

**АЛТАЙ И САЯНЫ****А.Ф. Еманов, Е.В. Лескова, А.Г. Филина, А.А. Еманов, А.В. Фатеев***Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН, г. Новосибирск,  
emanov@gs.nsc.ru, filina@gs.nsc.ru*

В 2004 г. сейсмическую сеть региона составляли 29 цифровых станций, данные о которых приведены в табл. 1, 2.

**Таблица 1.** Сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2004 г.

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Тип станции
	Название	Код			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h, м$	
		межд.	рег.					
1	Акташ	AKAR	АКТ	01.02.2001	50.325	87.621	1421	Цифровая станция Байкал-11
2	Анжеро-Судженск	ASR		2003	56.102	86.022	200	Цифровая станция Байкал-11
3	Арадан	ARDR	АРД	00.12.2002	52.580	93.428	958	Цифровая станция Байкал-11
4	Артыбаш	ART ARTR*	АРТ	01.07.2000	51.798	87.281	511	Цифровая станция Байкал-11
5	Берчихуль	BRCR	БРЧ	01.09.1998	55.635	88.299	381	Цифровая станция Байкал-11
6	Быстровка	BST	БСТ	1999	54.568	82.653	121	Цифровая станция Байкал-11
7	Верх-База	VEN	В-Б	01.04.2001	53.255	90.299	550	Цифровая станция Байкал-11
8	Джазатор	DGZ		20.08.2003	49.700	87.432	1606	Цифровая станция Байкал-11
9	Еланда	ELDR	ЕЛД	04.10.2002	51.217	86.089	472	Цифровая станция Байкал-11
10	Ельцовка	ELT	ЕЛЬ	15.09.2001	53.261	86.239	235	Цифровая станция Байкал-11
11	Железногорск	GZL		2003	56.265	93.542	165	Цифровая станция Байкал-11
12	Кайтанак	KTNK KTNR*	КТН	18.05.2001	50.145	85.465	1031	Цифровая станция Байкал-11
13	Кызыл	KZL KZLR*	КЗЛ	15.03.2001	51.705	94.453	654	Цифровая станция Байкал-11
14	Мина	MINR	МИН	01.12.2001	54.977	94.127	544	Цифровая станция Байкал-11
15	Новосибирск	NVS	НСК	01.05.1999	54.841	83.234	168	Цифровая станция Байкал-11
16	Солонешенская	SLN		18.10.2003	49.777	88.467	2057	Цифровая станция Байкал-11
17	Ташанта	THT		24.08.2003	49.715	89.197	2130	Цифровая станция Байкал-11
18	Таштагол	TASR	ТШТ	01.12.1999	52.762	87.880	553	Цифровая станция Байкал-11
19	Тоджа	TDJR	ТДЖ	01.03.2001	52.453	96.093	1000	Цифровая станция Байкал-11
20	Тээли	TEL	ТЭЛ	15.03.2001	51.024	90.195	992	Цифровая станция Байкал-11
21	Тюнгур	TUNR	ТНГ	01.08.1998	50.163	86.317	864	Цифровая станция Байкал-11
22	Улаган	ULGR	УЛГ	28.07.2002	50.623	87.961	1239	Цифровая станция Байкал-11
23	Усть-Кан	UKR	У-К	01.02.2001	50.940	84.769	1057	Цифровая станция Байкал-11
24	Чаган-Узун (восстановлена)	CUR	Ч-У	13.02.2002 13.08.2003	50.101	88.358	1740	Цифровая станция Байкал-11
25	Черемушки	CERR	ЧЕР	01.12.2000	52.856	91.415	400	Цифровая станция Байкал-11
26	Чибит	CHB		03.10.2003	50.313	87.503	1164	Цифровая станция Байкал-11
27	Эрзин	ERNS	ЭРЗ	00.12.2001	50.265	95.161	1100	Цифровая станция Байкал-11
28	Яйлю	YALR	ЯЙЛ	19.07.2002	51.769	87.611	451	Цифровая станция Байкал-11
29	Ростелеком	RTK		2003	60.966	69.027	40	Цифровая станция Байкал-11

Примечание. Знаком \* отмечены коды, используемые в бюллетенях ISC [1].

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых станций Алтая и Саян в 2004 г.

Название станции	Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с <sup>2</sup> )
Акташ	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	$2.0 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$1.0 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$1.2 \cdot 10^9$
	Байкал-11+ОСП	SH (N)a	0.5–20	100	20	$2.3 \cdot 10^5$
		SH (E)a	0.5–20	100	20	$2.4 \cdot 10^5$
		SH (Z)a	0.5–20	100	20	$2.2 \cdot 10^5$
Анжеро-Судженск	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N,E, Z)v	0.6–20	100	20	$5.9 \cdot 10^6$
Арадан	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	$2.7 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$2.6 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$2.6 \cdot 10^9$
Артыбаш	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	$2.3 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$1.2 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$1.1 \cdot 10^9$
Берчикуль	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N, E)v	0.5–40	100	20	$1.0 \cdot 10^{10}$
		SH (Z)v	0.5–40	100	20	$8.3 \cdot 10^9$
Быстровка	Байкал-11+СКМ-3	SH (N,E, Z)v	0.5–40	200	20	$1.3 \cdot 10^9$
Верх-База	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	$1.6 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$1.7 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$1.1 \cdot 10^9$
	Байкал-11+СКД	SH (N)v	0.1–20	100	20	$1.0 \cdot 10^9$
SH (E, Z)v		0.1–20	100	20	$8.3 \cdot 10^7$	
Джазатор	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–40	100	20	$2.6 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–40	100	20	$2.8 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–40	100	20	$2.4 \cdot 10^9$
		SH (N)v	0.5–40	100	20	$2.4 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–40	100	20	$2.6 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–40	100	20	$2.3 \cdot 10^9$
Еланда	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N, E, Z)v	0.5–20	100	20	$5.3 \cdot 10^9$
Ельцовка	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	$1.1 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$1.1 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$1.3 \cdot 10^9$
Кайтанак	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–20	100	20	$3.1 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$3.3 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$3.2 \cdot 10^9$
Кызыл	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N, Z)v	0.5–14	100	20	$1.8 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–14	100	20	$1.7 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–14	100	20	$1.8 \cdot 10^9$
Мина	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	$2.4 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$1.4 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$2.2 \cdot 10^9$
Новосибирск	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–20	100	20	$2.1 \cdot 10^9$
		SH (E)v	0.5–20	100	20	$6.7 \cdot 10^9$
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	$6.7 \cdot 10^9$
	Байкал-11+СКД	SH (N)v	0.1–20	100	20	$1.4 \cdot 10^6$
		SH (E, Z)v	0.1–20	100	20	$1.6 \cdot 10^6$
	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–50	100	20	$9.1 \cdot 10^7$
		SH (E, Z)v	0.5–50	100	20	$1.0 \cdot 10^8$

Название станции	Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосигграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с <sup>2</sup> )
Солошенская	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N, E)v	0.5–20	200	20	4.5·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–20	200	20	4.8·10 <sup>9</sup>
	Байкал-11+ОСП	SH (N)a	0.5–20	100	20	3.6·10 <sup>5</sup>
		SH (E)a	0.5–20	100	20	3.8·10 <sup>5</sup>
		SH (Z)a	0.5–20	100	20	3.7·10 <sup>5</sup>
Ташанта	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–7	100	20	3.0·10 <sup>9</sup>
		SH (E, Z)v	0.5–7	100	20	3.3·10 <sup>9</sup>
	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–7	100	20	2.0·10 <sup>7</sup>
		SH (E)v	0.5–7	100	20	2.2·10 <sup>7</sup>
		SH (Z)v	0.5–7	100	20	2.1·10 <sup>7</sup>
Таштагол	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–7	100	20	2.8·10 <sup>9</sup>
		SH (E)v	0.5–7	100	20	3.1·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–7	100	20	3.0·10 <sup>9</sup>
Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N, E)v	0.5–7	100	16	1.0·10 <sup>8</sup>	
	SH (Z)v	0.5–7	100	16	1.1·10 <sup>8</sup>	
Тоджа	Байкал-11+СКМ-3	SH(N, E)v	0.5–20	100	20	5.5·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	5.3·10 <sup>9</sup>
Тээли	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	1.6·10 <sup>9</sup>
		SH (E, Z)v	0.5–20	100	20	1.5·10 <sup>9</sup>
	Байкал-11+СКД	SH (N)v	0.5–10	100	20	8.3·10 <sup>7</sup>
		SH (E)v	0.5–10	100	20	7.1·10 <sup>7</sup>
		SH (Z)v	0.5–10	100	20	6.7·10 <sup>7</sup>
Тюнгур	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	1.7·10 <sup>9</sup>
		SH (E)v	0.5–20	100	20	2.4·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	1.3·10 <sup>9</sup>
Улаган	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–20	100	20	3.7·10 <sup>9</sup>
		SH (E)v	0.5–20	100	20	3.6·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	4.0·10 <sup>9</sup>
Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–20	100	20	1.7·10 <sup>7</sup>	
	SH (E)v	0.5–20	100	20	1.6·10 <sup>7</sup>	
	SH (Z)v	0.5–20	100	20	1.8·10 <sup>7</sup>	
Усть-Кан	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–6	100	20	2.9·10 <sup>9</sup>
		SH (E)v	0.5–6	100	20	3.2·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–6	100	20	2.8·10 <sup>9</sup>
Байкал-11+СКД	SH (N, E, Z)v	0.5–6	100	20	1.6·10 <sup>7</sup>	
Чаган-Узун	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–20	100	20	1.3·10 <sup>9</sup>
		SH (E)v	0.5–20	100	20	1.4·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	1.3·10 <sup>9</sup>
Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.5–20	100	20	2.3·10 <sup>5</sup>	
	SH (E)v	0.5–20	100	20	1.7·10 <sup>9</sup>	
	SH (Z)v	0.5–20	100	20	1.6·10 <sup>9</sup>	
Черемушки	Байкал-10+СМ-3-КВ	SH (N)v	1.2–14	100	16	8.3·10 <sup>8</sup>
		SH (E)v	1.2–14	100	16	6.7·10 <sup>8</sup>
		SH (Z)v	1.2–14	100	16	7.1·10 <sup>8</sup>
Чибит	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v	0.1–33	100	20	4.3·10 <sup>9</sup>
		SH (E)v	0.1–33	100	20	4.8·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.1–33	100	20	4.5·10 <sup>9</sup>
Эрзин	Байкал-11+СКМ-3	SH (N)v	0.5–20	100	20	1.5·10 <sup>9</sup>
		SH (E)v	0.5–20	100	20	1.7·10 <sup>9</sup>
		SH (Z)v	0.5–20	100	20	1.2·10 <sup>9</sup>

Название станции	Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с <sup>2</sup> )
Яйлю	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH(N, E)v SH(Z)v	0.5–14 0.5–14	100 100	20 20	1.3·10 <sup>10</sup> 1.7·10 <sup>10</sup>
Ростелеком	Байкал-11+СМ-3-КВ	SH (N)v SH (E)v SH (Z)v	0.4–20 0.4–20 0.4–20	100 100 100	20 20 20	* * *

Примечание. Символами «v» и «a» обозначены велосиграф и акселерограф соответственно; знаком \* отмечена станция, параметры которой не переопределялись.

На рис. 1 и 2 показаны карты энергетической представительности  $K_{min}$  землетрясений и погрешности  $\delta$ , км определения координат эпицентров.

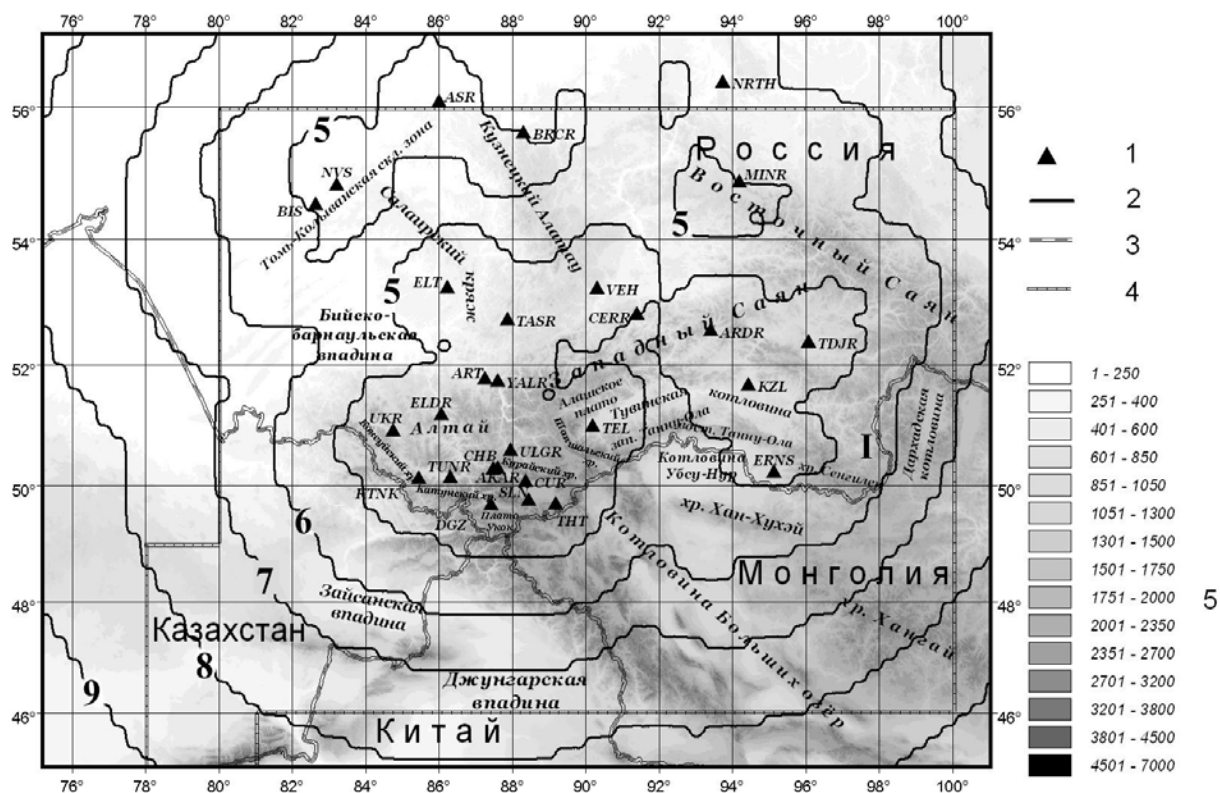


Рис. 1. Карта энергетической представительности  $K_{min}$  землетрясений Алтае-Саянского региона в 2004 г.

1 – сейсмическая станция; 2 – изолиния  $K_{min}$ ; 3 – государственная граница; 4 – граница зоны ответственности; 5 – высота рельефа  $h_y$ , м.

Увеличение числа станций в Чуйско-Курайской зоне в 2002–2004 гг. позволило в ней снизить уровень энергии представительных землетрясений. Для значительной территории Алтае-Саянской области и для Горного Алтая представительными стали землетрясения с  $K_{min} \geq 5.0$ . Для большей части территории без пропусков регистрируются землетрясения с  $K_{min} = 6.0$ . Лишь южные окраины Алтае-Саянской области характеризуются  $K_{min} = 7$ , а на территории Казахстана (юго-западный фрагмент зоны ответственности) –  $K_{min} = 8$ . Наибольшие изменения в карте представительности, по сравнению с таковой в 2003 г. [2], связаны с северной частью региона, где на представительность оказали влияние две новые станции – «Анжеро-Судженск» и «Железногорск».

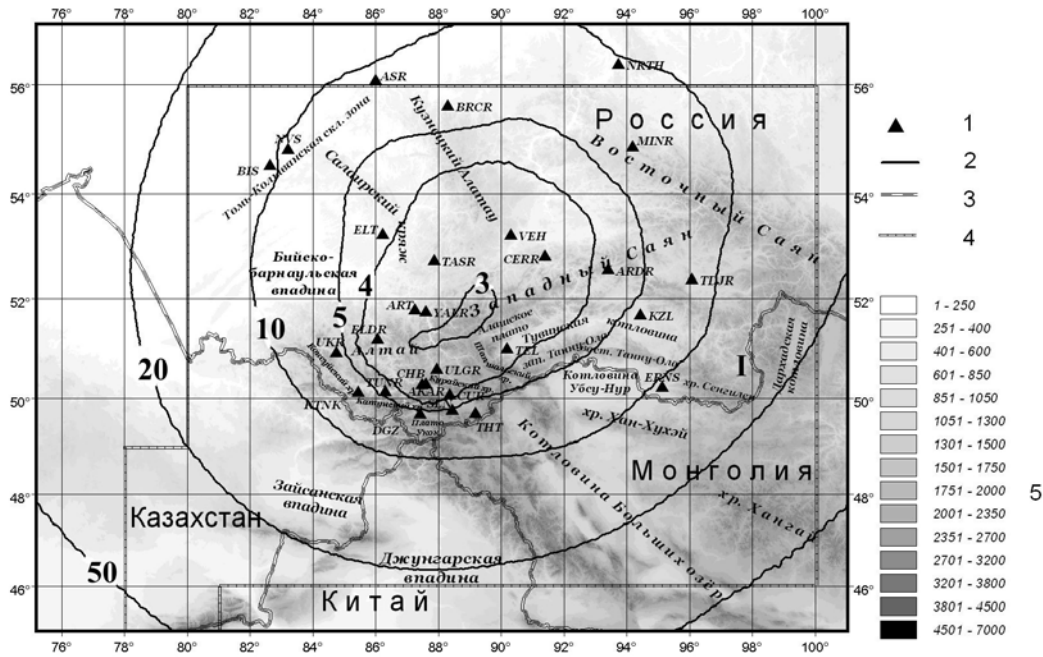


Рис. 2. Погрешность локализации эпицентров в 2004 г. на примере землетрясений с  $K_p=9$  (обозначения см. на рис. 1)

Карта погрешности  $\delta$  км определения координат эпицентров построена для землетрясений с  $K_p=9$  (рис. 2) по стандартной методике [3]. Для центральной части Алтая эта погрешность составляет  $\delta=3$  км. По мере удаления к краевым частям региона погрешность в локации эпицентров возрастает до  $\delta=20$  км. На рис. 3 представлен вариант расчета погрешности  $\delta$  по сети станций Алтайского сейсмологического полигона по ближним станциям, без привлечения записей далеких станций. Для эпицентральной области Чуйского землетрясения ошибка составила  $\delta=2$  км. Представленный вариант карты ошибок  $\delta$  характеризует погрешности локации за весь 2004 г. В отдельные периоды (в июле и октябре–ноябре) были установлены временные станции, что позволило существенно уменьшить ошибки в определении координат гипоцентров [4].

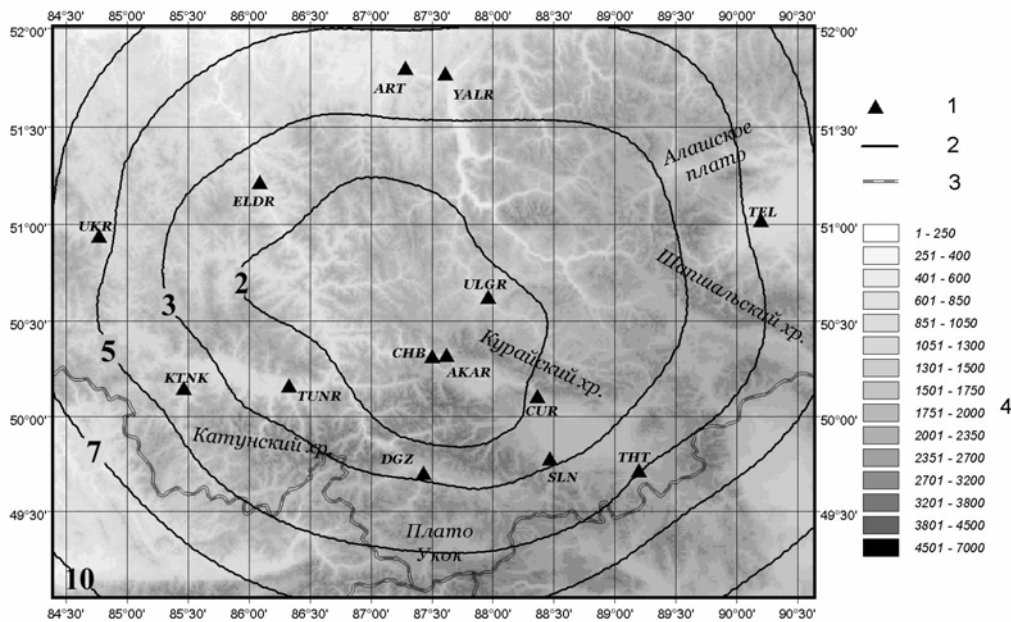


Рис. 3. Карта погрешности  $\delta$ , км локации эпицентров землетрясений по данным сети станций Алтайского сейсмологического полигона

Условные обозначения – на рис. 1.

В 2004 г. на территории Алтайского сейсмологического полигона в летний период с временными сетями станций продолжалось исследование афтершокового процесса Чуйского землетрясения [5, 6].

Афтершоковый процесс после Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с  $MS=7.3$ ,  $K_p=17.1$  [7] существенно увеличил число событий в 2004 г., которое составило 2951 (табл. 3). Полной обработки всех землетрясений 2004 г. на конец 2009 г. еще не сделано. В рассматриваемом в данной работе каталоге [8] представлена усеченная выборка землетрясений на уровне  $K_p \geq 7.6$ , которые достаточно детально отражают основные черты сейсмичности Алтае-Саянской горной области в 2004 г. На рис. 4 дана карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской горной области за 2004 г., распределение их по энергетическим классам – в табл. 3.

**Таблица 3.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам и суммарная сейсмическая энергия в регионе Алтай и Саяны в 2004 г.

$K_p$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$
$N$	3*	185*	1279*	878	352	153	61	27	12	1	2951	$2.124 \cdot 10^{13}$

Примечание. Знаком \* отмечены числа землетрясений с  $K_p < 7.6$ , которые могут в дальнейшем увеличиться (по мере дообработки записей слабых землетрясений).

Главным и центральным процессом в сейсмичности региона в 2004 г. является продолжение афтершокового процесса после Чуйского землетрясения. В 2004 г. зарегистрировано 12 землетрясений с  $K_p \geq 12$  и 27 – с  $K_p \geq 11$ , из более крупных землетрясений лишь одно с  $K_p=12.6$ , произошедшее 25 августа в  $21^h13^m$ . В пространстве наиболее крупные землетрясения сосредоточены по периферии Алтае-Саянской горной области, а именно: с запада от Зайсанской впадины, на Восточном Саяне, в очаговой зоне Агинского землетрясения 27.10.2000 г. с  $K_p=13.8$ ,  $Ms=5.7$  [9], в эпицентральной зоне Бусингольского землетрясения 27.12.1991 г. с  $K_p=16$ ,  $MS=6.5$  [10], на юго-восточной границе Котловины больших озер и в эпицентральной зоне Монгольского Алтая, активной перед Чуйским землетрясением.

Кроме продолжения серии афтершоков Чуйского землетрясения в 2004 г., усилилась сейсмичность в очаговой зоне Бусингольского землетрясения 27.12.1991 г., в которой с 1991 г. по настоящее время происходит пульсирующая активизация [11, 12].

На рис. 5 приведена карта эпицентров сейсмических событий 2004 г. в Чуйско-Курайской зоне. Главным образом это афтершоки. Афтершоковый процесс протекал в области, сформировавшейся в 2003 г. Поэлементное строение афтершоковой области, увязывающееся с блочным строением, просматривается и в 2004 г. Обособляется группа событий в блоке Чуйской впадины. Отдельно просматриваются афтершоки в Чаган-Узунском блоке.

Отличительной чертой является то, что самые крупные афтершоки приурочены к окраинам афтершоковой области, а очаговая область главного землетрясения заполнена афтершоками с малой энергией. На юго-восточном окончании афтершоковой области произошли события 1, 8, 13, зарегистрированные 16 января в  $21^h29^m$  с  $K_p=11.0$ , 5 февраля в  $00^h33^m$  с  $K_p=11.7$  и 11 марта в  $23^h15^m$  с  $K_p=11.2$  [8]. Во всех трех очагах доминирует подвижка типа сдвиг с присутствием взбросовой компоненты. К северо-западному окончанию афтершоковой области приурочены события 9, 18, 20, записанные 5 февраля в  $00^h33^m$  с  $K_p=11.9$ , 31 мая в  $13^h13^m$  с  $K_p=12.2$ , 20 мая в  $09^h28^m$  с  $K_p=10.6$  [8]. В двух из них доминирует сдвиговая подвижка, а в одном – сбросовая. Еще два землетрясения одиннадцатого энергетического класса относятся к собственно афтершоковому процессу, оба произошли на границе области афтершоков.

Другой особенностью сейсмичности Чуйско-Курайской зоны в 2004 г. является возникновение сейсмического процесса в геологических структурах, динамически сопряженных с афтершоковой областью. Крупные землетрясения происходят на границе Южно-Чуйского хребта с Джазаторской впадиной и в Северо-Чуйском хребте. Мелкие события группируются во внутренних областях Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов. Отмеченная активизация сопредельных структур вряд ли может рассматриваться как собственно афтершоковый процесс Чуйского землетрясения. Скорее всего происходит релаксация напряженного состояния из очаговой области в ближние структуры. Подвижки в очагах одной части крупных событий типа взброс, в другой – сдвиг.



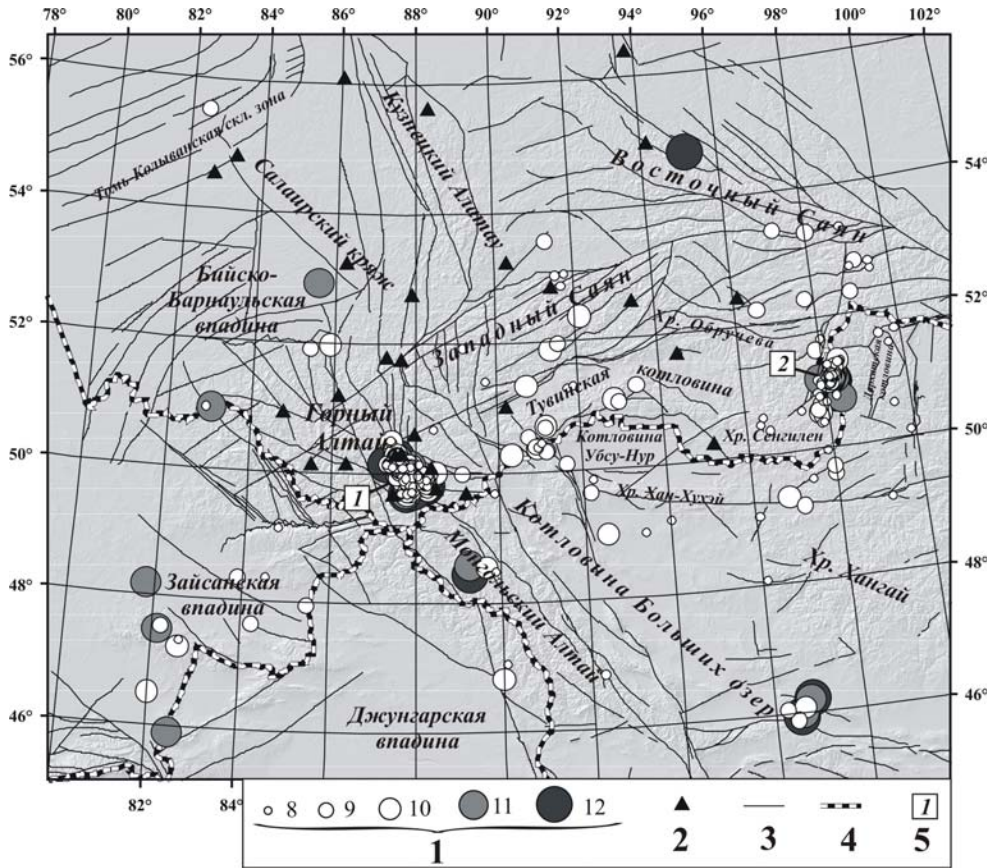


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской горной области в 2004 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – сейсмическая станция; 3 – активный разлом; 4 – государственная граница; 5 – номер структуры 1, 2 – Чуйско-Курайская зона и Бусингольская впадина соответственно.

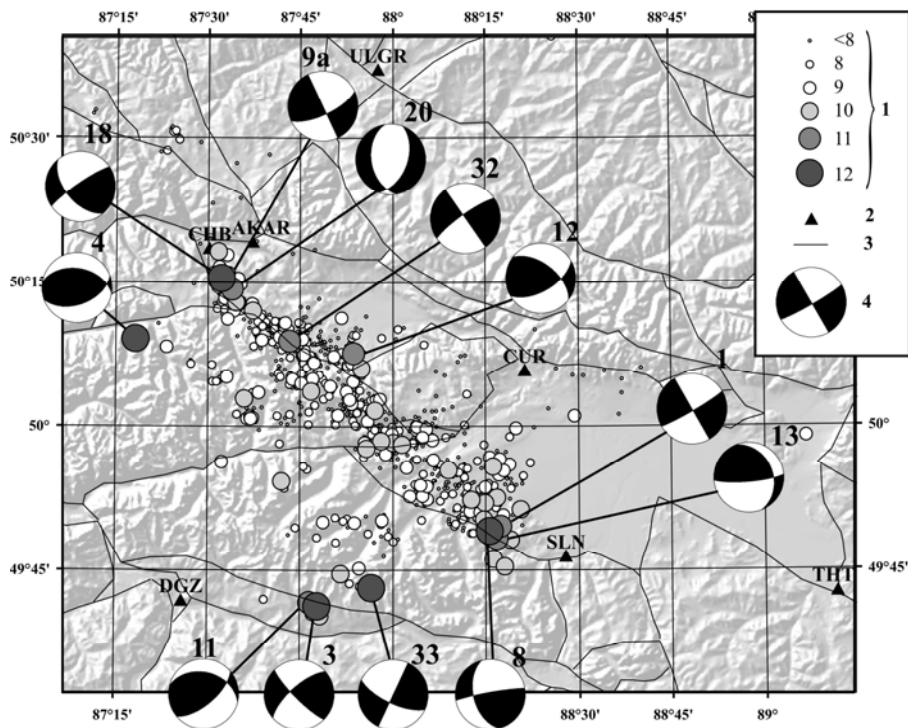


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений в Чуйско-Курайской зоне в 2004 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – сейсмическая станция; 3 – активный разлом; 4 – стереограмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу (цифры соответствуют номерам землетрясений в каталоге [8]).

На рис. 6 представлены данные о глубинах гипоцентров землетрясений 2004 г. в Чуйско-Курайской зоне. Представлены события с высокой точностью определения глубины. В этих данных использованы материалы как стационарных, так и временных станций.

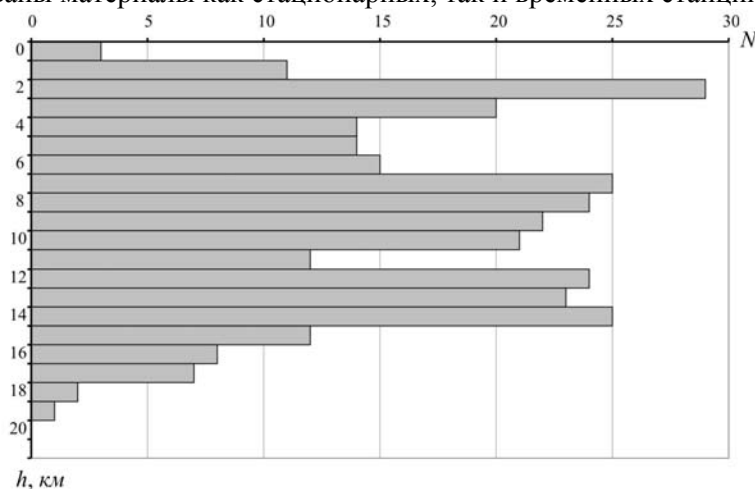


Рис. 6. Числа землетрясений Чуйско-Курайской зоны в 2004 г. на разных глубинах для событий с погрешностью  $\delta h < 1$  км

Как видим, все землетрясения происходят в верхней части земной коры на глубинах до 20 км. В 2004 г. выявлены три явных максимума в распределении землетрясений по глубине:  $h=2-4$  км,  $h=7-10$  км и  $h=12-15$  км. Трехмодальное распределение землетрясений по глубине наблюдалось по данным временных станций для афтершоков в 2003 и 2005 гг. [11].

На рис. 4 можно отметить, что землетрясения двенадцатого и одиннадцатого энергетического классов тоже, вероятнее всего, являются откликом на процессы релаксации напряженного состояния, но на ином уровне удалений от очага. Вероятно, в 2004 г. проявилось в сейсмичности региона два типа релаксации напряжений после Чуйского землетрясения. Первый тип связан с сейсмической активизацией блоков, смежных с очаговой областью, второй – с активизацией блоков на границе смены структур, когда изменение напряженного состояния передается через ряд блоков без их сейсмической активизации, возбуждает сейсмичность на значительном удалении от очага Чуйского землетрясения. Места, где произошли землетрясения с  $K_p=11-12$ , были, как правило, сейсмически активными, хотя бы на локальном интервале времени и перед Чуйским землетрясением.

Особый интерес вызывает сейсмический процесс в очаговой зоне Бусингольского землетрясения 27.12.1991 г., уникальный по длительности и характеру проявлений. Ранее было установлено, что активизация в ней имеет длительный ( $>15$  лет) и пульсирующий характер. В сейсмическую активизацию вовлечена рифтовая впадина и примыкающие к ней под углом разломы Шишхидского нагорья [12]. Отмеченные пульсации уровня сейсмичности в районе Бусингольского землетрясения со временем слабели и по числу событий, и по их энергии. Но в 2004 г. сейсмическая активность этой области оказалась вновь аномально высокой. Там зарегистрировано около 2000 землетрясений, из которых лишь четыре с  $M_c \geq 3.8$  (21 июля в 09<sup>h</sup>09<sup>m</sup> с  $K_p=11.4$ ,  $M_c=3.8$ ; в 12<sup>h</sup>39<sup>m</sup> с  $K_p=11.3$ ,  $M_c=3.9$ ; в 13<sup>h</sup>27<sup>m</sup>  $K_p=11.9$ ,  $M_c=4.5$ ; в 14<sup>h</sup>42<sup>m</sup> с  $K_p=11.1$ ,  $M_c=3.8$ ), остальные – более слабые. Таким образом очаговая область Бусингольского землетрясения отреагировала на Чуйское землетрясение существенным увеличением и числа, и энергии событий. В результате в 2004 г. в Алтае-Саянской горной области оказались активизированными две геологические структуры: Чуйско-Курайская и Бусингольская.

Для Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН оказалось невозможным быстро обработать все записи землетрясений 2004 г. Пока обработаны лишь землетрясения с  $K_p \geq 7.6$ . Большой вклад в обработку землетрясений Белино-Бусингольской очаговой зоны внесли сотрудники Байкальского филиала ГС СО РАН. Все результаты по этой зоне получены по записям землетрясений в сетях станций обоих филиалов, что обеспечивает существенное повышение точности локализации эпицентров.



Ниже рассматриваются наиболее крупные землетрясения 2004 г. в Бусингольской впадине. На рис. 7 представлена карта эпицентров крупных землетрясений 2004 г. и других лет с известными механизмами очагов.

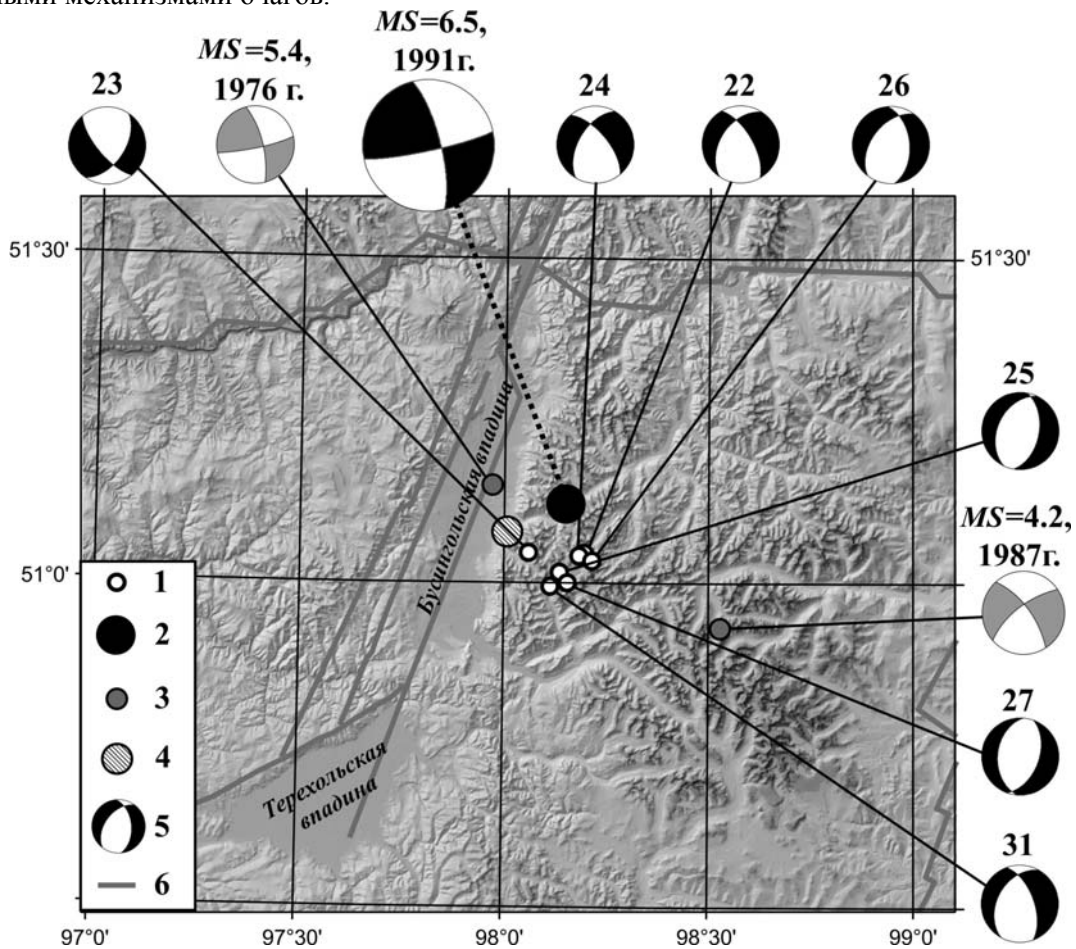


Рис. 7. Механизмы очагов сейсмических событий в Бусингольской впадине и ее горном обрамлении

1 – землетрясения в июле 2004 г. с  $MS > 4$ ; 2 – Бусингольское землетрясение 27.12.1991 г.; 3 – землетрясение 1976 г.; 4 – палеоземлетрясение (сброс, возраст более 500 лет); 5 – стереограмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу (номера землетрясений соответствуют таковым в каталоге [8]); 6 – разлом.

Эпицентры всех землетрясений 2004 г. расположены южнее Бусингольского землетрясения. Как следует из приведенных на рис. 7 стереограмм, в очагах всех событий 2004 г. имели место подвижки типа сброс, в то время как в очаге главного толчка Бусингольского землетрясения произошел сдвиг. На этом же рисунке нанесен эпицентр исторического (более 500 лет тому назад) землетрясения с подвижкой типа сброс [13]. В очаге землетрясения 01.04.1976 г. с  $M=5.5$  [14] была сдвиговая подвижка [12]. Изменение типа подвижек в очагах землетрясений в Белино-Бусингольской зоне при небольшом смещении их координат замечено и до Бусингольского землетрясения [15]. Как уже отмечалось в [12], сейсмическая активизация, вызванная Бусингольским землетрясением, приурочена к сложным геологическим структурам, состоящим из рифтовой впадины и примыкающих к ней блоков горного обрамления. При этом активное участие в сейсмической активизации принимают то одни, то другие разломы. В связи с этим наблюдается время от времени смена механизмов очагов землетрясений. Как можно видеть, главное событие 1991 г. произошло в долине, пересекающей Шишихидское нагорье, а землетрясения 2004 г. приурочены к внутренней части горного массива, вблизи вершины с высотой 3009 м. Пространственное смещение привело к изменению механизмов очагов событий. Активизация Бусингольской зоны в 2004 г. еще раз подтвердила, что в затянувшемся во времени афтершоковом процессе Бусингольского землетрясения существенную роль играет блочное строение этой зоны. Происходит смещающийся в пространстве процесс активизации то одних блоков, то других, поддерживаемый активизацией самой Бусингольской впадины.

На рис. 8 представлен график повторяемости землетрясений за 2004 г., построенный по неполным данным, т.к. слабые землетрясения с  $K_p < 7.6$  обработаны не полностью. График сохраняет угол наклона  $\gamma = -0.376$ , отмеченный в 2003 г. до Чуйского землетрясения, который ниже средних годовых значений за период до 2003 г.

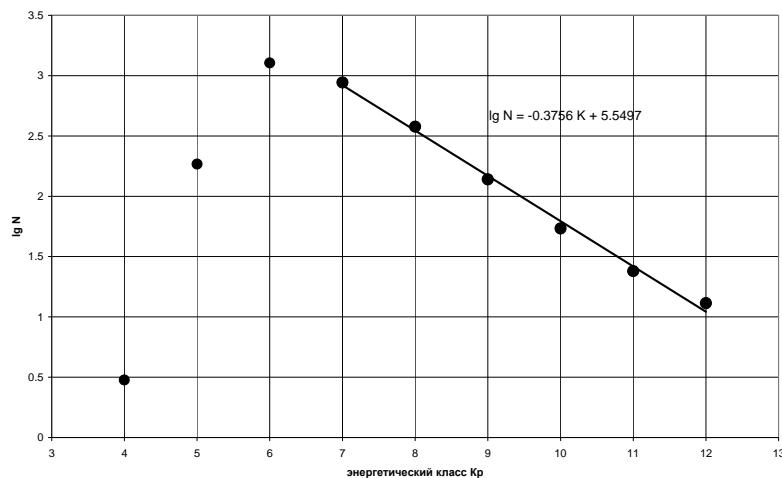


Рис. 8. График повторяемости землетрясений Алтая и Саян за 2004 г.

В заключение отметим основные результаты по изучению сейсмичности Алтае-Саянской горной области в 2004 г.:

- наиболее сейсмически активизированы эпицентральные зоны землетрясений Чуйского 27.09.2003 г. с  $MS=7.3$  [7] и Бусингольского 27.12.1991 г. с  $MS=6.5$  [10];
- афтершоковый процесс после Чуйского землетрясения в 2004 г. обладал следующими особенностями: наиболее крупные афтершоки происходили на северо-западном и юго-восточном концах афтершоковой области; по слабым афтершокам активна вся очаговая область Чуйского землетрясения с выраженной поэлементной структурой, увязывающейся с блочным строением данной области;
- отмечена активизация участков Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов, т.е. структур, сопредельных с афтершоковой областью структур;
- наиболее крупные землетрясения сосредоточены по периферии Алтае-Саянской горной области, а именно: с запада от Зайсанской впадины, на Восточном Саяне, в очаговой зоне Агинского землетрясения 27.10.2000 г. с  $K_p=13.8$ ,  $M_c=5.7$  [9], в очаговой зоне Бусингольского землетрясения 27.12.1991 г. с  $MS=6.5$  [10], на юго-восточной границе Котловины больших озер и в эпицентральной зоне Монгольского Алтая, активной перед Чуйским землетрясением;
- в районе Бусингольского землетрясения произошла очередная активизация сейсмичности, которая по уровню суммарной энергии существенно превосходит предыдущие пульсации активности, существующие в этой зоне с 1991 г.;
- можно утверждать, что сейсмичность Алтае-Саянской горной области в 2004 г. определяется воздействием на нее Чуйского землетрясения. В активной эпицентральной зоне первый уровень активизации локализован в зоне афтершоков, второй – в окраинных структурах Алтае-Саянской горной области.

#### Л и т е р а т у р а

1. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2004.** – Berkshire: ISC, 2006–2007.
2. **Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В.** Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 139–148.
3. **Фатеев А.В., Филина А.Г., Кабанник А.В.** Представительность и точность определения параметров эпицентров в АСОМСЭ СО РАН // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы Международной геофизической конференции, г. Новосибирск, 15–19 сентября 2003 г. – Новосибирск: СО РАН, 2003. – С. 145–150.

4. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Фатеев А.В., Сёмин А.Ю.** Сейсмический мониторинг Алтае-Саянской горной области Алтае-Саянским филиалом ГС РАН // Землетрясения России в 2005 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 53–60.
5. **Арефьев С.С., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Матвеев И.В., Михин А.Г., Молотков С.Г., Плетнёв К.Г., Погребченко В.В.** Очаг и афтершоки Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 года // Физика Земли. – 2006. – № 2. – С. 85–96.
6. **Дягилев Р.А., Баранов Ю.В.** Результаты сейсмологических наблюдений на Алтайском сейсмологическом полигоне в 2003–2005 гг. // Землетрясения России в 2005 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 61–62.
7. **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  $M=7.3$ ,  $K_p=17.1$  (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 326–343.
8. **Филина А.Г., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В. (отв. сост.), Данциг Л.Г., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Денисенко Г.А., Шевкунова Е.В., Кузнецова Е.В.** Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. **Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В.** Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 133–143.
10. **Филина А.Г.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 38–39.
11. **Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Корабельщиков Д.В., Шатрова Н.В.** Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии в 2002 году. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 175–184.
12. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И.** Геодинамические и техногенные процессы в сейсмичности Алтае-Саянской горной области. Раздел II / Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. – Новосибирск: СО РАН, 2008. – С. 176–266.
13. **Чернов Г.А.** К изучению сейсмогеологии и неотектоники Алтае-Саянской горной области // Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 26–35.
14. **Филина А.Г., Цибульчик И.Д.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1976 году. – М.: Наука, 1980. – С. 43–45.
15. **Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Балжинням И.** Юго-западная граница Байкальской рифтовой зоны по данным о механизмах очагов землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 1983. – № 2. – С. 74–83.