

Алтай и Саяны

¹А.Ф. Еманов, ^{1,2}А.А. Еманов, ^{1,2}А.В. Фатеев, ¹Е.В. Шевкунова, ¹В.Г. Подкорытова,
¹А.А. Дураченко, ¹Д.Г. Корабельщиков, ¹С.А. Чурашев

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск; ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Сейсмическая сеть Алтае-Саянского региона состояла из 57 станций Алтае-Саянского филиала (АСФ) ФИЦ ЕГС РАН. Местоположение станций показано на рис. I.13, данные о станциях представлены в табл. I.13. Кроме того, 27 временных сейсмических станций локальных сетей [1–3] привлекались для более детального изучения активизированных структур в отдельных областях региона, в т.ч.: 12 временных станций – на юго-востоке Республики Горный Алтай (Алтайский сейсмологический полигон), четыре – в эпицентральной области Бачатского землетрясения, пять – в эпицентральной области Калтанского землетрясения, четыре – в районе Краснобродского угольного разреза и две станции – в эпицентральной области Колыванского землетрясения

В 2018 г. в составе сети сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН произошли изменения относительно 2017 г. [4]. В сентябре были открыты три станции – KALT1, KALT2 и KALT3 (табл. I.13). Произведена замена аппаратуры на следующих станциях: BJR1 (регистратор CMG-DAS-U-S6 – на Байкал-8.1), BJR4 (акселерометр CMG-5T – на Guralp Fortis), ERU (регистратор CMG-DAS-U-S6 – на Байкал-8.1), TDJR (регистратор Байкал-11 – на Байкал-8.1), VEN (регистратора Байкал-11 – на Байкал-8.1). На станции TEL произведена полная замена оборудования – сняты регистратор Байкал-11, датчики СКМ и СКД, установлены регистратор Байкал-8.1, велосиметр CM-3KB и акселерометр CMG-5T (табл. I.13).

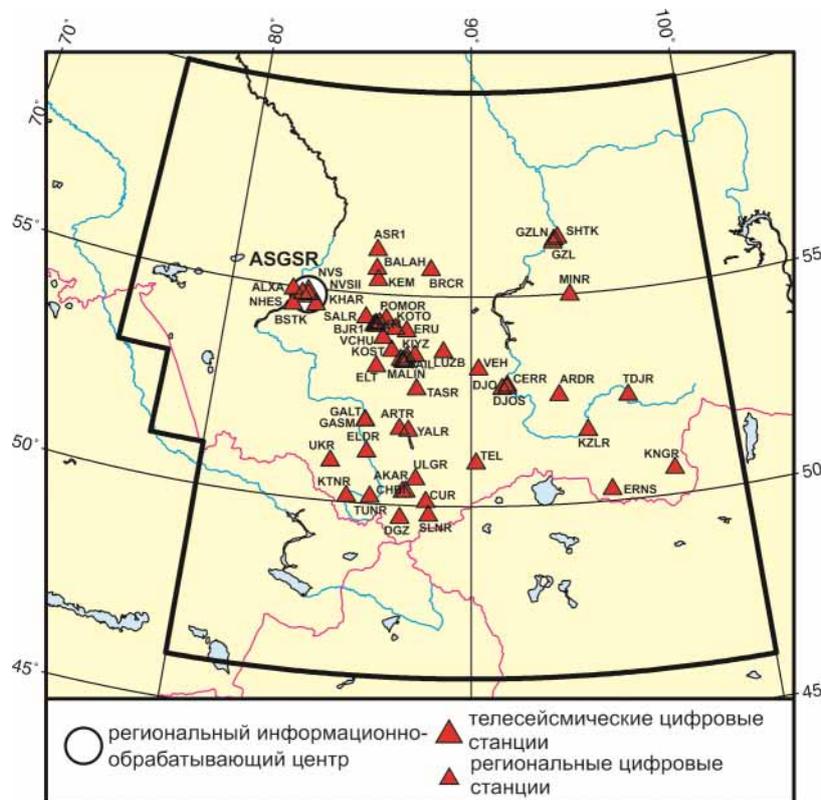


Рис. I.13. Стационарные сейсмические станции в Алтае-Саянском регионе в 2018 г.
Черный шрифт – международные коды центра и станций

Таблица I.13. Сведения о стационарных сейсмических станциях АСФ ФИЦ ЕГС РАН (сеть ASGSR)

№	Сейсмическая станция			Дата открытия– закрытия (модернизации ¹)	Координаты и высота над уровнем моря			Подпочва	Тип оборудования
	название	код			φ, °N	λ, °E	h, м		
		международный	региональный						
1	Акташ	AKAR	AKAR	25.09.1985; 02.01.2001	50.325	87.621	1421	Эффузивы	CMG-3ESPCD
2	Алексеевка	ALXA	ALXA	28.02.2012	54.930	82.587	133		CMG-3ESPCD
3	Анжеро-Судженск-1	ASR1	ASR1	22.02.2011	56.068	85.991	262	Осадочные породы	СМЕ-4011+ Байкал-11
4	Арадан* ²	ARDR	ARDR	06.08.1992 (26.12.2016)	52.580	93.428	958	Гранит	CMG-5Т, CMG-6Т +Байкал-8.1
5	Артыбаш	ARTR	ART	26.07.1980	51.798	87.281	511	Коренные породы	CMG-3ESPCDE
6	Балахонка*	BALAH	BALAH	29.12.2014	55.611	86.017	172		CMG-5Т, CMG-6Т +CMG-DAS-U-S6
7	Бачатский-1*	BJR1	BJR1	01.12.2014 (12.09.2018)	54.238	86.040	363		CMG-5Т, CMG-6Т +CMG-DAS-U-S6; CMG-5Т, CMG-6Т +Байкал-8.1
8	Бачатский-2*	BJR2	BJR2	27.11.2014	54.281	86.127	301		CMG-5Т, CMG-6Т +Байкал-8.1
9	Бачатский-3*	BJR3	BJR3	05.12.2014	54.225	86.156	226		CMG-5Т, CMG-6Т +Байкал-8.1
10	Бачатский-4*	BJR4	BJR4	03.12.2014 (18.04.2018)	54.301	86.275	221		CMG-5Т, CMG-6Т +Байкал-8.1; Guralp Fortis, CMG-6Т+ Байкал-8.1
11	Берчикуль*	BRCR	BRCR	23.09.1999 (2013)	55.635	88.299	381	Сланцы	СМ-3КВ, CMG-5Т+ Байкал-8.1; CMG-3ESPCDE
12	Быстровка-2*	BSTK	BST	10.04.2002 (30.03.2016)	54.568	82.653	121	Осадочные породы	CMG-3ESPCD; СМ-3КВ, CMG-5Т+ Байкал-8.1
13	Верх-База*	VEN	VEN	05.03.1967 (08.03.2018)	53.255	90.299	550	Гранит	СКМ, CMG-5Т+ Байкал-11; СКМ, CMG-5Т+ Байкал-8.1
14	Верх-Чумыш*	VCHU	VCHU	20.06.2015	53.955	86.442	351		CMG-5Т, CMG-6Т +CMG-DAS-U-S6
15	Горно-Алтайск*	GALT	GATR	27.08.2012	51.959	85.946	303		СМ-3КВ, CMG-5Т+ Байкал-8.1
16	Горно-Алтайск* (Администрация)	GASM	GASM	18.10.2017	51.959	85.960	298		A1638+ Байкал-8.2
17	Джазатор*	DGZ	DGZ	20.08.2003 (19.08.2016)	49.701	87.432	1606	Гранит	CMG-3ESPCDE +DM24; CMG-5Т+ Байкал-8.1

¹ показана дата последней модернизации, предыдущие см. в [4].

² * – на станции установлен прибор сильных движений.

№	Сейсмическая станция			Дата открытия– закрытия (модерни- зации ¹)	Координаты и высота над уровнем моря			Подпочва	Тип оборудования
	название	код			φ, °N	λ, °E	h, м		
		между- народный	регио- нальный						
18	Джой*	DJO	DJO	10.01.2012 (09.01.2017)	52.782	91.218	553		CMG-5T, CMG-3ESP+ CMG-DAS-U-S6;
19	Джойская Сосновка*	DJOS	DJOS	03.02.2011 (2013)	52.795	91.398	569		CMG-5T, CMG-6T +Байкал-8.1
20	Еланда (Эланда)	ELDR	ELDR	27.08.1980– 01.12.1993; 04.10.2002 (28.07.2017)	51.217	86.090	472	Гранит	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
21	Ельцовка*	ELT	ELT	05.07.1962 (2013)	53.261	86.239	235	Эффузивы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1; CMG-3ESPCDE+ DM24
22	Ерунаковская*	ERU	ERU	20.06.2015 (17.08.2018)	54.140	87.384	358		CMG-5T, CMG-6T +CMG-DAS-U-S6; CMG-5T, CMG-6T +Байкал-8.1
23	Железногорск*	GZL	GZL	29.08.2002	56.265	93.542	165	Осадочные породы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
24	Железногорск-2*	GZLN	GZLN	24.12.2012	56.383	93.767	212		СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
25	Железногорск-3*	SHTK	SHTK	21.12.2012	56.333	93.605	150		СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
26	Кайтанак	KTNR	KTNK	18.05.2001	50.145	85.465	1031	Осадочные породы	СМ-3КВ+ Байкал-11
27	Калтан-1*	KALT1	KALT1	15.09.2018	53.416	87.423	308		SeisMonitor A1638+ Байкал-8.2
28	Калтан-2*	KALT2	KALT2	16.09.2018	53.400	87.324	301		SeisMonitor A1638+ Байкал-8.2
29	Калтан-3*	KALT3	KALT3	14.09.2018	53.513	87.439	331		SeisMonitor A1638+ Байкал-8.2
30	Кемерово	KEM	KEM	19.05.2005	55.343	86.089	133	Осадочные породы	СМ-3КВ, СКД+ Байкал-8
31	Кийзас*	KIYZ	KIYZ	26.12.2014	53.558	87.759	247		CMG-5T, CMG-6T +CMG-DAS-U-S6
32	Костёнково*	KOST	KOST	31.08.2015	53.651	86.822	325		CMG-5T, CMG-6T +CMG-DAS-U-S6
33	Котино*	KOTO	KOTO	25.02.2016	54.187	86.923	279		CMG-5TDE+ DM24mk3, CMG-6TD+CD24
34	Кунгуртуг*	KNGR	KNGR	04.03.2012	50.604	97.517	1314	Коренные породы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
35	Кызыл*	KZLR	KZL	15.03.2001	51.705	94.454	603	Щебень	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-11

Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России

№	Сейсмическая станция		Дата открытия– закрытия (модернизации ¹)	Координаты и высота над уровнем моря			Подпочва	Тип оборудования	
	название	код		φ, °N	λ, °E	h, м			
		международный	региональный						
36	Лужба	LUZB	LUZB	01.12.2006	53.661	88.900	489	Осадочные породы	СМ-3КВ, СКМ+ Байкал-11
37	Малиновка*	MALIN	MALI	01.11.2010	53.421	87.276	233	Осадочные породы	СМГ-5ТДЕ; СМГ-5Т+ Байкал-8.1
38	Мина*	MINR	MINR	29.07.1985 (2013)	54.978	94.127	544	Осадочные породы	СКМ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
39	Новосибирск*	NVS	NVS	10.11.1965 (2013)	54.841	83.234	168	Кварцитовая жила	СМГ-3ЕСРСД; СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
40	Новосибирск-2	NVSI	NVSI	01.01.2013	54.842	83.237	159	Коренные породы	СМГ-3ЕСРСДЕ
41	Новосибирская ГЭС	NHES	NHES	28.02.2012	54.855	82.985	121	Осадочные породы	СМГ-3ЕСРСД
42	Поморцево*	POMOR	POMOR	19.05.2014	54.407	86.526	215		СМГ-5Т, СМГ-6Т+СМГ-DAS-U-S6
43	Салаир	SALR	SAL	02.03.2005	54.417	85.703	250		СМ-3КВ, СКД+ Байкал-11
44	Солонешенская*	SLNR	SLN	18.10.2003	49.777	88.467	2057	Осадочные породы	СМ-3КВ, ОСП+ Байкал-11
45	Тайлеп*	TAIL	TAIL	29.12.2015	53.448	87.197	245		СМГ-5ТДЕ
46	Таштагол	TASR	TASR	01.09.1988	52.762	87.880	529	Осадочные породы	СМ-3КВ+ Байкал-11
47	Тоджа	TDJR	TDJR	25.07.1980–31.12.1994; 01.03.2001 (28.07.2018)	52.453	96.093	1000	Коренные породы	СКМ+ Байкал-11; СКМ+ Байкал-8.1
48	Тээли*	TEL	TEL	01.10.1971 (05.03.2018)	51.024	90.195	992	Эффузивы	СКМ, СКД+ Байкал-11; СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
49	Тюнгур	TUNR	TUNR	01.10.1980–01.11.1993; 01.08.1998	50.163	86.317	864	Гранит	СКМ+ Байкал-11
50	Улаган*	ULGR	ULGR	28.07.2002	50.623	87.961	1239	Коренные породы	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
51	Усть-Кан	UKR	UKR	02.09.1963 (2013)	50.940	84.769	1057	Эффузивы	СКМ, СКД+ Байкал-8; СМГ-3ЕСРСДЕ
52	Харино	KHAR	KHAR	10.09.2011	54.613	83.590	130	Осадочные породы	СМГ-3ЕСРСДЕ
53	Чаган-Узун*	CUR	CUR	19.12.1963–31.05.1985; 13.02.2002 (2013)	50.101	88.358	1740	Коренные породы	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1; СМГ-3ЕСРСД
54	Черёмушки*	CERR	CERR	05.09.1990 (20.12.2016)	52.856	91.416	390	Сланцы	СМГ-5Т, СМГ-3ЕСР + СМГ-DAS-U-S6
55	Чибит*	CHBI	CHB	03.10.2003	50.313	87.503	1164	Сланцы	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1

№	Сейсмическая станция		Дата открытия–закрытия (модернизации ¹)	Координаты и высота над уровнем моря			Подпочва	Тип оборудования
	название	код		φ, °N	λ, °E	h, м		
международный		региональный						
56	Эрзин*	ERNS	ERNS	03.06.1964 (04.05.2017)	50.265	95.161	1110	Коренные породы СМГ-6Т, СМГ-5Т+Байкал-8.1
57	Яйлю*	YALR	YALR	19.07.2002 (23.07.2017)	51.769	87.611	451	Коренные породы СМ-3КВ, СМГ-5Т+Байкал-8.1

Примечание – * – на станциях установлены приборы сильных движений.

Обработка цифровых данных, как и в предыдущие годы [4], проводилась с использованием системы SeisComp3 [5, 6]. Определение энергетических характеристик и положения эпицентра производилось с помощью программы LocSat [7] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI91 [8], для зоны Кузбасса использовалась также программа Нуто71. Энергия событий представлена в локальных магнитудах ML [9].

Полный каталог сейсмических событий в регионе в 2018 г. содержит сведения о 17315 сейсмических событиях в энергетическом диапазоне $-0.6 \leq ML \leq 5.6$, включая землетрясения и промышленные взрывы, в том числе и данные регистрации временными сетями станций. Около 63% зарегистрированных событий являются промышленными взрывами (8026 – в энергетическом диапазоне $0.2 \leq ML \leq 4.2$), наиболее сильные из которых с $ML=4$ лоцируются в карьерах вблизи г. Абакана (Черногорский карьер). По количеству взрывов в карьерах и шахтах в регионе доминирует Кузбасс (около 75% от всех зарегистрированных взрывов). Всего в 2018 г. было зарегистрировано 6418 землетрясений. Распределение количества сейсмических событий в зависимости от их магнитуды и типа представлено в таблице I.14.

Таблица I.14. Количество сейсмических событий в зависимости от магнитуды ML и типа

ML	-0.5	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	Всего
Землетрясения	38	442	1396	1787	1155	803	485	177	84	30	10	10	1	6418
Взрывы	0	1	18	85	1462	5201	3625	401	90	14	0	0	0	10897
Всего	38	443	1414	1872	2617	6004	4110	578	174	44	10	10	1	17315

Каталоги сейсмических событий Алтае-Саянского региона по данным сети ASGSR в настоящем ежегоднике представлены 545 землетрясениями со значения предельной магнитуды $ML \geq 2.5$ ($M=1.5-4.1$ ($ML=2.5-5.6$)) и 1631 промышленным взрывом с $M=1.6-2.9$ ($ML=2.6-4.1$) [10, 11].

На основе каталога землетрясений [10] построена карта эпицентров землетрясений (рис. I.14). Печатные варианты каталогов содержат параметры 108 землетрясений с $M \geq 2.3$ [12] и 88 взрывов с $M \geq 2.3$ [13].

Самое сильное землетрясение в регионе в 2018 г. с $M=4.1$ ($ML=5.6$) произошло 21 мая в 13^h07^m в районе озера Ала-Коль в Восточном Казахстане. Еще два землетрясения с $ML > 5$ зарегистрировано в районе хребта Тарбагатай и в Монгольском Алтае 15 мая в 01^h25^m $M=3.8$ ($ML=5.2$) и 30 июля в 04^h59^m с $M=3.7$ ($ML=5.1$) соответственно (рис. I.14).

По-прежнему относительно высокая сейсмическая активность наблюдается в Чуйско-Курайской зоне. Самое сильное за этот год землетрясение с $M=3.4$ ($ML=4.8$) произошло в горах Северо-Чуйского хребта 11 июля в 01^h29^m. Повышенная сейсмическая активность наблюдалась также в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. и в Белино-Бусингольской зоне на востоке региона.

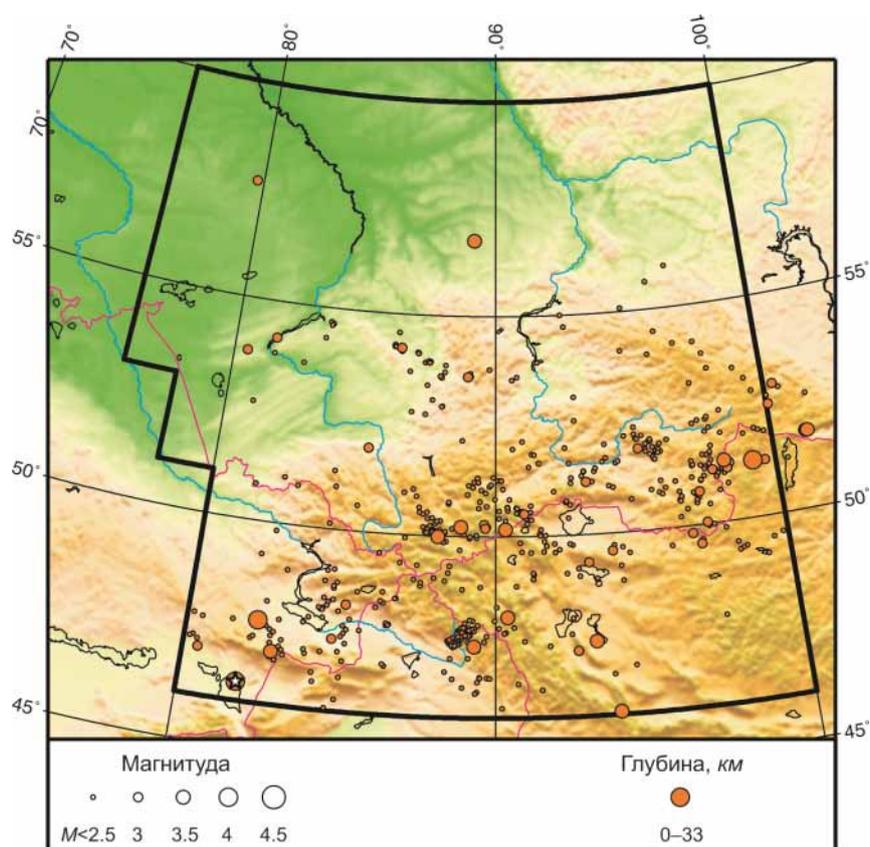


Рис. 1.14. Карта эпицентров землетрясений в Алтае-Саянском регионе в 2018 г.
 Звездочкой показано самое сильное землетрясение в регионе

Еще одна концентрация сейсмической активности наблюдается в Айгулакском хребте, где за год зафиксировано около 700 землетрясений, максимальная магнитуда была отмечена 1 июня и составила $M=2.4$ ($ML=3.6$). В Западном Саяне, в районе Шапшальского хребта, в сравнении с 2017 г. [4], общее количество произошедших землетрясений выросло почти в 2 раза и составило около 600 событий.

Помимо природной сейсмичности, ярко проявляют себя зоны техногенной сейсмичности Кемеровской области. Самое сильное землетрясение в Кузбассе произошло в районе Краснобродского угольного разреза 13 января в 20^h39^m с $M=2.8$ ($ML=4.0$). В эпицентральной области Бачатского землетрясения 2013 г. в Кузбассе, в которой в 2018 г. были продолжены наблюдения с привлечением сети временных станций, произошло около 500 землетрясений [2]. Самое сильное землетрясение зарегистрировано 25 ноября в 00^h00^m с $M=2.5$ ($ML=3.7$). Не стихает сейсмическая активность вблизи Калтанского и Осинниковского угольных разрезов. Количество землетрясений, которое позволила зафиксировать здесь временная сеть станций, достигло 1200 [3]. Землетрясение с наибольшей магнитудой $M=2.4$ ($ML=3.5$) в этом районе произошло 2 мая в 01^h47^m.

Сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2018 г. была ниже, чем в 2017 г. [4]. Одновременно с понижением количества выделенной сейсмической энергии в Алтае-Саянской горной области в целом наблюдается повышение таковой в центральной части Горного Алтая [1]. Происходит развитие отмеченной в предыдущие годы [14] активизации тектонических структур вокруг эпицентра Чуйского землетрясения 2003 года.

На рис. 1.15 показана гистограмма суммарной сейсмической энергии, выделенной в Алтае-Саянском регионе в 2014–2018 гг. (по данным [4, 10]). Уровень сейсмичности региона в 2018 г. согласно шкале «СОУС'09» [15] оценен как «фоновый пониженный» за 57-летний период наблюдений (с 1962 по 2018 г.) [16].

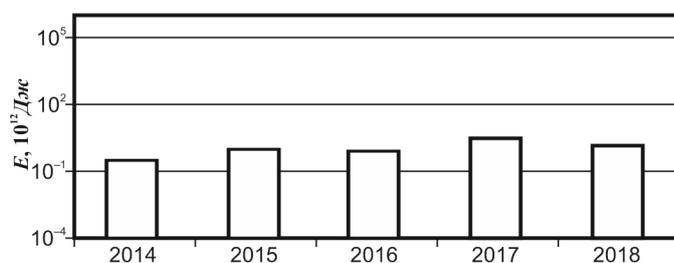


Рис. 1.15. Распределение сейсмической энергии, выделившейся в Алтай-Саянском регионе в 2014–2018 гг.

Литература

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В. Результаты детального сейсмического мониторинга. Чуйско-Курайская зона Горного Алтая // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 117–120.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В. Результаты детального сейсмического мониторинга. Наблюдения временными сетями. Бачатский угольный разрез (Кузбасс) // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 121–123.
3. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В. Результаты детального сейсмического мониторинга. Наблюдения временными сетями. Калтанский угольный разрез и шахта «Алардинская» // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 124–126.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Дураченко А.А., Коробельщиков Д.Г., Чурашев С.А., Гончаров В.Н. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 34–40.
5. Weber B., Becker J., Hanka W., Heinloo A., Hoffmann M., Kraft T., Pahlke D., Reinhardt J., Thoms H. SeisComp3 – automatic and interactive real time data processing // Geophys. Res. Abstracts in EGU General Assembly. – 2007. – Vol. 9, N 09219.
6. Hanka W., Saul J., Weber B., Becker J., Harjadi P., Fauzi and Gitews Seismology Group. Real-time earthquake monitoring for tsunami warning in the Indian Ocean and beyond // Natural Hazards and Earth System Science. – 2010. – Vol. 10, Is. 12. – P. 2611–2622.
7. Bratt S.R., Bache T.C. Locating events with a space network of regional arrays // Bull. Seism. Soc. Am. – 1988. – Vol. 78. – P. 780–798.
8. IASPEI 1991 Seismological Tables / Ed. B.L.N. Kennett. – Research School of Earth Sciences, Australian National University, 1991. – 167 p.
9. New manual of seismological observatory practice (NMSOP-2) // Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein [Web Site] / Ed. P. Bormann. – 2012. – URL: <http://bib.telegrafenberg.de/publizieren/vertrieb/nmsop/>.
10. Part_IV-2018. 04_Altai-and-Sayan Mountains_2018.xls // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
11. Part_V-2018. Catalogs_explosions_2018.xls // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
12. Подкорытова В.Г. (отв. сост.); Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 145–146.
13. Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 183–192.
14. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В. Об изменении сейсмического режима в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 1963–2016 гг. // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 41–45.
15. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
16. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.Г., Воронаев П.В. Качественный анализ сейсмичности. Оценка уровня сейсмичности регионов России // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 82–87.