

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 54 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, 23 временные сейсмические станции локальных сетей привлекались для более детального изучения активизированных структур в отдельных областях региона, в т.ч.: 19 станций – на юго-востоке Республики Горный Алтай (Алтайский сейсмологический полигон), две – в эпицентральной области Бачатского землетрясения и две – в районе Краснобродского угольного разреза.

В 2020 г. в составе сети сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН произошли следующие изменения относительно 2019 г. [1]. Закрыта станция SLNR (фактически перестала функционировать 19.09.2014 г.), 31 декабря была закрыта станция «Тайлеп» (TAIL) с последующим переносом оборудования на новую станцию NIKOL, которая открыта в 2021 году. Произведена замена аппаратуры на станциях ERNS (велосиметр CMG-6T заменен на CM-3KB), ELDR и GZLN (регистратор Байкал-8.1 заменен на Байкал-8.2). На станции NVSII 12 сентября добавлен комплекс регистрации – датчик СМЕ-6111 с регистратором NDAS-RT (табл. I.13).

Методика обработки цифровых сейсмологических данных не изменилась по сравнению с 2019 г. [1, 2], энергия событий представлена в локальных магнитудах *ML* [3].

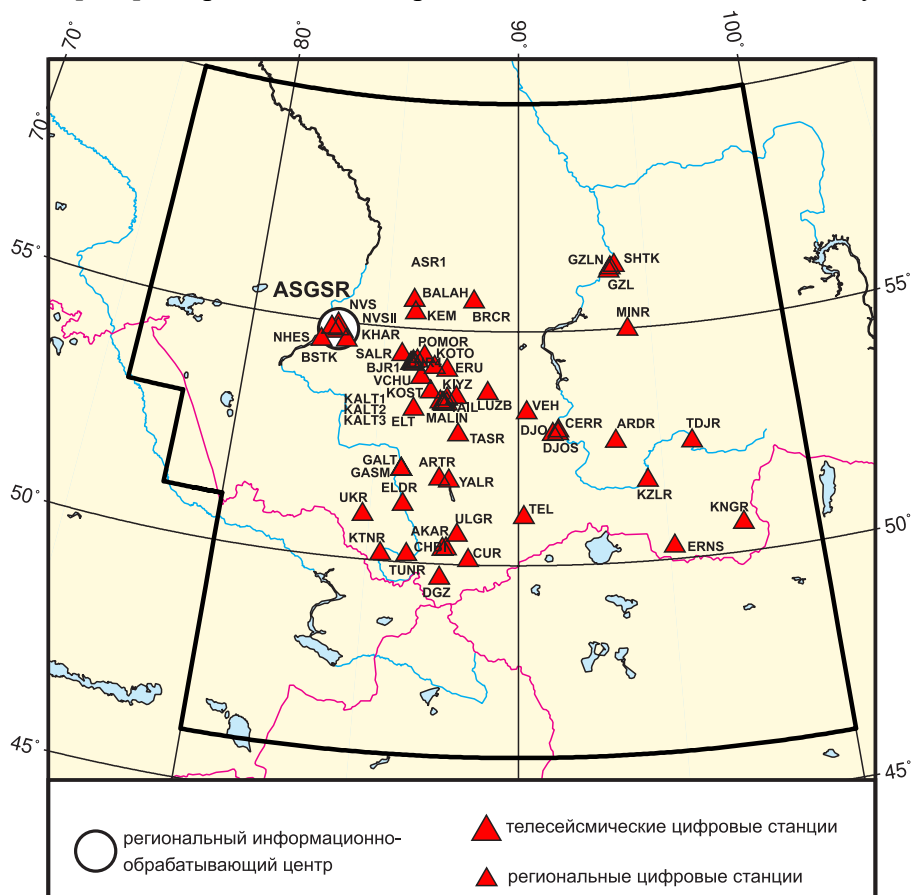


Рис. I.13. Стационарные сейсмические станции в Алтае-Саянском регионе в 2020 г.
 Черный шрифт – международные коды центра и станций

Таблица 1.13. Сведения о стационарных сейсмических станциях
АСФ ФИЦ ЕГС РАН (сеть ASGSR)

№	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						
1	Акташ	AKAR	AKAR	25.09.1985; 02.01.2001	50.325	87.621	1421	Эффузивы	CMG-3ESPCD
2	Арадан* ²	ARDR	ARDR	06.08.1992 (26.12.2016)	52.580	93.428	958	Гранит	CMG-5T, CMG-6T +Байкал-8.1
3	Артыбаш	ARTR	ART	26.07.1980	51.798	87.281	511	Коренные породы	CMG-3ESPCDE
4	Балахонка*	BALAH	BALAH	29.12.2014	55.611	86.017	172		CMG-5T, CMG-6T +CMG-DAS-U-S6
5	Бачатский-1*	BJR1	BJR1	01.12.2014 (12.09.2018)	54.238	86.040	363		CMG-5T, CMG-6T +Байкал-8.1
6	Бачатский-2*	BJR2	BJR2	27.11.2014	54.281	86.127	301		CMG-5T, CMG-6T +Байкал-8.1
7	Бачатский-3*	BJR3	BJR3	05.12.2014	54.225	86.156	226		CMG-5T, CMG-6T +Байкал-8.1
8	Бачатский-4*	BJR4	BJR4	03.12.2014 (18.04.2018)	54.301	86.275	221		Guralp Fortis, CMG-6T+ Байкал-8.1
9	Берчикуль	BRCR	BRCR	23.09.1999 (14.06.2019)	55.635	88.299	381	Сланцы	СМ-3КВ+ Байкал-8.2; CMG-3ESPCDE
10	Быстровка-2*	BSTK	BST	10.04.2002 (30.03.2016)	54.568	82.653	121	Осадочные породы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1; CMG-3ESPCD
11	Верх-База*	VEN	VEN	05.03.1967 (08.03.2018)	53.255	90.299	550	Гранит	СКМ, CMG-5T+ Байкал-8.1
12	Верх-Чумыш*	VCHU	VCHU	20.06.2015	53.955	86.442	351		CMG-5T, CMG-6T +CMG-DAS-U-S6
13	Горно-Алтайск*	GALT	GATR	27.08.2012	51.959	85.946	303		СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
14	Горно-Алтайск* (Администрация)	GASM	GASM	18.10.2017	51.959	85.960	298		A1638+ Байкал-8.2
15	Джазатор*	DGZ	DGZ	20.08.2003 (19.08.2016)	49.701	87.432	1606	Гранит	CMG-3ESPCDE +DM24; CMG-5T+ Байкал-8.1
16	Джой*	DJO	DJO	10.01.2012 (09.01.2017)	52.782	91.218	553		CMG-5T, CMG-3ESP+ CMG-DAS-U-S6
17	Джойская Сосновка*	DJOS	DJOS	03.02.2011 (2013)	52.795	91.398	569		CMG-5T, CMG-6T +Байкал-8.1
18	Еланда (Эланда)	ELDR	ELDR	27.08.1980– 01.12.1993; 04.10.2002 (25.03.2020)	51.217	86.090	472	Гранит	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.2

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

² * – на станции установлен прибор сильных движений.

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						
19	Ельцовка*	ELT	ELT	05.07.1962 (2013)	53.261	86.239	235	Эффузивы	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1; СМГ-3ЕСРСDE+ DM24
20	Ерунаковская*	ERU	ERU	20.06.2015 (17.08.2018)	54.140	87.384	358		СМГ-5Т, СМГ-6Т+Байкал-8.1
21	Железногорск*	GZL	GZL	29.08.2002	56.265	93.542	165	Осадочные породы	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
22	Железногорск-2*	GZLN	GZLN	24.12.2012 (19.11.2020)	56.383	93.767	212		СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.2
23	Железногорск-3*	SHTK	SHTK	21.12.2012	56.333	93.605	150		СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
24	Кайтанак	KTNR	KTNK	18.05.2001	50.145	85.465	1031	Осадочные породы	СМ-3КВ+ Байкал-11
25	Калтан-1*	KALT1	KALT1	15.09.2018	53.416	87.423	308		SeisMonitor, A1638+ Байкал-8.2
26	Калтан-2*	KALT2	KALT2	16.09.2018	53.400	87.324	301		SeisMonitor, A1638+ Байкал-8.2
27	Калтан-3*	KALT3	KALT3	14.09.2018	53.513	87.439	331		SeisMonitor, A1638+ Байкал-8.2
28	Кемерово	KEM	KEM	19.05.2005	55.343	86.089	133	Осадочные породы	СМ-3КВ, СКД+ Байкал-8
29	Кийзас*	KIYZ	KIYZ	26.12.2014	53.558	87.759	247		СМГ-5Т, СМГ-6Т+СМГ-DAS-U-S6
30	Костёнково*	KOST	KOST	31.08.2015	53.651	86.822	325		СМГ-5Т, СМГ-6Т+СМГ-DAS-U-S6
31	Котино*	KOTO	KOTO	25.02.2016	54.187	86.923	279		СМГ-5ТDE+ DM24mk3, СМГ-6ТD+CD24
32	Кунгуртуг*	KNGR	KNGR	04.03.2012 (07.09.2019)	50.604	97.517	1314	Коренные породы	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-8.2
33	Кызыл*	KZLR	KZL	15.03.2001	51.705	94.454	603	Щебень	СМ-3КВ, СМГ-5Т+ Байкал-11
34	Лужба	LUZB	LUZB	01.12.2006	53.661	88.900	489	Осадочные породы	СМ-3КВ, СКМ+ Байкал-11
35	Малиновка*	MALIN	MALI	01.11.2010	53.421	87.276	233	Осадочные породы	СМГ-5Т+ Байкал-8.1
36	Мина*	MINR	MINR	29.07.1985 (2013)	54.978	94.127	544	Осадочные породы	СКМ, СМГ-5Т+ Байкал-8.1
37	Новосибирск*	NVS	NVS	10.11.1965 (2013)	54.841	83.234	168	Кварцитовая жила	СМГ-3ЕСРСDE; 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							
38	Новосибирск-2	NVSII	NVSII	01.01.2013 (12.09.2020)	54.842	83.237	159	Коренные породы	CMG-3ESPCDE, CME-6111+ NDAS-RT
39	Новосибирская ГЭС	NHES	NHES	28.02.2012	54.855	82.985	121	Осадочные породы	CMG-3ESPCD
40	Поморцево*	POMOR	POMOR	19.05.2014	54.407	86.526	215		CMG-5T, CMG-6T +CMG-DAS-U-S6
41	Салаир	SALR	SAL	02.03.2005	54.417	85.703	250		СМ-3КВ, СКД+ Байкал-11
42	Тайлеп*	TAIL	TAIL	29.12.2015– 31.12.2020	53.448	87.197	245		CMG-5TDE
43	Таштагол	TASR	TASR	01.09.1988 (07.03.2019)	52.762	87.880	529	Осадочные породы	СМ-3КВ+ Байкал-8.2
44	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
45	Тээли*	TEL	TEL	01.10.1971 (05.03.2018)	51.024	90.195	992	Эффузивы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
46	Тюнгур*	TUNR	TUNR	01.10.1980– 01.11.1993; 01.08.1998 (20.12.2018)	50.163	86.317	864	Гранит	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.2
47	Улаган*	ULGR	ULGR	28.07.2002 (13.12.2019)	50.623	87.961	1239	Коренные породы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.2
48	Усть-Кан	UKR	UKR	02.09.1963 (20.12.2019)	50.940	84.769	1057	Эффузивы	СМ-3КВ, СКД+ Байкал-8.2; CMG-3ESPCDE
49	Харино	KHAR	KHAR	10.09.2011	54.613	83.590	130	Осадочные породы	CMG-3ESPCDE
50	Чаган-Узун*	CUR	CUR	19.12.1963– 31.05.1985; 13.02.2002 (2013)	50.101	88.358	1740	Коренные породы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1; CMG-3ESPCD
51	Черёмушки*	CERR	CERR	05.09.1990 (20.12.2016)	52.856	91.416	390	Сланцы	CMG-5T, CMG-3ESP + CMG-DAS-U-S6
52	Чибит*	CHBI	CHB	03.10.2003	50.313	87.503	1164	Сланцы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1
53	Эрзин*	ERNS	ERNS	03.06.1964 (13.10.2020)	50.265	95.161	1110	Коренные породы	СМ-3КВ, CMG-5T +Байкал-8.1
54	Яйлю*	YALR	YALR	19.07.2002 (23.07.2017)	51.769	87.611	451	Коренные породы	СМ-3КВ, CMG-5T+ Байкал-8.1

Примечание – * – на станциях установлены приборы сильных движений.

Полный каталог сейсмических событий Алтае-Саянского региона в 2020 г. содержит сведения о 15081 сейсмическом событии в энергетическом диапазоне $-0.8 \leq ML \leq 5.3$, включая землетрясения и промышленные взрывы, в том числе и данные регистрации временными сетями станций. Около 63% зарегистрированных событий являются

промышленными взрывами (9524 – в энергетическом диапазоне $0.6 \leq ML \leq 4.1$), наиболее сильные из которых с $ML \sim 4.0$ лоцируются в карьерах вблизи г. Абакана (Черногорский карьер). По количеству взрывов в карьерах и шахтах в регионе доминирует Кузбасс (более 67% от всех зарегистрированных взрывов). Всего в 2020 г. было зарегистрировано 5557 землетрясений. Распределение количества сейсмических событий в зависимости от их магнитуды и типа представлено в табл. I.14.

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

ML	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	Всего
Землетрясения	1	4	236	428	1084	1571	1324	565	199	78	45	19	3	5557
Взрывы	0	0	0	6	57	1458	4808	2842	274	67	12	0	0	9524
ML	1	4	236	434	1141	3029	6132	3407	473	145	57	19	3	15081

С 2019 г. изменились формулы расчета магнитуды M (MLH) для Алтае-Саянского региона в соответствии с исследованиями сотрудников АСФ ФИЦ ЕГС РАН, опубликованными в [4]. В настоящем сборнике, как и в [1], при расчете M из ML применялись три разные формулы для разных территорий – Тува, Кузбасс и Алтай [5].

Каталог сейсмических событий Алтае-Саянского региона по данным сети ASGSR в настоящем ежегоднике представлен 1688 землетрясениями со значениями представительной магнитуды $M=1.9-4.6$ ($ML=2.0-5.0$) и 9451 промышленным взрывом с $M=1.6-3.6$ ($ML=1.2-4.1$) [6], из которых в сводный каталог взрывов включены сведения о 3100 событиях с $M \geq 2.5$ [7]. Печатные варианты каталогов содержат параметры 191 землетрясения с $M \geq 3.0$ [8] и 257 взрывов с $M \geq 2.9$ [9].

На соседней приграничной территории с регионом Прибайкалья и Забайкалья центром ASGSR были определены параметры 26 землетрясений, из них 21 добавлено в каталог [10] в качестве основных решений, пять – в качестве альтернативных решений.

На основе каталога землетрясений [6] построена карта эпицентров землетрясений (рис. I.14).

Самыми сильными в регионе стали два сейсмических события с $M=4.6$ – землетрясение 30 сентября в 09^h02^m ($ML=4.8$) на границе Тувы с Монголией и техногенное землетрясение 17 октября в 17^h21^m ($ML=4.9$) в районе Краснобродского угольного разреза. Макросейсмических сведений о данных событиях нет. Ощутимое землетрясение с $M=4.3$ [10] ($M_w=4.3$ [10], $ML=5.3$ [6]) зарегистрировано 22 октября в 13^h38^m в Восточном Саяне недалеко от границы с Монголией, на границе зон ответственности Алтае-Саянского и Байкальского филиалов ФИЦ ЕГС РАН. Его параметры занесены в каталог региона Прибайкалье и Забайкалье [10]. По данным [10], на территории Республики Бурятия толчки ощущались с максимальной интенсивностью 3–4 балла в Орлике ($\Delta=60$ км).

Основная масса землетрясений сконцентрировалась в сейсмически активных зонах. Сейсмическая активность наблюдалась в Белино-Бусингольской впадине – здесь за год было зафиксировано свыше 200 землетрясений в энергетическом диапазоне $0.5 < ML < 4.8$. В горах Монгольского Алтая с протяженностью с запада на восток можно выделить несколько зон сейсмичности, расположенных в ряд.

Сохраняется сейсмическая активность в зоне Чуйского землетрясения 2003 г., где зафиксировано более 1000 землетрясений. Выраженная сейсмическая активность, начавшаяся в 2019 г. в зоне Айгулакского хребта [11], продолжила проявлять себя и в 2020 г. – здесь зарегистрировано более 1200 землетрясений в диапазоне $-0.4 < ML < 4.5$. С запада Тувинскую котловину окаймляла зона сейсмичности, проявляющаяся в пределах Шапшальского хребта, Западного Танну-Ола, Алашского плато. В 2020 г. в этой зоне произошло около 700 землетрясений.

На северо-западе Алтае-Саянского региона на широте 57.6°N (Томская область) 5 марта в 01^h00^m произошло редкое для этого района землетрясение с $M=3.6$ ($ML=4.1$).

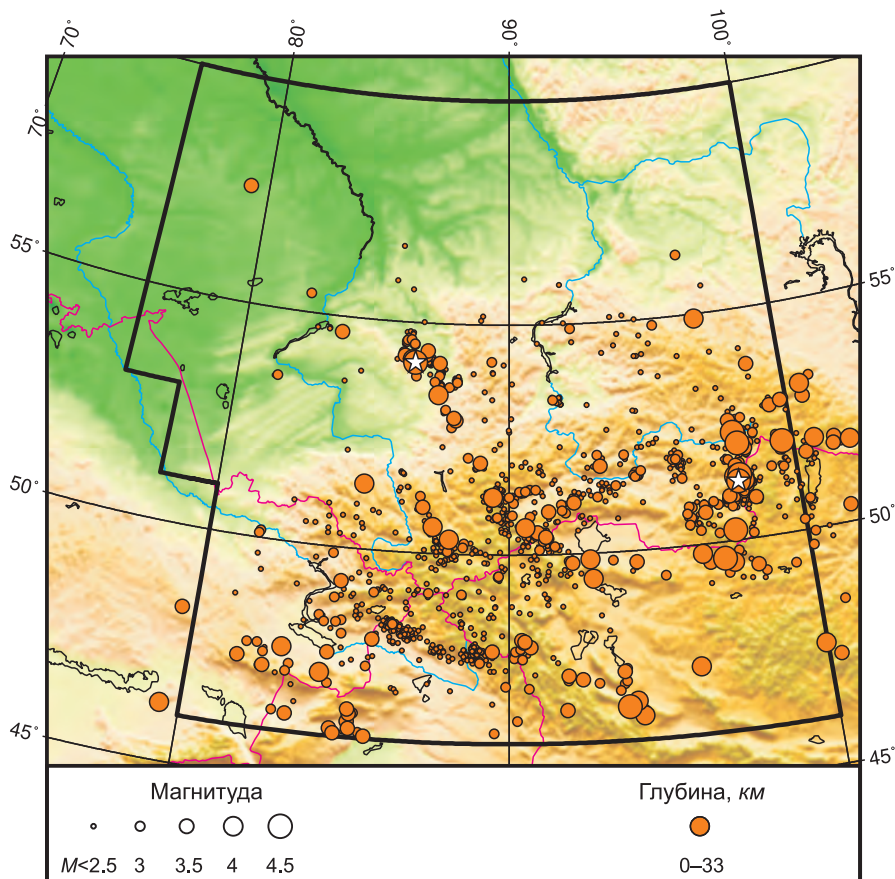


Рис. 1.14. Карта эпицентров землетрясений в Алтае-Саянском регионе в 2020 г.
Звездочками показаны два самых сильных землетрясения в регионе

Повышенная сейсмичность наблюдается и в зоне техногенных землетрясений на Кузбассе: около городов Междуреченск и Осинники, в районе Галдинского, Верхне-Саландинского, Краснобродского и Бачатского угольных разрезов.

В районе разреза «Краснобродский» 17 октября в 17^h21^m произошло самое крупное техногенное землетрясение за 2020 г. с $M=4.6$ ($ML=4.9$). Также около этого угольного разреза 11 января и 26 февраля были зафиксированы землетрясения с $M=3.9$ ($ML=4.1$) и $M=3.8$ ($ML=3.9$) соответственно. В 2020 г. на территории Бачатского и Краснобродского угольных разрезов были проведены локальные эксперименты с использованием дополнительных временных станций и составлен более детальный каталог для данных районов [12]. В Горной Шории повышенная техногенная сейсмичность зафиксирована в районе расположения Шерегешского и Казского железорудных месторождений, здесь землетрясение с максимальной магнитудой $M=3.7$ ($ML=4.2$) произошло 15 октября в районе шахты «Шерегешская». Всего в Кемеровской области произошло более 1000 техногенных землетрясений.

Наведенная сейсмичность продолжает развиваться и в Новосибирской области в Горловском угольном бассейне. В районе разрезов «Колыванский» и «Восточный» в 2020 г. произошло более 30 землетрясений, около 75% находилось в диапазоне магнитуд $-0.7 < ML < 2.3$, магнитуда 25% землетрясений соответствовала $ML \sim 3.0$. Максимальное землетрясение с $M=3.6$ ($ML=4.1$) произошло 23 сентября в 13^h16^m в районе отвала разреза «Восточный».

На рис. 1.15 показана гистограмма суммарной сейсмической энергии, выделившейся в Алтае-Саянском регионе в 2016–2020 гг. (по данным [1, 6]). Уровень сейсмичности региона в 2020 г. согласно шкале «СОУС'09» [13] оценен как «фоновый средний» за 59-летний период наблюдений (с 1962 по 2020 г.) [14].

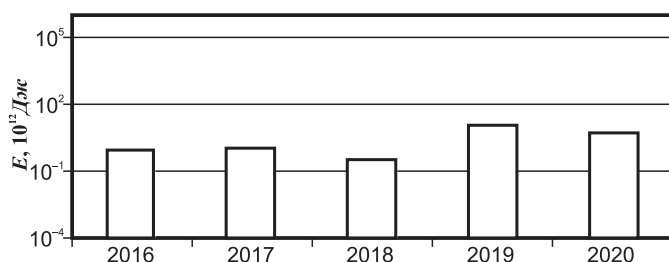


Рис. 1.15. Распределение сейсмической энергии, выделившейся в Алтае-Саянском регионе в 2016–2020 гг.

Литература

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Дураченко А.А., Корабельщиков Д.Г., Гладышев Е.А. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 37–44.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. и др. Основы системы сейсмологического мониторинга Кузбасса // Интергеоэкспо Гео-Сибирь. Материалы Международной научной конференции. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2015. – С. 68–72.
3. *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/>
4. 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. <https://doi.org/10.21455/si2019.4-6>
5. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Расчет магнитуды M (MLH , MS) // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 120–123.
6. *2020-ER_App05_Altai-and-Sayan-Mountains.xls* [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2020 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_05.html, свободный.
7. *2020-ER_App24_Catalogs_explosions.xls* [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2020 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_24.html, свободный.
8. 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 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 135–138.
9. Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 172–183.
10. *2020-ER_App06_Lake-Baykal-and-Transbaykal-regions.xls* [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2020 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_20.html, свободный.
11. 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.
12. *2020-ER_App23_Kuzbass.xls* [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2020 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_23.html, свободный.
13. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
14. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.Г. Качественный анализ сейсмичности. Оценка уровня сейсмичности регионов России // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 85–91.