

## АЛТАЙ И САЯНЫ

А.Ф. Еманов<sup>1,2,3</sup>, Е.В. Лескова<sup>1,2</sup>, А.А. Еманов<sup>1,2</sup>, А.В. Фатеев<sup>1,2</sup>, А.Г. Филина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, г. Новосибирск, [emanov@gs.nsc.ru](mailto:emanov@gs.nsc.ru)

<sup>2</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, г. Новосибирск

<sup>3</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

**Сеть станций.** В 2009 г., как и в 2008 г., в Алтае-Саянской горной области региональная сейсмологическая сеть состояла из 30 сейсмических станций Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН, сведения о которых даны в Приложении к наст. сб. [1] на CD. Кроме стационарной сети станций в регионе действовали локальные временные сети цифровых станций. Основных площадок размещения временных станций две.

Первая группа из 27 станций в период с 1 июня по 15 сентября 2009 г. находилась в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с  $K_p=17$ ,  $M_S=7.3$ . Станции были равномерно распределены вдоль всей зоны основных проявлений афтершоковой активизации в предыдущие годы: это границы Чуйской впадины с Южно-Чуйским хребтом и Курайской впадины с Северо-Чуйским хребтом, а также Чаган-Узунский блок и юго-восточное окончание Айгулакского хребта [2].

Вторая группа из 34 станций была установлена с 29 октября 2009 г. до 12 мая 2010 г. в районе г. Полысаево на Кузбассе, на той же территории, что и в предыдущих экспериментах [3, 4]. Из них 22 станции типа «Байкал АС-75» были размещены на дневной поверхности, а 12 станций типа «Байкал АС-65» – в угледобывающих шахтах. Подробно эти наблюдения описаны в [5].

**Карта  $K_{min}$ .** Региональная сеть стационарных сейсмических станций [1] обеспечила, как и в 2008 г. [6], представительность на уровне  $K_{min}=5$  на трех площадках разного размера в центральной части региона, в пределах Российской Федерации, а на всей территории, в пределах границ ответственности составления каталога, с включением частей территории трех государств – Казахстана, Китая и Монголии, не могут быть пропущены землетрясения, начиная с восьмого энергетического класса, т.е.  $K_{min}=8$  (рис. 1).

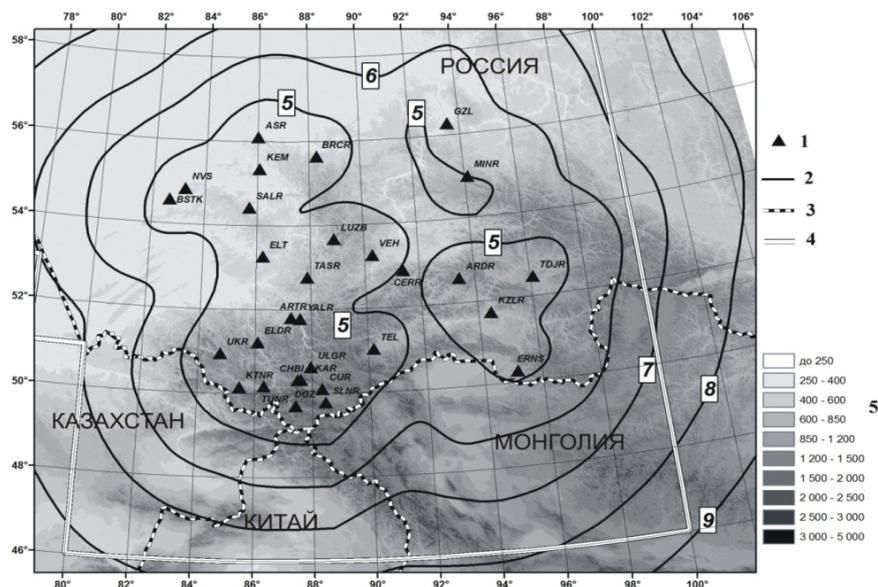


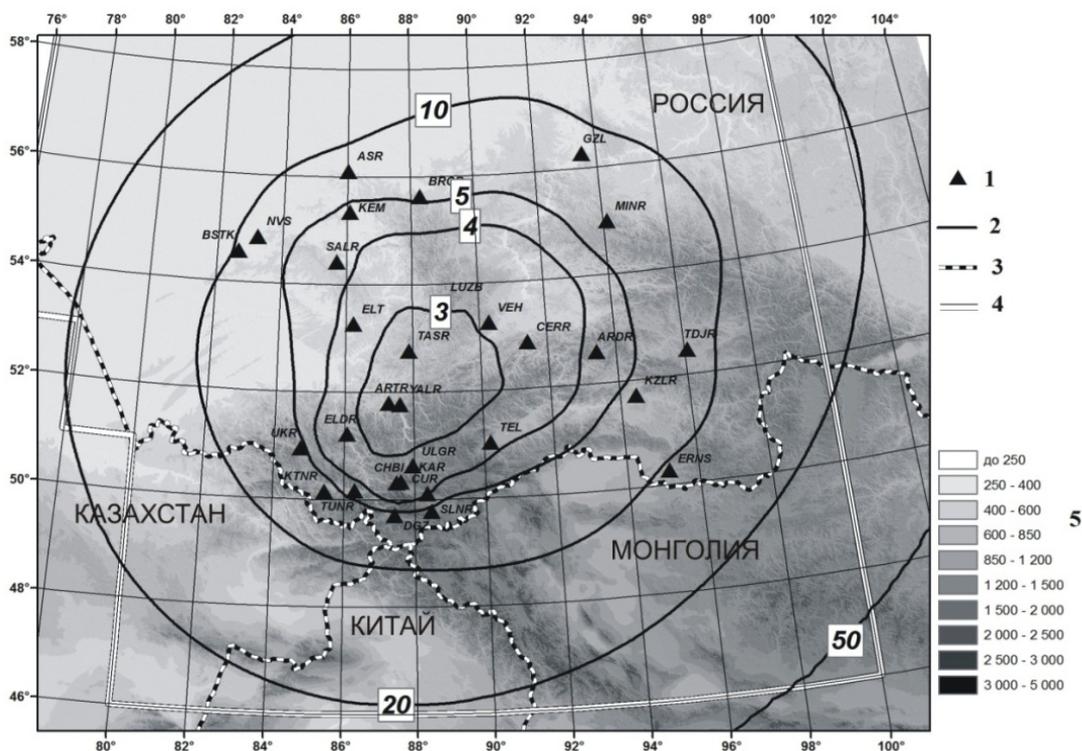
Рис. 1. Карта изолиний энергетической представительности Алтае-Саянской региональной сети в 2009 г.

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – изолиния  $K_{min}$ ; 3 – государственная граница; 4 – граница каталога АСФ ГС СО РАН; 5 – высоты рельефа  $h_y$ , м.

**Методика и точность наблюдений.** Обработка землетрясений, зарегистрированных сетью стационарных станций региона, велась, как и в предыдущие годы, с применением двухслойной региональной скоростной модели с постоянными скоростями  $v_p=6.1$  км/с,  $v_s=3.5$  км/с в земной коре и  $v_p=8.1$  км/с,  $v_s=4.6$  км/с – в мантии [7] с заданной средней глубиной очагов  $\bar{h}=15$  км [8].

Координаты и глубины землетрясений в Чуйско-Курайской зоне и техногенных событий в Кузбассе (район г. Полысаево) определялись в рамках уточненных для этих областей скоростных моделей [9, 10] с использованием пакета программ HYPOINVERSE-2000 [11]. Глубина очага определялась для каждого события, если позволяли возможности конкретного набора станций. Землетрясения, зарегистрированные в указанных зонах, в том числе в период работы временной сети, представлены в каталоге с повышенной точностью: координаты  $\varphi, \lambda$  до  $0.001^\circ$ , глубины  $h$  до 0.3–4.2 км [12]. Таких землетрясений в каталоге всего  $N=89$  с диапазоном глубин от  $h_{\min}=0.5\pm 0.3$  км до  $h_{\max}=19.6\pm 1.5$  км, причем 35 из них имеют глубины до  $h=0.5\text{--}5.0$  км, 31 – с  $h=5.1\text{--}10.0$  км и 23 – с  $h=10.1\text{--}19.6$  км, и средняя глубина этой совокупности гипоцентров составила  $h_{\text{ср}}=7.06$  км. Все фиксированные глубины равны  $h=15$  км, в каталоге [12] они отмечены символом «f» (фиксирована). Общее их число равно  $N(h=15)=856$ .

Погрешность  $\delta$  локации землетрясений для большей части региона менее 10 км (рис. 2), при этом наибольшая точность достигается в центре Алтайского сейсмологического полигона в пределах координат  $\varphi=49\text{--}52^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=84\text{--}90.5^\circ\text{E}$ , где повышенная плотность станций части региональной сети. В центральной части полигона погрешность  $\delta$  локации эпицентров землетрясений менее 3 км [6].



**Рис. 2.** Карта погрешности локализации эпицентров в Алтае-Саянском регионе в 2009 г. на примере землетрясений с  $K_p=9$  (обозначения см. на рис. 1)

**Каталоги землетрясений, механизмов очагов и других данных.** Общее число землетрясений, включенных в каталог [12] в 2009 г., составило  $N_2=945$ . Диапазон энергетических классов в каталоге равен  $K_p=5.2\text{--}13.6$ .

Максимальное землетрясение с  $K_p=13.6$ ,  $M_c=5.1$ ,  $M_S=M_s=5.0$ ,  $M_w=5.3$  зарегистрировано 4 августа в  $16^{\text{h}}20^{\text{m}}$  со следующими координатами:  $\varphi=(50.540\pm 0.014)^\circ$ ,  $\lambda=(96.897\pm 0.021)^\circ$   $h=(17.4\pm 2.8)$  км [12].

Для четырех землетрясений определены механизмы очагов [13], региональные решения (ARSR) которых даны в табл. 1.

Таблица 1. Параметры механизмов очагов землетрясений региона в 2009 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	$M_s$	$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источ- ник
						T		N		P		NP1			NP2			
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
6	04.08	16 20 36.9	17.4	5.1	13.6	24	305	44	189	36	54	85	45	10	182	83	135	[13]
7	20.08	10 05 20.5	10.6	4.0	11.7	14	284	76	105	0	14	60	80	10	328	80	170	–
8	18.09	00 09 44.1	8.8	3.5	10.7	50	252	34	108	18	5	55	40	30	301	71	126	–
13	27.12	10 42 14.5	8.0	3.5	10.7	41	123	39	78	24	10	250	80	50	148	41	165	–

Следует отметить, что для первого из них в [14] представлено дополнительное решение агентства GCMT.

Для восьми землетрясений имеются сведения о макросейсмических данных [12, 15], из которых для трех толчков (2 сентября в 09<sup>h</sup>32<sup>m</sup> с  $K_p=10.5$ , 9 сентября в 20<sup>h</sup>29<sup>m</sup> с  $K_p=8.0$ , 23 ноября в 22<sup>h</sup>52<sup>m</sup> с  $K_p=8.6$ ) лишь констатируется ощутимость в селе Акташ Республики Алтай, в пос. Арадан Красноярского края и в г. Карасук Новосибирской области, соответственно, без указания интенсивности сотрясений в баллах. Максимальный в 2009 г. макросейсмический эффект  $I=3-4$  балла по шкале MSK-64 [16] зафиксирован в г. Красноярске от землетрясения 24 марта в 11<sup>h</sup>08<sup>m</sup> с  $K_p=11.6$  и в г. Закаменск от землетрясения 4 августа в 16<sup>h</sup>20<sup>m</sup> с  $K_p=13.6$ . Суммарное число населенных пунктов, испытавших воздействия землетрясений, равно девяти [17].

**Суммарная энергия и график повторяемости.** В табл. 2 приведено распределение землетрясений по энергетическим классам  $K_p$ . Суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная в очагах землетрясений в 2009 г., равна  $\Sigma E=4.32 \cdot 10^{13}$  Дж, что почти на два порядка ниже, чем в 2008 г. ( $\Sigma E=1.08 \cdot 10^{15}$  Дж [6]).

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в регионе Алтай и Саяны в 2009 г.

$K_p$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$N_\Sigma$	$\Sigma E, Дж$
$N$	14	312	375	173	38	20	7	5		1	945	$4.32 \cdot 10^{13}$

График повторяемости землетрясений по данным табл. 2 приведен на рис. 3.

Параметры графика повторяемости, рассчитанные для его линейной части ( $K_p=7-11$ ), имеют вид:

$$\lg N(K_p)=5.663-0.439 \cdot K_p.$$

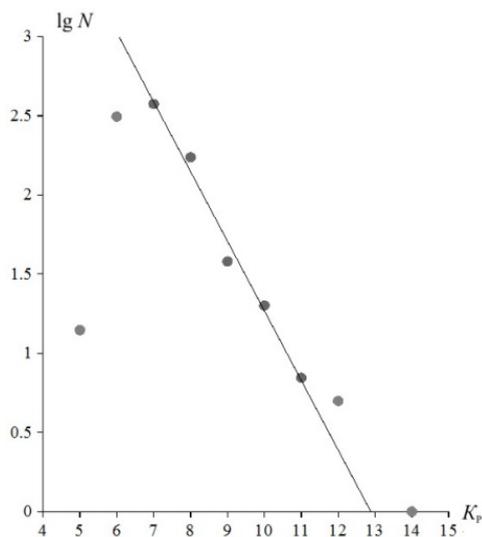


Рис. 3. График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2009 г.

Наклон графика повторяемости землетрясений в 2009 г. составил по модулю  $\gamma=|0.44|$ , что ниже величины этого показателя в 2008 г. ( $\gamma=0.46$ ) [6] и ниже средней его величины ( $\gamma=0.49$ ) для региона.

**Карта эпицентров** всех 945 землетрясений представлена на рис. 4. Внутри границ РФ зарегистрировано 765 землетрясений, вне границ – около 180. Разумеется, приоритет при анализе годовой сейсмичности имеют события, зарегистрированные в пределах России.

Как видим, наибольшая плотность эпицентров наблюдается в пределах очаговых зон двух крупнейших землетрясений прошлых лет: Бусингольского 27.12.1991 г. с  $K_p=16.2$ ,  $M_s=6.5$  [18, 19] на востоке региона и Чуйского землетрясения 27.03.2003 г. с  $K_p=17.1$ ,  $M_s=7.3$  [20, 21] в Горном Алтае. Рассмотрим особенности сейсмичности в этих зонах в направлении с запада на восток.

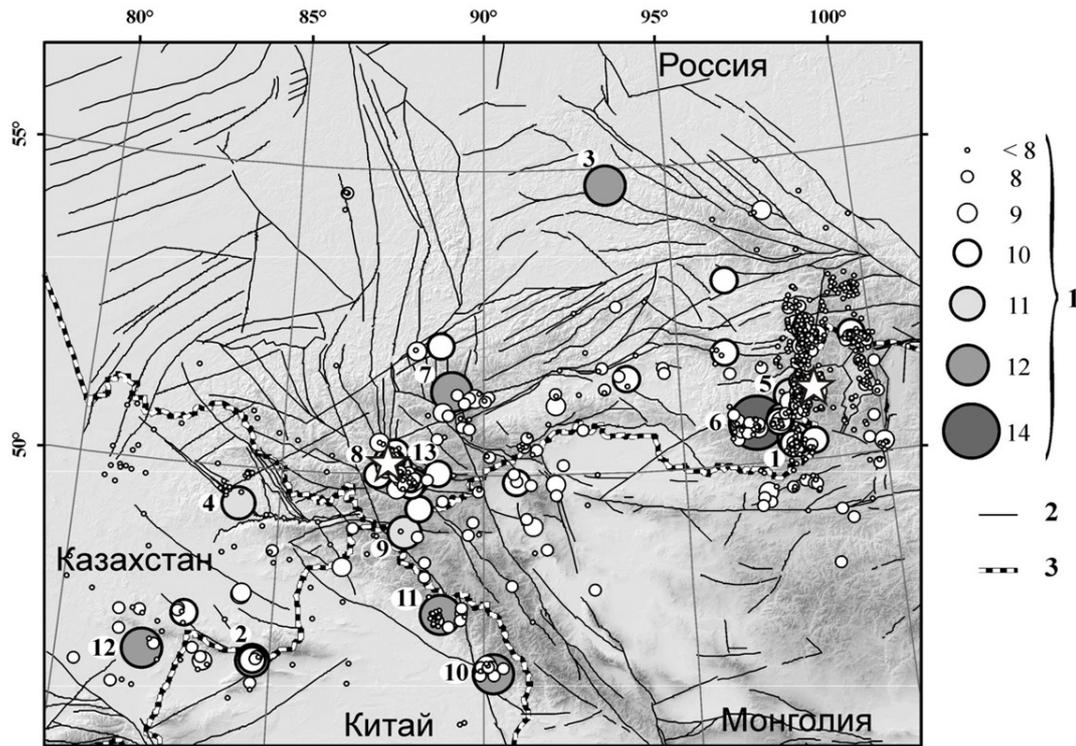


Рис. 4. Эпицентры землетрясений в Алтае-Саянском регионе в 2009 г.

1 – энергетический класс; 2 – неотектонический разлом (по ГИН РАН, под ред. Ю.Г. Леонова); 3 – государственная граница; пронумерованы землетрясения с  $K_p > 10.5$ ; двумя звездами отмечены Чуйское и Бусингольское землетрясения.

**Чуйско-Курайская зона и западный фланг Западного Саяна** (рис. 5 а). В Чуйско-Курайской зоне в 2009 г. сейсмическая активность оставалась примерно на том же уровне, что и 2008 г. [6]. Согласно [12], суммарное число землетрясений здесь  $N_{ч-к}=104$ . Они расположены полосой, параллельной Северо- и Южно-Чуйским хребтам. Максимальными в этой группе являются землетрясения (8) и (13) равной энергии  $K_p=10.7$ , с почти равными глубинами ( $h=8.8$  и  $8.0$  км) и с близкими координатами. Они были зарегистрированы 18 сентября в  $00^h09^m$  и 27 декабря в  $10^h42^m$  и расположены ближе к северо-западному окончанию облака эпицентров (рис. 5 а).

Для обоих толчков в табл. 1 даны региональные решения механизмов их очагов. Землетрясения возникли в условиях некоторого превалирования напряжений сжатия, т.к.  $PL_p=18$  и  $24^\circ$  меньше  $PL_{\tau}=50$  и  $41^\circ$ . Их стереограммы изображены на рис. 5 а. Для землетрясения (8) по пологой ( $DP_1=40^\circ$ ) плоскости  $NP1$  северо-восточного ( $STK_1=55^\circ$ ) простирания подвижка – левосторонний сдвиг с компонентами взброса, по крутой ( $DP_2=71^\circ$ ) плоскости  $NP2$  северо-западного ( $STK_2=301^\circ$ ) простирания – взброс с элементами правостороннего сдвига. Сходные наклоны нодальных плоскостей и типа подвижек по ним и в очаге землетрясения (13), только со сменой направления сдвигов.

В целом, как и в 2008 г., сейсмичность главным образом охватывает область распространения афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. в зонах Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов, предгорных областей Курайской и Чуйской впадин и Чаган-Узунского блока [21], что может свидетельствовать о продолжающемся афтершоковом процессе. Одиночные события зарегистрированы также в Айгуласком и Курайском хребтах.

Обычно сейсмически активный Шапшальский хребет в 2009 г. характеризуется относительным затишьем – 20 августа в  $10^h05^m$  зарегистрировано лишь одно сравнительно сильное ( $K_p=11.7$ ) землетрясение (7), не сопровождавшееся афтершоками. Согласно табл. 1, в его очаге напряжения сжатия горизонтальны ( $PL_p=0^\circ$ ), хотя и ось растяжения также достаточно близка к горизонту ( $PL_{\tau}=14$ ). В результате по обеим нодальным плоскостям практически чистый сдвиг, левосторонний по плоскости  $NP1$  и правосторонний – по  $NP2$ , с очень незначительными компонентами взброса (рис. 5 а).

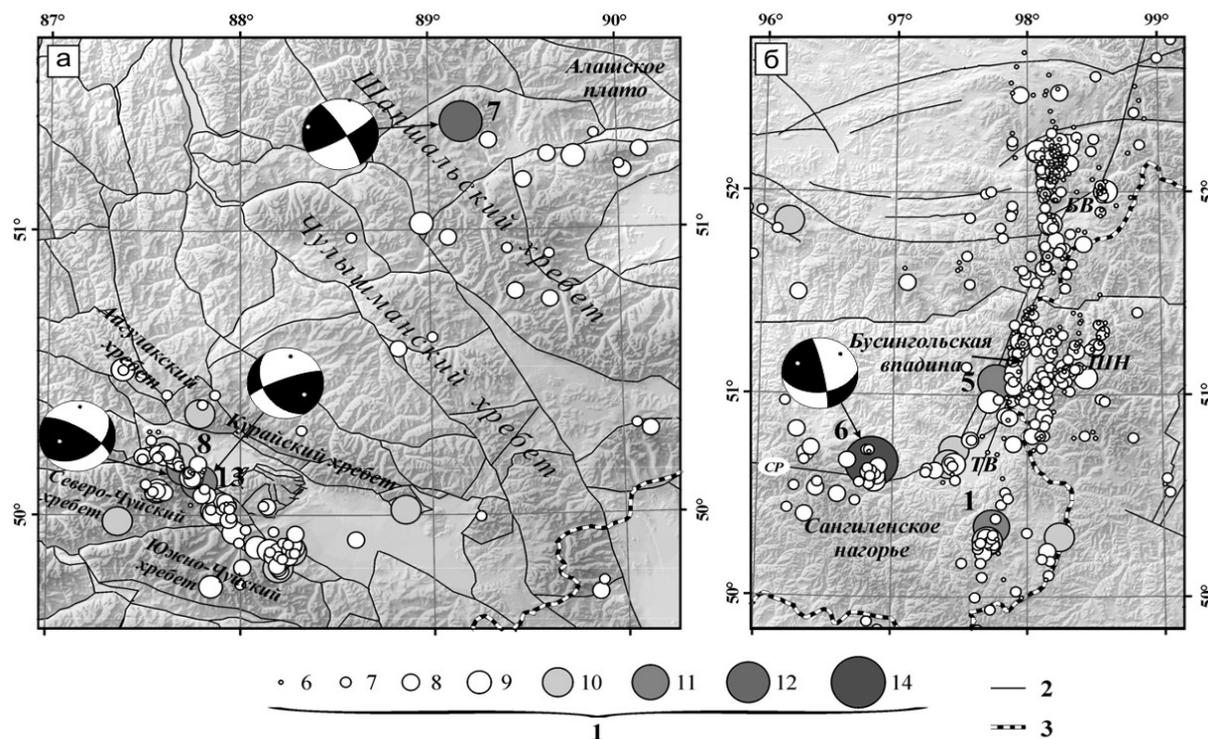


Рис. 5. Эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне и на западном фланге Западного Саяна (а), а также в Белино-Бусингольской зоне (б) в 2009 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – неотектонический разлом; 3 – государственная граница. Сокращениями представлены: БВ – Белинская впадина, ТВ – Терехольская впадина; ШН – Шишхидское нагорье; СР – Сангиленский разлом. Разломы на рис. 5 а нанесены по [22]; на рис. 5 б – по ГИН РАН (под ред. Ю.Г. Леонова); стереограммы механизмов сильных землетрясений из [13] даны в проекции нижней полусферы.

**Белино-Бусингольская зона.** Здесь зарегистрировано 440 землетрясений, или 46% от общего их числа. Из них 190 толчков с  $K_p \leq 6.5$ . Самым значимым из них является упомянутое выше самое сильное ( $K_p=13.6$ ) в 2009 г. землетрясение (6) (рис. 5 б), произошедшее на востоке региона 4 августа в 16<sup>h</sup>20<sup>m</sup> на глубине  $h=17.4$  км, которое, согласно [23], записали 695 сейсмических станций мировой сети. Землетрясение приурочено к широтному участку Сангиленского разлома (рис. 5 б).

По региональным данным (табл. 1, [13]), в его очаге преобладали напряжения растяжения ( $PL_T=24^\circ < PL_P=54^\circ$ ), ориентированные в северо-западном ( $AZM_T=305^\circ$ ) направлении. Движение по близширотной ( $STK_1=85^\circ$ ) пологой ( $DP_1=45^\circ$ ) нодальной плоскости  $NP1$  – левосторонний сдвиг с компонентами взброса; по меридиональной ( $STK_2=182^\circ$ ) крутой ( $DP_2=83^\circ$ ) плоскости  $NP2$  – взброс, с незначительным правосторонним сдвигом (рис. 6).

Но в решении GCMT [24] не взброс, а сброс, хотя оба решения схожи (рис. 6). Обе нодальные плоскости – крутые (60 и 87°). Движение по близвертикальной плоскости  $NP1$  – нормальный сброс с элементами правостороннего сдвига, по второй – левосторонний сдвиг с компонентами сброса.

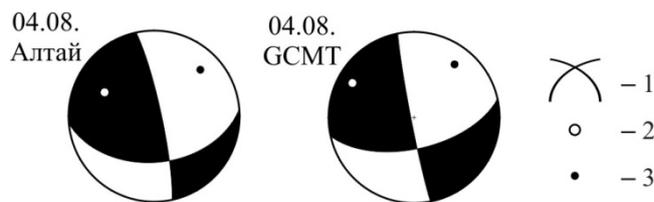


Рис. 6. Сравнение регионального решения механизма очага землетрясения 4 августа [13] с GCMT [24]

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

**Афтершоки землетрясения 4 августа с  $K_p=13.6$ .** Землетрясение сопровождалось небольшой серией «вялых» афтершоков, т.е. растянутых во времени. Их список дан в табл. 3.

**Таблица 3.** Основные параметры главного толчка и афтершоков землетрясения 4 августа в 16<sup>h</sup>20<sup>m</sup> с  $K_p=13.6$ ,  $MS=5.0$ ,  $M_w=5.3$

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E						$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		
Основной толчок							11	23.09	18 33 28.1	50.43	96.23		7.2
	<b>04.08</b>	<b>16 20 36.94</b>	<b>50.540</b>	<b>96.897</b>	<b>17.4</b>	<b>13.6</b>	12	24.09	04 20 24.3	50.40	96.36		8.0
Афтершоки							13	14.10	16 23 13.4	50.71	96.83		6.1
1	04.08	16 55 18.7	50.62	96.85		7.0	14	22.10	02 12 51.4	50.57	96.87		<b>8.6</b>
2	05.08	23 26 55.4	50.64	96.90		8.2	15	24.10	03 47 04.4	50.57	96.84		7.4
3	11.08	20 54 01.5	50.55	96.83		7.1	16	28.10	01 40 38.6	50.67	96.67		8.0
4	19.08	05 38 26.1	50.61	96.83		8.3	17	29.10	16 24 08.4	50.96	96.20		6.5
5	22.08	22 08 37.7	50.72	96.83		6.5	18	04.11	06 34 17.2	50.60	96.88		7.2
6	24.08	09 03 57.4	50.63	96.82		6.6	19	18.11	04 07 28.8	50.59	96.89		8.5
7	25.08	14 11 03.2	50.47	96.73		6.6	20	25.11	03 52 20.2	50.82	96.29		7.9
8	04.09	11 59 47.1	50.70	96.36		8.4	21	04.12	20 45 06.4	50.59	96.84		6.5
9	13.09	22 02 06.8	50.53	96.44		7.9	22	06.12	08 56 07.5	50.54	96.28		7.1
10	21.09	19 12 38.1	50.50	96.60		7.9	23	06.12	11 28 23.4	50.67	96.35		7.4
							24	14.12	07 35 29.9	50.73	96.40		8.3

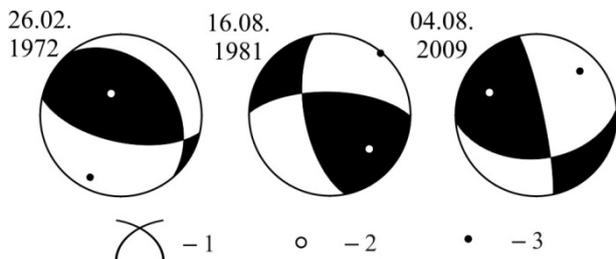
Максимальный афтершок зарегистрирован 22 октября ( $K_p=8.6$ ), т.е. спустя два с половиной месяца после главного толчка. Наблюдается некоторая миграция афтершоков со временем в западном направлении. Учитывая широтную ориентацию Сангиленского разлома, направление миграции афтершоков и наличие широтной нодальной плоскости в решении механизма очага, можно предположить, что именно широтная плоскость была действующей в этом очаге.

За предыдущий период инструментальных наблюдений в регионе вблизи эпицентра землетрясения 4 августа в зоне Сангиленского разлома зарегистрированы два землетрясения в 1972 и 1981 гг. с близкими к нему классами:  $K_p=14$  и  $K_p=13.7$ , соответственно (табл. 4).

**Таблица 4.** Сильные ( $K_p \geq 14$ ) землетрясения в зоне широтной части Сангиленского разлома

Дата, д м год	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$K_p$	$MLH$	Источник
		$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E			
26.02.1972	23 31 07.6	50.55	96.83	14	5.7	[25]
16.08.1981	17 54 09.9	50.55	96.83	13.7		[26]

Механизмы очагов этих двух землетрясений определены в разное время разными авторами, некоторые из них по одним и тем же наборам данных [25, 27, 28] свидетельствуют о чисто взбросовых подвижках в их очагах. Сравнивая их с фокальным механизмом описываемого землетрясения 4 августа 2009 г. можно видеть, что механизмы трех близких по положению эпицентра событий несколько отличаются друг от друга по типу подвижки в очаге, но при этом во всех трех случаях имеется субширотная нодальная плоскость, по простиранию совпадающая с направлением широтного участка Сангиленского разлома (рис. 7).



**Рис. 7.** Стереогаммы механизма очагов трех сильных землетрясений Сангиленского разлома 26 февраля 1972 г., 16 августа 1981 г. и 4 августа 2009 г. (в проекции нижней полусферы)

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

Для всех трех сильных землетрясений, приуроченных к Сангиленскому разлому, характерно малое количество афтершоков и быстрое затухание афтершокового процесса, тогда как расположенная поблизости Бусингольская активизация, напротив, характеризуется длительным, даже затяжным афтершоковым процессом, близким уже к рою, и продолжающимся высо-

ким уровнем высвобождающейся энергии [29]. В 2009 г. здесь 5 июля в 20<sup>h</sup>36<sup>m</sup> произошло землетрясение (5) с  $K_p=11.4$ ,  $M_s=3.3$  с эпицентром внутри Бусингольской впадины. Сейсмическая активность наблюдается как во впадине, так и в Шишхидском нагорье (рис. 5 б).

**Другие серии афтершоков в 2009 г.** На севере Белино-Бусингольской зоны отмечается продолжение афтершокового процесса Белин-Бий-Хемского землетрясения 16 августа 2008 г. с  $K_p=15$  [30]. Энергия афтершоков Белин-Бий-Хемского землетрясения в 2009 г. не превысила по совокупности значения  $K_p=9.2$  (табл. 5).

**Таблица 5.** Основные параметры главного толчка Белин-Бий-Хемского землетрясения 16 августа 2008 г. в 04<sup>h</sup>01<sup>m</sup> с  $K_p=15.0$ ,  $M_{ca}=5.4$ ,  $M_S=M_s=5.5$ ,  $M_w=5.7$  и его афтершоков (продолжение) в 2009 г. в пределах координат  $\varphi=51.91-52.25^\circ N$ ,  $\lambda=97.14-98.31^\circ E$

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$						$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		
Основной толчок							36	21.04	23 34 08.2	52.11	98.25	15	6.3
16.08.2008 04 01 06.4 52.12 98.21 15f							37	22.04	19 47 43.7	52.12	98.23	15	7.8
Афтершоки							38	29.04	15 59 32.0	52.14	98.22	15	6.4
1	11.01.2009	17 15 49.7	52.18	98.17	15	6.5	39	06.05	03 43 51.7	52.17	98.23	15	6.8
2	12.01	04 59 27.8	51.97	98.16	15	5.7	40	19.05	19 52 50.1	52.15	98.17	15	6.3
3	17.01	13 40 50.7	52.10	98.18	15	6.5	41	03.06	11 25 44.5	52.12	98.18	15	6.6
4	17.01	23 54 55.2	52.17	98.30	15	5.6	42	21.06	21 32 18.0	51.96	98.21	15	6.2
5	20.01	00 34 44.8	52.23	98.31	15	8.6	43	20.07	11 11 34.9	52.10	98.15	15	7.9
6	20.01	15 47 14.8	52.08	98.19	15	6.4	44	23.07	08 01 40.0	52.12	98.26	15	6.4
7	21.01	03 36 06.9	52.14	98.29	15	6.2	45	26.07	09 35 17.3	52.21	98.29	15	6.8
8	04.02	12 15 32.3	52.15	98.19	15	6.0	46	03.08	21 15 21.3	52.18	98.19	15	6.6
9	08.02	01 46 34.2	52.16	98.26	15	5.5	47	03.08	23 45 02.3	52.23	98.24	15	6.0
10	10.02	21 22 17.1	52.08	98.24	15	6.0	48	07.08	20 44 56.3	52.04	98.18	15	6.6
11	12.02	07 13 44.9	52.12	98.19	15	7.2	49	10.08	16 40 47.4	52.14	98.18	15	7.4
12	13.02	03 25 41.7	51.97	98.22	15	6.7	50	15.08	07 46 08.2	52.14	98.23	15	6.0
13	16.02	01 01 28.9	52.00	98.26	15	6.6	51	17.08	20 40 28.1	52.19	98.19	15	6.1
14	19.02	16 41 21.7	52.16	98.29	15	6.4	52	18.08	21 06 55.8	52.09	98.25	15	6.6
15	20.02	02 07 23.0	52.16	98.25	15	8.6	53	25.08	23 55 34.9	52.07	98.21	15	6.2
16	22.02	17 03 02.3	52.09	98.21	15	6.5		31.08	20 45 58.5	52.19	98.24	15	5.4
17	28.02	13 44 36.6	52.12	98.20	15	6.1	54	13.09	22 45 21.0	52.18	98.22	15	6.3
18	03.03	14 39 32.2	52.13	98.22	15	6.3	55	16.09	12 14 38.3	52.15	98.16	15	6.6
19	08.03	23 32 52.9	52.23	98.19	15	6.0	56	12.10	20 10 11.5	52.01	98.21	15	5.6
20	09.03	01 13 57.8	52.12	98.22	15	7.5	57	13.10	12 46 04.7	51.96	98.22	15	5.7
21	14.03	12 26 58.7	52.24	98.17	15	7.0	58	20.10	01 55 05.9	52.05	98.21	15	6.3
22	16.03	22 04 45.8	52.14	98.16	15	7.5	59	21.10	14 29 22.8	52.15	98.20	15	6.6
23	17.03	22 12 55.2	52.11	98.19	15	5.6	60	29.10	00 00 18.3	52.06	98.19	15	6.8
24	18.03	01 43 50.4	52.19	98.23	15	7.2	61	29.10	04 22 17.8	52.19	98.22	15	6.5
25	25.03	11 01 12.4	52.20	98.21	15	6.0	62	01.11	15 29 44.0	52.21	98.23	15	6.7
26	26.03	05 30 51.4	52.22	98.19	15	6.3	63	05.11	02 16 15.0	51.99	98.14	15	6.7
27	26.03	21 50 23.0	52.07	98.14	15	7.8	64	11.11	00 09 33.7	52.06	98.18	15	5.8
28	30.03	04 18 58.8	52.10	98.19	15	6.3	65	11.11	17 55 06.9	52.10	98.28	15	6.7
29	01.04	00 14 31.2	52.08	98.22	15	6.3	66	19.11	06 55 06.1	51.92	98.14	15	6.8
30	01.04	08 02 16.2	52.05	98.18	15	6.2	67	20.11	11 30 08.7	51.97	98.13	15	7.3
31	04.04	20 17 09.6	52.25	98.25	15	8.2	68	20.11	12 39 57.0	51.96	98.14	15	6.3
32	06.04	05 53 20.5	52.13	98.17	15	7.2	69	04.12	18 33 05.5	52.06	98.20	15	6.7
33	07.04	01 04 43.1	52.18	98.24	15	7.0	70	05.12	18 33 03.6	52.06	98.28	15	6.3
34	16.04	20 37 01.8	52.12	98.18	15	5.8	71	11.12	21 22 06.7	52.11	98.13	15	7.7
35	21.04	08 00 02.9	52.10	98.20	15	7.7	72	23.12	19 08 41.4	52.10	98.18	15	6.7
							73	31.12	14 20 44.0	51.99	98.14	15	6.4

Помимо этого, в 2009 г. на юге рассматриваемой зоны 9 января в 20<sup>h</sup>36<sup>m</sup> зарегистрировано землетрясение (1) с  $K_p=11.0$ , которое сопровождалось небольшой серией афтершоков (табл. 6). Максимальный афтершок 17 января имел  $K_p=10.5$ . Большинство афтершоков произошло в течение первого месяца после главного толчка (табл. 6).

**Таблица 6.** Основные параметры главного толчка землетрясения 9 января 2008 г. в 13<sup>h</sup>50<sup>m</sup> с  $K_p=11.0$ ,  $M_c=3.5$  в пределах координат  $\varphi=50.15-50.35^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=97.65-98.17^\circ\text{E}$

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ, \text{N}$	$\lambda^\circ, \text{E}$						$\varphi^\circ, \text{N}$	$\lambda^\circ, \text{E}$		
Основной толчок													
	<b>09.01</b>	<b>13 50 48.2</b>	<b>50.34</b>	<b>97.741</b>	<b>15f</b>	<b>11.0</b>							
Афтершоки													
1	09.01	15 44 48.2	50.16	97.66		7.3	7	17.01	10 11 00.2	50.30	97.75		6.7
2	09.01	20 13 07.1	50.28	97.78		6.4	8	18.01	11 55 09.4	50.27	97.73		7.3
3	10.01	17 47 26.7	50.25	97.73		7.5	9	20.01	06 20 46.3	50.25	97.76		7.2
4	14.01	11 43 56.7	50.21	97.68		7.7	10	23.01	16 40 06.9	50.25	97.74		8.2
5	14.01	16 46 01.6	50.21	97.79		6.4	11	01.02	09 29 58.7	50.29	97.70		7.7
6	17.01	09 06 26.7	50.27	97.71		10.5	12	23.02	21 44 40.0	50.26	97.66		6.5
							13	23.03	18 07 40.9	50.29	97.70		8.3
							14	31.05	01 54 20.7	50.31	98.00		7.1
							15	22.06	17 59 22.1	50.18	98.11		6.9
							16	17.07	18 42 47/8	50.22	98.15		7.7

Возвращаясь к карте эпицентров землетрясений региона (рис. 4), можно отметить, что сильное землетрясение (8) в Чуйско-Курайской зоне и три события (9–11) с  $K_p=11-12$  в системе Монгольского Алтая образуют своеобразную цепочку событий, произошедших на временном интервале чуть более недели (18–26 сентября). Возможно, такая синхронность свидетельствует об активизации данной структуры в целом.

**В заключение** можно отметить, что интенсивность сейсмичности в Алтае-Саянском регионе в 2009 г. находилась на уровне среднего показателя для этого региона. По количеству зарегистрированных землетрясений с  $K_p>8$  наиболее сейсмически активными, как и в 2008 г., выглядят Чуйско-Курайская зона – эпицентральная область Чуйского землетрясения 2003 г. в Горном Алтае и Белино-Бусингольская зона – на востоке региона.

#### Л и т е р а т у р а

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Карабельщиков Д.Г., Дураченко А.В., Лескова Е.В. (сост.). Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2009 г. (код сети ASRS). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
2. Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Корабельщиков Д.Г., Демидова А.А., Ворона У.И. Наблюдения временными сетями: Эксперимент с временной сетью станций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 27.09.2003 г.,  $M_S=7.3$  (Алтай) // Землетрясения России в 2009 году. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 89–92.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Сёмин А.Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. – 2009. – 12. – № 1. – С. 37–43.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Сёмин А.Ю., Демидова А.А., Янкайтис В.В. Наблюдения с временными сетями. Техногенная сейсмичность в Кузбассе // Землетрясения России в 2007 году. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 86–93.
5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Шевкунова Е.В., Манушина О.А., Демидова А.А., Ворона У.И., Смоглюк А.С. Наблюдения временными сетями: Экспериментальные исследования триггерных эффектов в развитии наведенной сейсмичности в Кузбассе // Землетрясения России в 2009 году. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 92–102.
6. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Дураченко А.В. Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 148–153.
7. Жалковский Н.Д., Цибульчик Г.М., Цибульчик И.Д. Годографы сейсмических волн и мощность земной коры Алтае-Саянской складчатой области по данным регистрации промышленных взрывов и местных землетрясений // Геология и геофизика. – 1965. – № 1. – С. 173–179.
8. Цибульчик И.Д. О глубинах очагов землетрясений Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. – 1966. – № 5. – С. 170–173.
9. Еманов А.А., Лескова Е.В. Структурные особенности афтершокового процесса Чуйского (Горный Алтай) землетрясения // Геология и геофизика. – 2005. – 46. – № 10. – С. 1065–1072.
10. Опарин В.Н., Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Колесников Ю.И. и др. Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия / Отв. ред. Н.Н. Мельников. – Новосибирск: СО РАН, 2012. – 632 с.

11. Klein F.W. User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes // U.S. Geological Survey, 2002. – Open-file report 02–171, 123 p.  
<http://pubs.usgs.gov/of/2002/0171/>.
12. Лескова Е.В., Филина А.Г., (отв. сост.), Денисенко Г.А., Манушина О.А., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В., Шаталова А.О. (сост.). Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
13. Лескова Е.В. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Алтая и Саян за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
14. Левина В.И. Дополнительные решения механизма очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2009 г. (См. Приложение в наст. сб. на CD).
15. Филина А.Г., Артёмова Е.В. (сост.). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2009 г. (Приложение к наст. сб. на CD).
16. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
17. Филина А.Г., Лескова Е.В., Артёмова Е.В., Пойгина С.Г. (сост.). Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
18. Филина А.Г. (отв. сост.), Пугачёва В.Н., Манушина О.А., Слепенкова Э.А., Ибрагимов Г.Г. (сост.). Региональные каталоги: Алтай и Саяны // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 138–142.
19. Филина А.Г. Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 38–39.
20. Филина А.Г., Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Данциг Л.Г., Денисенко Г.А., Кузнецова Н.В., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2003 год // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – (На CD).
21. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Фатеев А.В., Филина А.Г. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 г. с  $M=7.3$ ,  $K_p=17$  (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 326–343.
22. Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике // Геология и геофизика. – 2008. – 49, № 11. – С. 1139–1149.
23. International Seismological Centre. On-Line Bulletin // International Seismological Centre [сайт]. [2012]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
24. Global CMT catalog, <http://www.globalcmt.org>.
25. Цибульчик И.Д., Филина А.Г. Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1972 году. – М.: Наука, 1976. – С. 100–104.
26. Филина А.Г. Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1981 году. – М.: Наука, 1984. – С. 54–56.
27. Растворова В.А., Цибульчик И.Д. Механизмы очагов землетрясений и морфоструктура Алтае-Саянской области // Физика Земли. – 1983. – № 9. – С. 22–38.
28. Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Кучай О.А., Суханова С.С. Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии: сборник научных трудов. Выпуск 1 / Отв. ред. В.И. Уломов. – М.: ИФЗ РАН, 1993. – С. 113–122.
29. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В. Сейсмические активизации в Белино-Бусингольской зоне // Физическая мезомеханика. – 2010. – 13. – С. 72–77.
30. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Артёмова А.И. Белин-Бий-Хемское землетрясение 16 августа 2008 г. с  $K_p=15$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  (Республика Тыва) // Землетрясения Северной Евразии в 2008 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 378–385.