

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, ¹Е.А. Гладышев

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.12. Кроме того, 21 временная сейсмическая станция локальных сетей [1, 2] привлекалась для более детального изучения активизированных структур в отдельных областях региона, в т.ч.: 12 станций – на юго-востоке Республики Горный Алтай (Алтайский сейсмологический полигон), три – в эпицентральной области Бачатского землетрясения, четыре – в районе Краснобродского угольного разреза, две станции – в эпицентральной области Колыванских землетрясений.

В 2019 г. в составе сети сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН произошли изменения относительно 2018 г. [3]. В январе и мае были закрыты две станции – «Алексеевка» (ALXA) и «Анжеро-Судженск-1» (ASR1). Произведена замена аппаратуры на следующих станциях: BRCR, KNGR (регистратор Байкал-8.1 на Байкал-8.2), TАСR (регистратор Байкал-11 на Байкал-8.2). На станции TUNR в конце декабря 2018 г. была произведена полная замена оборудования – установлены регистратор Байкал-8.2, велосиметр СМ-3КВ и акселерометр СМГ-5Т (табл. I.12).

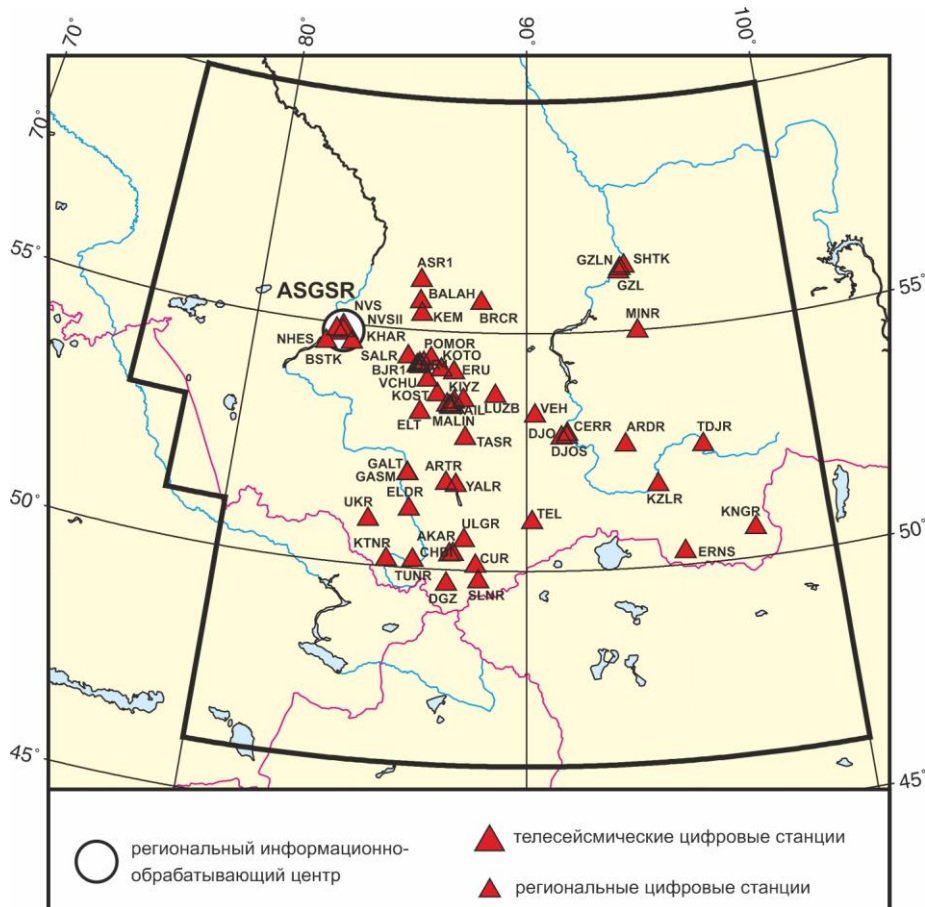


Рис. I.13. Стационарные сейсмические станции в Алтае-Саянском регионе в 2019 г.
 Черный шрифт – международные коды центра и станций

Таблица I.12. 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	28.02.2012–17.01.2019	54.930	82.587	133		CMG-3ESPCD
3	Анжеро-Судженск-1	ASR1	ASR1	22.02.2011–06.05.2019	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 +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		Guralp Fortis, CMG-6Т+ Байкал-8.1
11	Берчикуль	BRCR	BRCR	23.09.1999 (2013) (14.06.2019)	55.635	88.299	381	Сланцы	СМ-3КВ, CMG-5Т+ Байкал-8.1, CMG-3ESPCDE; СМ-3КВ+ Байкал-8.2; 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-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 [3].

² * – на станции установлен прибор сильных движений.

№	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						
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 +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		A1638+ Байкал-8.2
28	Калтан-2*	KALT2	KALT2	16.09.2018	53.400	87.324	301		A1638+ Байкал-8.2
29	Калтан-3*	KALT3	KALT3	14.09.2018	53.513	87.439	331		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 (07.09.2019)	50.604	97.517	1314	Коренные породы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1; СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.2
35	Кызыл*	KZLR	KZL	15.03.2001	51.705	94.454	603	Щебень	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-11

№	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-ДАС-У-56
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 (07.03.2019)	52.762	87.880	529	Осадочные породы	СМ-3КВ+ Байкал-11; СМ-3КВ+ Байкал-8.2
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-8.1
48	Тээли*	TEL	TEL	01.10.1971 (05.03.2018)	51.024	90.195	992	Эффузивы	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
49	Тюнгур*	TUNR	TUNR	01.10.1980–01.11.1993; 01.08.1998 (20.12.2018)	50.163	86.317	864	Гранит	СКМ+ Байкал-11; СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.2
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

№	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						
54	Черёмушки*	CERR	CERR	05.09.1990 (20.12.2016)	52.856	91.416	390	Сланцы	CMG-5T, CMG-3ESP + CMG-DAS-U-S6
55	Чибит*	CHBI	CHB	03.10.2003	50.313	87.503	1164	Сланцы	CM-3KB, CMG-5T+ Байкал-8.1
56	Эрзин*	ERNS	ERNS	03.06.1964 (04.05.2017)	50.265	95.161	1110	Коренные породы	CMG-6T, CMG-5T +Байкал-8.1
57	Яйло*	YALR	YALR	19.07.2002 (23.07.2017)	51.769	87.611	451	Коренные породы	CM-3KB, CMG-5T+ Байкал-8.1

Примечание – * – на станциях установлены приборы сильных движений.

Обработка цифровых данных, как и в предыдущие годы [3, 4], проводилась с использованием системы SeisComp3 [5, 6]. Определение координат положения гипоцентров производилось с помощью программы LocSat [7] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI91 [8], для зоны Кузбасса использовалась также программа Нуро71 и местный скоростной разрез. Энергия событий представлена в локальных магнитудах ML [9].

Полный каталог сейсмических событий Алтае-Саянского региона в 2019 г. содержит сведения о 18512 сейсмических событиях в энергетическом диапазоне $0.6 \leq ML \leq 6.2$, включая землетрясения и промышленные взрывы, в том числе и данные регистрации временными сетями станций. Около 61% зарегистрированных событий являются промышленными взрывами (11332 – в энергетическом диапазоне $0.2 \leq ML \leq 4.1$), наиболее сильные из которых с $ML=4.1$ лоцируются в карьерах вблизи г. Абакана (Черногорский карьер). По количеству взрывов в карьерах и шахтах в регионе доминирует Кузбасс (около 70% от всех зарегистрированных взрывов). Всего в 2019 г. было зарегистрировано 7180 землетрясений. Распределение количества сейсмических событий в зависимости от их магнитуды и типа представлено в табл. I.13.

Таблица I.13. 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	6.0	Всего
Землетрясения	34	877	935	1422	1640	1277	639	211	85	30	20	7	1	2	7180
Взрывы	0	1	9	65	1616	5882	3344	335	67	13	0	0	0	0	11332
Всего	34	878	944	1487	3256	7159	3983	546	152	43	20	7	1	2	18512

В 2019 г. изменились формулы расчета магнитуды M (MLH) для Алтае-Саянского региона в соответствии с исследованиями сотрудников АСФ ФИЦ ЕГС РАН, опубликованными в [10]. В настоящем сборнике при расчете M из ML применялись три разные формулы для разных территорий – Тува, Кузбасс и Алтай [11].

Каталог сейсмических событий Алтае-Саянского региона по данным сети ASGSR в настоящем ежегоднике представлен 1671 землетрясением со значения представительной магнитуды $M=1.9-5.2$ ($ML=2.0-6.2$) и 11184 промышленными взрывами с $M=1.6-3.6$ ($ML=1.2-4.1$) [12], из которых в сводный каталог взрывов включены сведения о 3654 событиях с $M \geq 2.5$ [13].

На основе каталога землетрясений [12] построена карта эпицентров землетрясений (рис. I.14). Печатные варианты каталогов содержат параметры 182 землетрясений с $M \geq 3.0$ [14] и 166 взрывов с $M \geq 3.0$ [15].

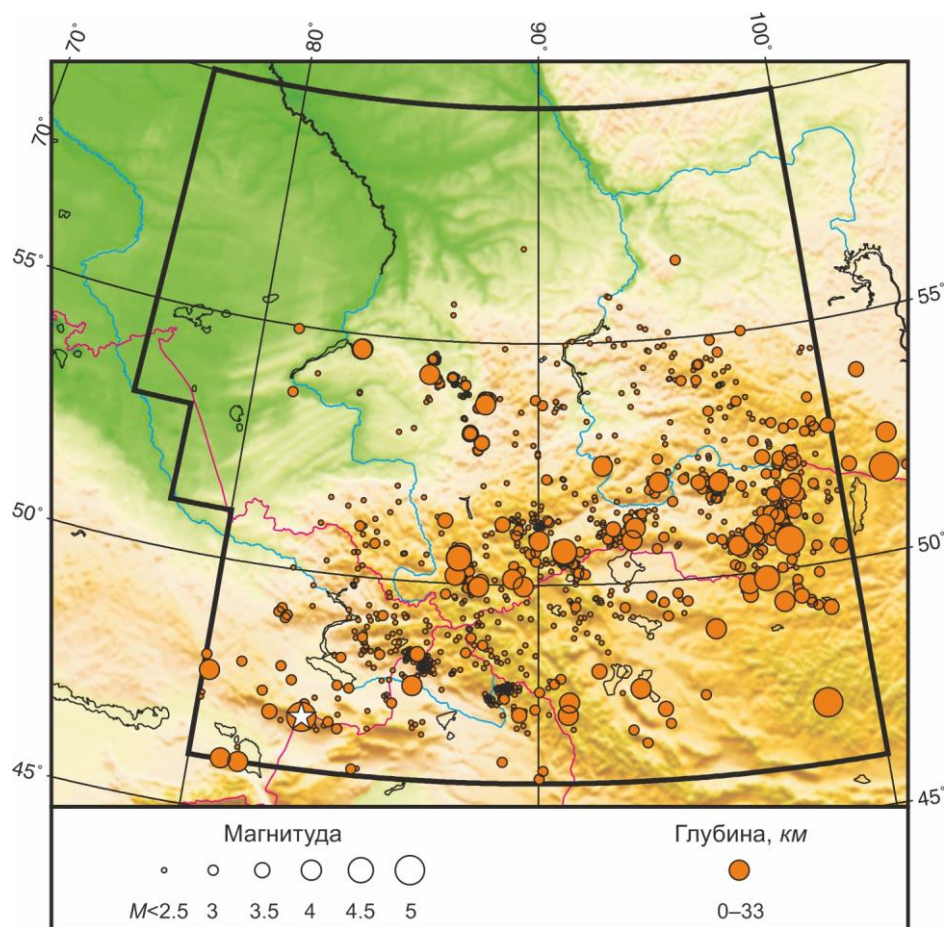


Рис. I.14. Карта эпицентров землетрясений в Алтае-Саянском регионе в 2019 г.
Звездочкой показано самое сильное землетрясение в регионе

Самое сильное землетрясение в Алтае-Саянском регионе с $M=5.2$ ($ML=6.2$) зарегистрировано 1 февраля в 21^h54^m в районе хребта Тарбагатай на границе Восточного Казахстана и Китая. Кроме этого, были зафиксированы еще четыре землетрясения с $ML > 5$. Одно землетрясение произошло в Западном Саяне 30 апреля в 23^h46^m с $M=4.4$ ($ML=5.2$), еще одно – в хребте Хаганай 16 мая в 11^h46^m с $M=4.9$ ($ML=5.1$), еще два землетрясения приурочены к новой сейсмически активной зоне в Айгулакском хребте, проявившей себя в 2019 г.: 13 сентября в 04^h08^m с $M=4.7$ ($ML=5.5$) и в 04^h29^m с $M=4.4$ ($ML=5.2$) (рис. I.14).

Крупное землетрясение 13 сентября в 04^h08^m в Айгулакском хребте сопровождалось афтершоковым процессом. За весь последующий период в этой зоне отмечено более 2000 землетрясений.

По-прежнему высокая сейсмическая активность сохраняется в зоне Чуйского землетрясения 2003 года. Сильнейшее за этот год землетрясение с $M=4.2$ ($ML=4.9$) произошло в горах Южно-Чуйского хребта 14 июня в 15^h16^m. В Западном Саяне на всей протяженности Шапшальского хребта также сохранялся повышенный уровень сейсмической активности – свыше 700 событий за год.

На востоке региона сохранялась сейсмическая активность в центральной зоне Тувинской котловины, в западном Танну-Ола. Концентрация землетрясений наблюдалась

в районе хребта Обручева и в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений 2011–2012 гг., в Белино-Бусингольской зоне.

Помимо природной сейсмичности, ярко проявили себя зоны техногенной сейсмичности Новосибирской и Кемеровской областей. Здесь произошли Колыванские землетрясения 9 января в 11^h01^m с $M=3.8$ ($ML=4.3$) и 29 октября в 01^h31^m с $M=3.8$ ($ML=4.4$) (Новосибирская область). Самое сильное землетрясение в Кузбассе с $M=3.9$ ($ML=4.1$) произошло 15 февраля в 11^h28^m в районе Бачатского угольного разреза, где продолжалось наблюдение с использованием данных сети временных станций. Сопоставимыми по магнитуде были землетрясения в районе Междуреченска 21 ноября в 00^h27^m с $M=3.8$ ($ML=3.9$) и в районе Казской шахты 31 июля в 09^h33^m с $M=3.4$ ($ML=3.8$). В целом эпицентры техногенной сейсмичности в Кузбассе приблизительно равномерно распределены между зонами Бачатского, Краснобродского, Верхне-Саландинского, Талдинского, Ерунаковского и Ольжерасского разрезов, а также района г. Полысаево в зоне шахт. В Горной Шории за 2019 г. произошло более 200 землетрясений, преимущественно в районе Казской, Шерегешской и Таштогорской железорудных шахт.

На рис. I.15 показана гистограмма суммарной сейсмической энергии, выделившейся в Алтае-Саянском регионе в 2015–2019 гг. (по данным [3, 12]). Сейсмичность региона в 2019 г. оказалась выше, чем в 2018 году. Уровень сейсмичности региона в 2019 г. согласно шкале «СОУС'09» [16] оценен как «фоновый средний» за 58-летний период наблюдений (с 1962 по 2019 г.) [17].

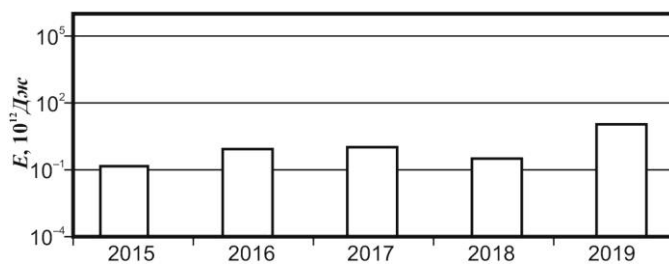


Рис. I.15. Распределение сейсмической энергии, выделившейся в Алтае-Саянском регионе в 2015–2019 гг.

Литература

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А. Результаты детального сейсмического мониторинга. Айгулакское землетрясение 13.09.2019 г. с $M=4.7$ и его афтершоки в структуре сейсмичности Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 117–122.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г. Результаты детального сейсмического мониторинга. Бачатский и Краснобродский угольные разрезы (Кузбасс) // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 123–127.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Дураченко А.А., Корабельщиков Д.Г., Чурашев С.А., Гончаров В.Н. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 37–43.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Ситников В.В., Лескова Е.В., Корабельщиков Д.Г., Дураченко А.А. Основы системы сейсмологического мониторинга Кузбасса // Интергеоэкспо Гео-Сибирь. Материалы Международной научной конференции. – Новосибирск: ИНГ СО РАН, 2015. – С. 68–72.
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 // Geophysical Research Abstracts. – 2007. – Vol. 9. – EGU2007-A-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 // Bulletin of the Seismological Society of America. – 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. Филина А.Г., Дураченко А.В., Галёва Н.А. Уточнение калибровочных функций для определения локальных магнитуд землетрясений Алтае-Саянской горной области // Сейсмические приборы. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 61–73. doi:10.21455/si2019.4-6
11. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Расчет магнитуды M (MLH , MS) // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 131–134.
12. Part_IV-2019. 04_Altai-and-Sayan Mountains_2019.xls // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – Приложение на CD-ROM.
13. Part_V-2019. Catalogs_explosions_2019.xls // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – Приложение на CD-ROM.
14. 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 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 144–146.
15. Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 183–194.
16. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
17. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.Г. Качественный анализ сейсмичности. Оценка уровня сейсмичности регионов России // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 83–89.