых вод в подполях на 25–30 см. По наблюдениям рыбаков в 300 м от берега после землетрясения появилась трещина во льду шириной примерно в 1 м; трещина прослеживалась вдоль берега в обе стороны в пределах видимости.

Интенсивность сотрясений по этим данным равна **6–7 баллам**.

*Кедровая.* В момент землетрясения проснулись почти все обитатели поселка. Большинство жителей вышли или выбежали на улицу, едва успевая одеться и чем-то укрыть детей. Почти все проснувшиеся из-за повторных толчков уже не спали до утра.

В многочисленных старых одноэтажных деревянных домах слышался треск, мебель «ходила ходуном», спящая женщина упала с дивана. Во многих домах при землетрясении образовались или увеличились уже имевшиеся трещины в штукатурке и кладке печей, в некоторых случаях наблюдалось откалывание и выпадение кусочков штукатурки. Отмечалось сильное дребезжание посуды, раскачивание висячих предметов. Раскрылись дверцы шифоньера, выпало белье; неполный бачок воды «плясал» на табуретке, из него выплеснулось примерно 1.5 ковша; в местном магазине упала с полки маленькая коробка сыра.

Дежурная железнодорожной станции «Кедровая», находившаяся во время землетрясения на перроне, ощутила покачивание земли под ногами и заметила сильное раскачивание вагонов стоящего пассажирского поезда.

Наиболее заметные повреждения отмечены в старых строениях с образованием трещин шириной 0.5 см по периметру комнат на стыке стен и потолка. В летней кухне, 1953 г. постройки, печь отошла от дымохода на расстояние около 2 см. В старом бараке на стыке стены и потолка образовалась трещина в 1 см по всей длине стены, две глубокие трещины с выпадением штукатурки по стыку стен, разветвленная трещина на печном пристенке. В одной из самых старых дач поселка сильно растрескалась печь.

Интенсивность сотрясений – до **6 баллов**.

В перечисленных выше населенных пунктах отмечены многочисленные повреждения зданий, соответствующие 1-й степени по шкале MMSK-92 [23]. В отдельных зданиях отмечены повреждения 2-й и даже 3-й степени, что в значительной мере объясняется их физическим износом, а также зачастую низким качеством строительства. Наиболее уязвимым элементом деревянных домов следует считать кирпичные печи, получившие в результате землетрясения 2-ю и 3-ю степень повреждений (нарушение кирпичной кладки, выпадение кирпичей).

*Байкальск.* Жители города проснулись, большинство людей в сильном испуге покинуло многоэтажные жилые дома и провело ночь в более безопасных местах. Ощущалось сильное сотрясение зданий в целом. В деревянных домах скрипели полы, стены и потолки, а также мебель, дребезжала посуда. В пятиэтажных домах на верхних этажах сильно раскачивались люстры, в отдельных случаях отмечено падение настенных часов, вазочек, книг, с тумбочки упала настольная лампа. Раскрывались створки шкафов, выдвигались ящики письменных столов и полочки кабинетной мебели, шкафы мебельной стенки раздвинулись на 3–4 см. Толчок и раскачивание ощущались также в стоящей машине. Продолжительность ощутимых сотрясений от первого толчка оценивается в 60 с.

Большинство жилых зданий в этом городе повреждений не получило. В отдельных панельных трехэтажных домах серии 1–335–СК-3 постройки 1965 г. и двухэтажных серии И-163.04 постройки 1987 г. увеличилось раскрытие уже имевшихся трещин по боковой стороне торцевых газозолобетонных панелей. В единичных зданиях появились трещины по лестничному маршу и по панели внутренней поперечной стены с шириной раскрытия до 0.3 мм, а также в месте их примыкания. В двух кирпичных зданиях школ вскрылись антисейсмические швы. Для деревянных построек землетрясение прошло практически без последствий, хотя в одном из старых деревянных домов отмечен случай перекоса дверной коробки, в результате чего заклинило дверь.

Интенсивность сотрясений по этим признакам составила **5–6 баллов**.

Бабушкин. Проснулось большинство жителей. Многие выбежали на улицу и, боясь возвращаться домой, провели ночь возле костров. При землетрясении слышался подземный гул, похожий на звук проезжающего поезда или трактора. Наблюдалось сильное сотрясение зданий в целом, раскачивались люстры (имело место единичное падение люстр), дрожала мебель. В школе на втором этаже упал со стены и разбился стеклянный стенд. В единичных случаях с крыш падал незакрепленный шифер, отмечены повреждения остекления в теплицах и некоторых печных труб.

В нескольких одноэтажных деревянных домах наблюдались трещины в штукатурке. В двухэтажном здании кирпичной школы, построенной в 30-х годах, на втором этаже появились трещины между деревянным потолком и внутренней кирпичной стеной по штукатурке потолка.

Интенсивность сотрясений достигла **5–6 баллов**.

Иркутск. В городе было проведено инженерное обследование зданий и опрос (анкетирование) населения. В результате выяснилось, что все осмотренные здания не требуют ремонта. Интенсивность сотрясений в Иркутске была недостаточной для причинения серьезных повреждений. Повышенная уязвимость части зданий обусловлена отсутствием текущих и капитальных ремонтов в последние 10–15 лет и несоблюдением норм эксплуатации. Наиболее массовыми макросейсмическими проявлениями являлись дребезжание окон и посуды, раскачивание тяжелой мебели (без колесиков) и гул. Такие признаки, как сдвиг картин, падение неустойчивых и устойчивых предметов, раскачивание легкой и высокой мебели, движение тяжелых предметов, хлопанье створок окон и дверей, повреждение печей, наблюдались менее чем в 10% случаев.

В целом на территории города землетрясение проявилось практически одинаково, существенных различий в зависимости от локальных инженерно-геологических условий не наблюдалось. Интенсивность сотрясений в г. Иркутске может быть оценена в **5–6 баллов**.

В табл. 3 приводятся макросейсмические данные о Южно-Байкальском землетрясении по совокупности всей имеющейся информации, а на рис. 7 – карта изосейст.

**Таблица 3.** Макросейсмические сведения о землетрясении 25 февраля в 18<sup>h</sup>58<sup>m</sup> с Mw=6.0

№	Пункт	Δ, км	Звук	№	Пункт	Δ, км	Звук
	<u>7 баллов</u>			25	Нарын	124	гул
1	ст. Переёмная	31	гул	26	Желтура	131	гул
	<u>6–7 баллов</u>				<u>5 баллов</u>		
2	Выдрино	23	гул	27	Большая Речка (Иркутская обл.)	35	
3	Танхой	24		28	Тальцы	41	
	<u>6 баллов</u>			29	Бурдугуз	48	гул
4	Кедровая	16		30	Бурдаковка	54	гул
5	Листвянка	24	гул	31	Слюдянка	77	
6	Порт Байкал	26		32	Култук	78	
	<u>5–6 баллов</u>			33	Талая (с/ст)	81	
7	Мурино	34	гул	34	Шаманка	83	
8	Половинная	37		35	Быстрая	95	
9	Маригуй	45		36	Большая Речка (Респ. Бурятия)	109	гул
10	Байкальск	49	гул	37	Ангарск	118	гул
11	Бабушкин	72	гул	38	Нижний Торей	124	гул
12	Мысовая	72		39	Оёр	124	гул
13	Ангалска	75		40	Усть-Ордынский	129	гул
14	Иркутск	77		41	Ходарей	130	гул
15	Шелехов	81		42	Ивановка	131	гул
16	Булык	84	гул	43	Бугульдейка	132	гул
17	Алзак	108	гул	44	Новоселенгинск	138	гул
18	Верхний Торей	109	гул	45	Джида	140	гул
19	Гэгэтуй	114	гул	46	Усолье-Сибирское	147	гул
20	Верхний Бургалтай	115	гул	47	Еланцы	168	гул
21	Петропавловка	120	гул	48	Закаменск	177	гул
22	Нижний Бургалтай	122	гул	49	Улан-Удэ	193	
23	Тальяны	123	гул	50	Оса	204	гул
24	Гусиноозерск	123	гул	51	Бичура	226	гул

№	Пункт	Δ, км	Звук	№	Пункт	Δ, км	Звук
	<u>4–5 баллов</u>				<u>2–3 балла</u>		
52	Новая Разводная	71		104	Улан-Батор (МНР)	440	
53	Тибельти	109		105	Улькан	511	
54	Торы	126		106	Усть-Кут	571	
55	Кабанск	134			<u>2 балла</u>		
56	Зун-Мурино	134		107	Лукиново	283	
57	Тельма	140		108	Красный Чикой	309	
58	Селенгинск	146		109	Куйтун	373	
59	Косая Степь	159			<u>Ощущалось</u>		
60	Попово	159		110	Утулик	54	гул
61	Куреть	161	гул	111	Мангутай	63	гул
62	Петрово	161		112	Олха	76	
63	Тырган	162		113	Моты	79	
64	Нарин-Кунта	163		114	Чистые Ключи	85	
65	Баяндай	165		115	Введенщина	87	
66	Наушки	166		116	Далахай	158	
67	Аршан	167		117	Хоронхой	160	
68	Санага	174	гул	118	Усть-Кяхта	161	
69	Тарбагатай	176		119	Таловка	168	
70	Бохан	183	гул	120	Ильинка	176	
71	Кяхта	183	гул	121	Кордон	176	
72	Кырен	185	гул	122	Шара-Азарга	179	
73	Черемхово	206		123	Енгорбой	183	
74	Мухоршибирь	219		124	Нижний Саянтуй	185	
	<u>4 балла</u>			125	Верхний Саянтуй	187	
75	Тунка	157		126	Татаурово	188	
76	Хабаровская	162		127	Чикой	212	
77	Иволгинск	166	гул	128	Голуметь	228	
78	Михайловка	180		129	Новая Брянь	239	
79	Сухэ-Батор (МНР)	184		130	Саратовка	234	
80	Хужиры	188		131	Кударя-Сомон	245	
81	Туран	217		132	Бараново	246	
82	Магдан	221		133	Мальшевка	252	
83	Хойто-Гол	229		134	Халюты	262	
84	Заиграево	238		135	Бирюлька	267	
85	Новонкутский	269		136	Игжей	287	
86	Петровск-Забайкальский	280		137	Юголок	300	
87	Зима	315		138	Михайловщина	308	
88	Саянск	328		139	Светлолобово	314	
89	Баргузин	390		140	Молька	334	
	<u>3–4 балла</u>			141	Ключи	338	
90	Сухая	186	гул	142	Аносово	350	
91	Турунтаево	201	гул	143	Аталанка	373	
92	Манзурка	221			<u>Не ощущалось</u>		
93	Харбатово	247		144	Нестерово	224	
94	Монды	263		145	Соболиха	281	
95	Качуг	267		146	Онгурены	290	
96	Верхолениск	276		147	Малая Курба	335	
97	Ханх (МНР)	287		148	Бада (Читинская обл.)	352	
98	Усть-Уда	305		149	Менза	376	
99	Хоринск	344		150	Нижнеудинск	527	
100	Жигалово	353		151	Казачинское	544	
101	Хилок	390		152	Чита	600	
	<u>3 балла</u>			153	Тайшет	653	
102	Баянгол	141		154	Усть-Илимск	720	
103	Горячинск	279					

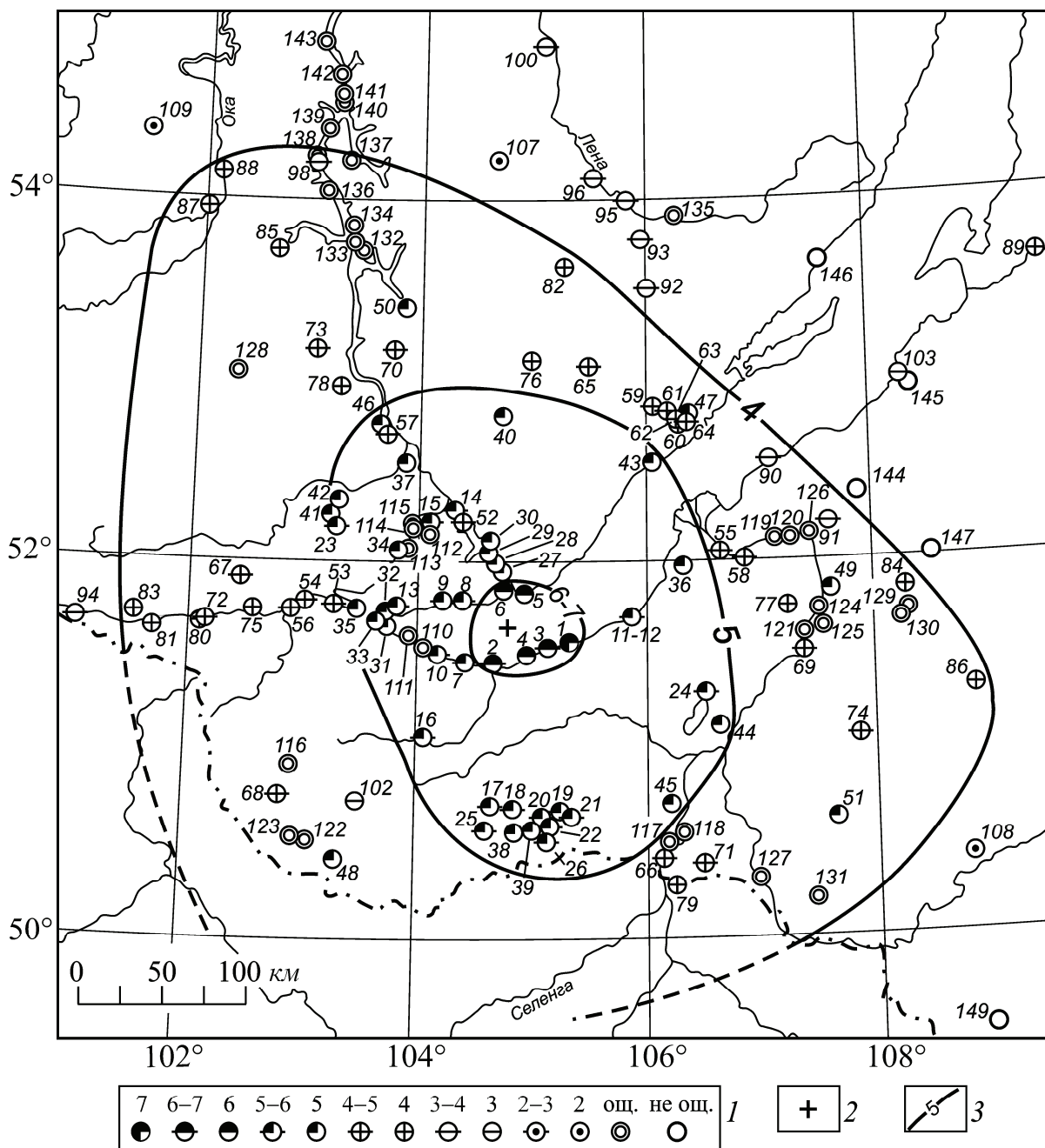


Рис. 7. Карта изосейст Южно-Байкальского землетрясения 25 февраля в 18<sup>h</sup>58<sup>m</sup> ( $K_p=14.6$ ,  $M_w=6.0$ )

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [22]; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – изосейста.

По данным табл. 3 и рис. 7 видно, что с наибольшей интенсивностью  $I_0=6-7$  баллов землетрясение проявилось на эпицентральных расстояниях 20–30 км. Довольно большую площадь охватили сотрясения с  $I=5-6$  баллов, распространившиеся практически до границы с Монголией, причем к юго-востоку от эпицентра указанная интенсивность наблюдалась на больших расстояниях, чем к северо-западу. Площадь 5-балльных сотрясений составляет около  $(18-20) \cdot 10^3 \text{ км}^2$ ; общая площадь зоны осязтимости землетрясения (от 2–3 баллов и выше) оценивается приблизительно в  $750 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ .

Что касается интенсивности сотрясений непосредственно в эпицентре, то ее значение найдено расчетом по известному [25] для Байкальского региона соотношению:

$$I_0 = 1.33M + 0.2 \quad (3).$$

Расчетное значение интенсивности сотрясений в эпицентре составило в этом случае около  $I_0^P=8$  баллов.

Основное землетрясение 25 февраля в целом продемонстрировало типичную для сейсмических событий Южного Байкала картину распределения интенсивности сотрясений. Наблюдается вытянутость изосейст в северо-западном направлении, вдоль долины р. Ангара, что неоднократно отмечалось и ранее, в том числе и при сильном землетрясении 11(12) апреля 1902 г. [26]. Достоверного объяснения это явление пока не находит.

На рис. 8 изображен график затухания интенсивности сотрясений от Южно-Байкальского землетрясения с эпицентральной расстоянием.

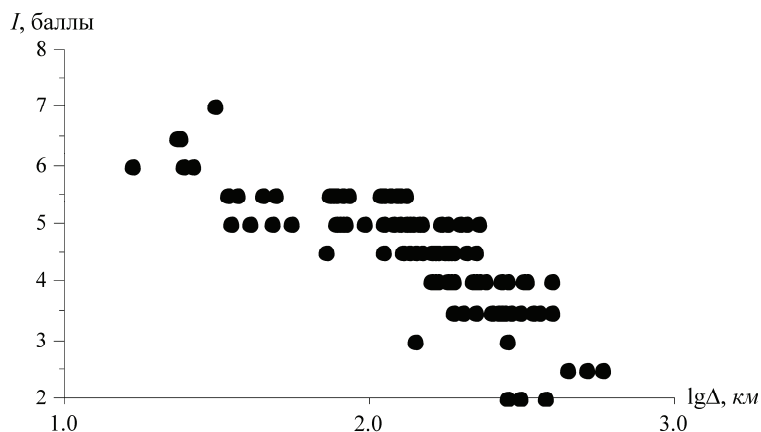


Рис. 8. График затухания с расстоянием интенсивности  $I$  сотрясений при Южно-Байкальском землетрясении 25 февраля с  $M_w=6.0$

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [22]; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – изосейста.

Представленные данные можно описать уравнением регрессии, полученным по методике [27]:

$$I = 9.9(\pm 0.4) - 2.5(\pm 0.2) \lg \Delta (\text{км}) \quad (4).$$

**Подводя итоги**, можно заключить, что Южно-Байкальское землетрясение 1999 г. было самым сильным и ощутимым землетрясением в южном Прибайкалье за последние годы. Согласно механизму очага главного толчка (рис. 1), шести наиболее сильных форшоков и двух афтершоков (рис. 5), оно было связано с подвижкой по разлому северо-восточного простирания и активизацией в данном месте разломного узла под действием растягивающих напряжений ориентированных с северо-запада на юго-восток. Особенностью землетрясения явилось несогласованность простираний названных плоскостей разрыва с направлением северо-западной вытянутости изосейст (рис. 7), а также наличие форшоков и многочисленных афтершоков.

Практический интерес для оценки сейсмической опасности всей территории южного Прибайкалья представляет магнитуда рассматриваемого землетрясения  $M \div 6.0$ , показавшая, что высоким сейсмическим потенциалом обладают не только главные граничные разломы, но и дизъюнктивы внутри впадины, гораздо менее протяженные. Этот вывод имеет важное значение для оценок повторяемости сильных землетрясений по разломам и скорости деформирования земной коры региона в целом.

Для Южно-Байкальского землетрясения с интенсивностью сотрясений в ближайших населенных пунктах  $I=6-7$  баллам собрана уникальная макросейсмическая информация, в том числе инженерного характера, что позволяет считать его одним из наиболее изученных в макросейсмическом отношении землетрясений Прибайкалья.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ружич В.В., Семенов Р.М., Мельникова В.И., Смекалин О.П., Алакшин А.М., Чипизубов А.В., Аржанников С.Г., Емельянова И.А., Демьянович М.Г., Радзиминович Н.А. Геодинамическая обстановка в районе Южно-Байкальского землетрясения 25.02.1999 года и его характеристика // Геология и геофизика. – 2002. – 43. – № 5. – С. 470–483.



2. **Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В.** Прибайкалье [(2000 до н.э. – 500 н.э.) – 1974 гг.;  $M \geq 5.0$ ;  $I_0 \geq 6$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.
3. **Леонтьева Л.Р., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Тигунцева Г.В., Хайдурова Е.В., Андрусенко Н.А., Виноградова Л.П., Тимофеева В.М., Евсеева Е.Д., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Масальская Л.Н., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б.** Прибайкалье и Забайкалье. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
4. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1999 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 1999–2000.
5. **Bulletin of the International Seismological Centre for 1999. (ISC).** – Berkshire: ISC, 2001.
6. **Голенецкий С.И.** Землетрясения в Иркутске. – Иркутск: Имя, 1997. – 96 с.
7. **Минчиковский М.Я.** Байкальские землетрясения 1912 г. // Известия ПЦСК. – 1914. – 6. – Вып. 2. – С. 163–171.
8. **Голенецкий С.И., Ружич В.В., Дреннова Г.Ф.** Землетрясение 12(13) мая 1991 г. в районе пос. Бабушкина и сейсмичность Южного Байкала // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 47–52.
9. **Солоненко В.П., Павлов О.В., Хилько С.Д., Хромовских В.С.** Землетрясение 30 августа 1966 г. в Южном Байкале // Землетрясения в СССР в 1966 году. – М.: Наука, 1970. – С. 182–186.
10. **Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н.** Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 год). – М. ОИФЗ РАН, 2001. – 86 с.
11. **Klein F.W.** Hypocenter location program HYPOINVERSE, Part 1, Users guide to versions 1, 2, 3, and 4. // U.S. Geol. Surv.: Open File Report, 1978. – № 694.
12. **Radziminovitch N., Déverchère J., Melnikova V., San'kov V. and Giljova N.** The 1999  $M_w$  6.0 earthquake sequence in the Southern Baikal rift, Asia, and its seismotectonic implications // Geophys. J. Int. – 2005. – 161. – P. 387–400.
13. **Зорин Ю.А.** Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. – М.: Наука, 1971. – 166 с.
14. **Солоненко Н.В., Солоненко А.В.** Афтершоковые последовательности и рои землетрясений в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Наука, СО СССР, 1987. – 94 с.
15. **Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Залуцкий В.Т., Кале Э., Девершер Ж., Верноль М., Бехтур Б., Амаржаргал Ш.** Новые данные о современных тектонических деформациях южного горного обрамления Сибирской платформы // ДАН, 2003. – 389. – № 1. – С. 100–103.
16. **Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Н.А., Ружич В.В., Масальский О.К., Радзиминович Я.Б., Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Павленов В.А., Емельянова И.А.** Кичерские землетрясения 21 марта 1999 года с  $M_w=6.0$  и  $M_w=5.6$ ,  $I_0=7-8$  (Прибайкалье). (См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.)
17. **Леви К.Г., Мирошниченко А.И., Саньков В.А., Лухнев А.В.** Кинематика активных разломов центральной части Байкальской рифтовой зоны // Геофизические исследования в Восточной Сибири на рубеже XXI века. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1996. – С. 120–126.
18. **Логачев Н.А.** Об историческом ядре Байкальской рифтовой зоны // Докл. РАН. – 2001. – 376. – № 4. – С. 510–513.
19. **Голенецкий С.И., Бержинская Л.П., Ордынская А.П., Павленов В.А., Фризер Г.А.** Анализ последствий сильных землетрясений на Южном и Северном Байкале в 1999 г. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – № 4. – С. 54–56.
20. **Бержинский Ю.А., Ордынская А.П., Бержинская Л.П., Бывальцев Д.В., Павленов В.А., Черных Е.Н., Чечельницкий В.В., Фризер Г.А.** Инженерное обследование последствий землетрясений 1999 года на Байкале // Город: прошлое, настоящее, будущее. Проблемы развития и управления на пороге III тысячелетия. – Иркутск: ИрГТУ, 2000. – С. 142–147.
21. **Голенецкий С.И., Бержинская Л.П., Ордынская А.П., Бержинский Ю.А.** Макросейсмические проявления землетрясений 29.06.1995 г. и 25.02.1999 г. в городах Иркутске, Ангарске, Шелехове // Сейсмическая опасность и воздействия. Тезисы международной научной конференции. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 2000. – С. 38–40.

22. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
23. **Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф.** Развитие шкал типа MSK // Проблемы макросейсмологии (Вычислительная сейсмология; Вып. 34.). – М.: Геос, 2003. – С. 210–253.
24. **Шерман С.И., Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Аптикаев Ф.Ф.** Региональные шкалы сейсмической интенсивности. Опыт создания шкалы для Прибайкалья. – Новосибирск: Наука–Гео, СО РАН, 2003. – 189 с.
25. **Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы** / Под ред. В.П. Солоненко. – Новосибирск: Наука, СО СССР, 1977. – 301 с.
26. **Список землетрясений по наблюдениям Иркутской магнитно-метеорологической обсерватории № 2** // Известия ВСО ИРГО. – 1902. – XXXIII. – № 2. – Иркутск: Паровая типо-литография П.И. Макушина и В.М. Посохина, 1903. – 40 с.
27. **Голенецкий С.И.** Еловское землетрясение 29 июня 1995 года ( $MS=5.9$ ) // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – С. 183–187.