УДК 550.348. (100)

Сильные землетрясения земного шара в I полугодии 2021 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН

© 2021 г. Ю.А. Виноградов, М.И. Рыжикова, Н.В. Петрова,
С.Г. Пойгина, М.В. Коломиец

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 02.08.2021 г.

Аннотация. Приведены сведения о сейсмичности Земли в I полугодии 2021 г. на уровне сильных землетрясений с магнитудами $m_b \geq 6.0$ по данным Службы срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН. В обзор также включена информация о 81 землетрясении России и сопредельных территорий, ощущавшемся в населённых пунктах Российской Федерации. Для 14 сильных землетрясений в течение одного-двух дней после их реализации были опубликованы Информационные сообщения и приведены сведения о механизмах очагов. За рассматриваемый период сильнейшее землетрясение на земном шаре с $MS=7.8$ ($Mw=8.1$) произошло 4 марта на островах Кермадек, Новая Зеландия. Самые большие человеческие жертвы и материальный ущерб за исследуемый период принесли катастрофические землетрясения с $MS=5.1$ ($Mw=5.8$) и с $MS=5.9$ ($Mw=6.3$), произошедшие 14 января на острове Сулавеси, Индонезия. В результате землетрясений 81 человек погиб, 826 получили ранения. Самым сильным на территории России стало землетрясение 16 марта с $MS=6.7$ ($Mw=6.6$) у восточного побережья Камчатки. Наибольшую интенсивность сотрясений на территории России (6 баллов) проявило мощное Хубсугульское землетрясение с $MS=7.2$ ($Mw=6.8$), реализовавшееся 11 января на севере Монголии вблизи границы с Россией. Положение главного толчка и его афтершоков свидетельствует об активизации сейсмического процесса на северо-западном участке Хубсугульской рифтовой зоны, а их механизмы очагов — о преобладающем напряжении северо-западного/юго-восточного растяжения и сбросовом типе подвижек по разломам северо-восточного простирания на этом участке. Выделенная в I полугодии 2021 г. сейсмическая энергия остаётся, как и в течение двух предыдущих лет, на пониженном, относительно среднего за последние 11.5 лет, уровне, что свидетельствует о продолжающемся сейсмическом затишье.

Ключевые слова: Служба срочных донесений, сейсмические станции, сильные землетрясения, магнитуда, сейсмическая энергия, механизм очага, макросейсмический эффект.

Для цитирования: Виноградов Ю.А., Рыжикова М.И., Петрова Н.В., Пойгина С.Г., Коломиец М.В. Сильные землетрясения земного шара в I полугодии 2021 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 3. — С. 7–27. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.01>

Введение

Для раннего предупреждения о последствиях сильных землетрясений (разрушения, человеческие жертвы, экономический ущерб, цунами, оползни и др.) и организации спасательных мероприятий, а также для оценки опасности их сильных афтершоков чрезвычайно важны оперативные сведения об этих событиях.

В России оперативные данные о сейсмичности Земли обрабатываются Службой срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН в первые часы с момента возникновения события и публикуются на официальном сайте организации [Информация Службы ..., 2021]. Источниками информа-

ции являются доступные в оперативном режиме данные телесейсмических станций Российской Федерации и мира. Для землетрясений земного шара магнитудный порог обрабатываемых событий составляет $m_b \geq 5.5$. Представительный магнитудный уровень обрабатываемых ССД землетрясений для регионов России варьирует в пределах $m_b \geq 3.5$ –4.5. О самых сильных и разрушительных сейсмических событиях на официальном сайте ФИЦ ЕГС РАН в течение одного-двух дней со времени их возникновения публикуются Информационные сообщения [Информационные сообщения ..., 2021]. Параметры землетрясений по данным ССД оперативно передаются в международные сейсмологические центры и публикуются

в их бюллетенях, где они идентифицируются следующими кодами: GSRAS в CSEM [CSEM ..., 2021], GSRC в SED (SSS) [Swiss ..., 2021], MOS в ISC [International ..., 2021].

После получения всех станционных данных производится их окончательная сводная обработка с составлением ежедекадных сейсмологических бюллетеней и каталогов, которые размещаются на сайте ФИЦ ЕГС РАН с задержкой в несколько месяцев [Сейсмологический ..., 2021].

В настоящей работе анализируются данные ССД о сильных землетрясениях Земли с магнитудами $m_b \geq 6.0$ за I полугодие 2021 г., а также сведения об ощутимых сейсмических событиях на территории России с более низкого магнитудного уровня. Оценка выделившейся за этот период сейсмической энергии даётся в сравнении с аналогичными оценками за 2010–2020 гг.

Методика обработки и параметры землетрясений

Исходная информация о сейсмичности получена из базы данных «Землетрясения» [Красилов, Коломиец, Пойгина, 2020; База данных «Землетрясения» ..., 2021], доступной в локальной сети Центрального отделения (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН. Частичный доступ к базе данных и полный доступ к Информационным сообщениям ССД организован на внешнем сайте ФИЦ ЕГС РАН [Информация Службы ..., 2021; Информационные сообщения ..., 2021].

Магнитуды, определяемые в массовом порядке в ССД, различаются в зависимости от типа сейсмических волн и частотного диапазона регистрирующей аппаратуры: m_b — магнитуда по короткопериодным продольным волнам; MS — магнитуда по поверхностным волнам Релея. Магнитуда m_b определяется для всех зарегистрированных землетрясений, MS — для умеренных и сильных событий, для которых достаточно уверенно выделяется максимум поверхностных волн Релея.

Между этими магнитудами, по данным о землетрясениях с $h \leq 70$ км из БД «Землетрясения» за 2010–2019 гг., установлено соотношение [Виноградов и др., 2020]:

$$MS = 1.47 \cdot m_b - 2.91. \quad (1)$$

Для оценки сейсмической энергии использовалось хорошо известное соотношение Гутенберга-Рихтера:

$$\lg E (\text{эрг}) = 1.5 \cdot MS + 11.8. \quad (2)$$

Построение карты эпицентров землетрясений, а также применение формулы (2) требует пересчёта магнитуд всех событий в однородную магнитуду MS^P . Методика пересчёта не изменилась по сравнению с [Виноградов и др., 2021]. Для неглубоких землетрясений с $h \leq 70$ км принималось, что $MS^P = MS$, а в случае отсутствия инструментально определённого значения MS применялся пересчёт по формуле (1). Для более глубоких землетрясений инструментальная магнитуда MS требует корректировки за глубину [Ambraseys, Free, 1997; Herak et al., 2001; Petrova, Gabsatarova, 2020]. В исследуемый период лишь для одного землетрясения с $h > 70$ км и $m_b > 6.0$ Службой срочных донесений определена магнитуда MS . Для него использовалась поправка за глубину $f(h)$, установленная в [Petrova, Gabsatarova, 2020]:

$$MS^P = MS + f(h) = MS + 0.556 \cdot \lg(h) - 0.508. \quad (3)$$

Для остальной части землетрясений с глубинами $70 < h < 390$ км использовалась пересчётная формула (1), а при $h \geq 390$ км — рекомендованная в [Кондорская и др., 1993] для этих глубин формула:

$$MS = 1.85 \cdot m_b - 4.9. \quad (4)$$

Для землетрясений с $m_b \geq 6.0$ полученные таким образом значения MS^P сверялись с моментными магнитудами M_w по данным ССД, а при их отсутствии — с M_w агентства GCMT [Global ..., 2020].

Механизмы очагов, анализируемые в данной работе, получены по знакам первых вступлений продольных волн с использованием программы А.В. Ландера [Ландер, 2018].

Характеристика исходных данных

В Службе срочных донесений в I полугодии 2021 г. использовались в основном те же входные потоки информации, что и в 2020 г. [Виноградов и др., 2021]:

— волновые формы со 108 цифровых телесейсмических станций (на рис. 1 изображены красными и жёлтыми треугольниками), поступающие в режиме, близком к реальному времени (NRTS), обрабатываемые программой AUZ с выделением вступлений основных сейсмических волн (arrival), для дальнейшей сводной обработки в программном комплексе WSG [Красилов и др., 2012; Акимов, Красилов, 2020];

— фрагменты волновых форм с 31 станции России, скачиваемые по запросу для конкретного землетрясения в базу данных WSG [Красилов, Акимов и др., 2020];

— времена вступлений основных сейсмических волн (arrival), поступающие в режиме NRTS через Интернет с 44 станций международных и региональных центров (на рис. 1 изображены зелёными треугольниками): IDC CTBTO [Comprehensive ..., 2021], KNDC [Казахстанский ..., 2021], сеть цифровых станций IDA II [Project IDA, 2021];

— сводки в коде MCK-85 и IMS с 23 телесеизмических станций и 73 региональных станций России и СНГ.

Все сводки редактировались в соответствии с требованиями кода MCK-85 и записывались в базу данных WSG. Сводки в коде IMS записывались в формате *.arrival для дальнейшей сводной обработки в программном комплексе WSG.

Результаты сводной обработки записывались в базу данных «Землетрясения» Службы срочных донесений [Красилов, Коломиец, Пойгина, 2020; База данных «Землетрясения» ..., 2021] для

дальнейшей публикации на страницах сайта ФИЦ ЕГС РАН.

Всего Службой срочных донесений в I полугодии 2021 г. определены основные параметры 2624 землетрясений с $m_b=3.1-7.2$, в том числе на территории России и вблизи её границ — 380 землетрясений с $m_b=3.1-6.6$. Как видно из рис. 1, подавляющее число использованных в указанный период станций размещено в северном полушарии — на территории России, сопредельных стран и Европы. За период с 1 января по 30 июня 2021 г. для локаций землетрясений было использовано 74934 станционных вступления, в том числе 3979 — по сильным землетрясениям с $m_b \geq 6.0$.

Количество наиболее сильных землетрясений Земли с $m_b \geq 6.0$ (в том числе три землетрясения с $m_b \leq 6.0$, но с $MS \geq 6.0$) в I полугодии 2021 г. составило $N_z=74$. Их список и параметры из базы данных «Землетрясения» приведены в табл. 1.

Рис. 1. Сейсмические станции России и мира, данные которых поступали в ССД в I полугодии 2021 г. в режиме, близком к реальному времени

Таблица 1. Список сильных землетрясений Земли с $m_b(MS) \geq 6.0$ в I полугодии 2021 г.

№	Дата, дд.мм	t_0 , чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуды			Географический регион по [Young et al., 1996]
			φ , °	λ , °	h , км	m_b/n	MS/n	MS^p	
1	03.01	12:38:47	51.22	-179.61	20	6.2/40	6.1/28		Андреяновские острова
2	06.01	06:20:32	-28.92	-177.20	20	6.0/15	5.9/29		Район островов Кермадек
3	06.01	17:28:35	-4.33	102.73	60	6.2/36		6.2	Южная Суматра
4	06.01	20:59:35	-0.01	122.85	170	6.0/30		5.9	Район Флорес

№	Дата, дд.мм	t_0 , чч:мм:сс	Гипоцентр			Магнитуды			Географический регион по [Young et al., 1996]
			φ , °	λ , °	h , км	m_b/n	MS/n	MS^p	
5	08.01	00:28:49	−29.51	−178.74	230	6.1/15		6.1	Острова Кермадек
6	08.01	05:01:05	−20.85	169.85	135	6.3/18		6.4	Вануату (Новые Гебриды)
7	10.01	03:54:11	−24.05	−66.53	195	6.2/12		6.2	Провинция Сальта, Аргентина
8	10.01	06:48:19	−16.02	167.88	160	6.1/17		6.1	Вануату (Новые Гебриды)
9	11.01	01:20:36	−7.20	120.36	600	6.0/34		6.2	Море Флорес
10*	11.01	21:33:00	51.32	100.42	20	6.5/32	7.2/24		Россия–Монголия погр. область
11*	14.01	06:35:49	−2.92	119.00	20	6.0/34	5.1/24		Остров Сулавеси (Целебес)
12*	14.01	18:28:17	−2.94	118.89	20	6.3/31	5.9/32		Остров Сулавеси (Целебес)
13	19.01	02:46:21	−31.90	−68.81	20	6.6/6	6.5/26		Провинция Сан-Хуан, Аргентина
14	21.01	12:23:05	4.95	127.52	100	6.8/44	6.5/30		Острова Талауд
15	23.01	23:36:50	−61.91	−55.80	10	6.7/5	7.1/16		Южные Шетландские острова
16	27.01	05:06:53	42.71	142.09	125	6.0/26		5.9	Район Хоккайдо
17	31.01	19:05:14	2.67	−59.56	10	6.2/21	5.4/32		Гайана
18	07.02	04:22:55	6.85	125.11	10	6.0/33	5.7/30		Минданао
19	07.02	05:45:52	−3.22	146.05	10	6.0/23	6.1/22		Море Бисмарка
20	10.02	12:52:27	−5.57	101.75	10	6.1/48	6.3/31		Юго-западнее Суматры
21*	10.02	13:19:57	−22.75	171.50	10	6.5/22	7.1/29		Район островов Лоялти
22	10.02	16:35:21	−22.74	171.20	10	6.0/22		5.9	Район островов Лоялти
23	10.02	21:23:59	−23.34	171.51	10	6.3/26		6.4	Район островов Лоялти
24	11.02	00:14:45	−23.37	171.85	10	6.0/26		5.9	Район островов Лоялти
25	12.02	17:01:35	38.19	73.52	90	6.2/39		6.2	Таджикистан–Синьцзян погр. область
26	13.02	13:08:53	57.33	−155.43	50	6.0/38		5.9	Полуостров Аляска
27*	13.02	14:07:50	37.86	141.74	50	7.1/39	7.0/25		Восточное побережье Хонсю
28	16.02	00:49:25	−17.76	167.53	10	5.9/16	6.2/20		Вануату (Новые Гебриды)
29	17.02	22:49:36	−23.22	171.79	10	6.2/24	5.6/13		Район островов Лоялти
30	18.02	06:37:30	−18.98	168.02	10	6.1/23	6.1/28		Вануату (Новые Гебриды)
31*	03.03	10:16:09	39.73	22.09	10	6.2/31	6.1/44		Греция
32	04.03	13:27:34	−37.53	179.40	10	7.0/14	7.1/35		У вост. побережья Северного острова, Н.З.
33	04.03	16:53:11	−14.47	167.09	170	6.0/19		5.9	Вануату (Новые Гебриды)
34	04.03	17:41:24	−29.70	−177.53	60	6.8/14	7.2/22		Острова Кермадек
35*	04.03	18:38:19	39.86	21.94	10	6.0/24	6.2/19		Греция
36*	04.03	19:28:35	−29.65	−177.16	33	7.2/14	7.8/22		Острова Кермадек
37	04.03	20:25:05	−28.47	−176.62	10	6.4/11		6.5	Район островов Кермадек
38	04.03	23:12:57	−28.46	−176.63	10	6.2/20		6.2	Район островов Кермадек
39	05.03	00:28:20	−29.03	−176.61	10	6.1/7		6.1	Район островов Кермадек
40	06.03	12:05:21	−28.62	−177.99	10	6.1/11		6.1	Район островов Кермадек
41	06.03	13:12:03	−28.66	−177.97	10	6.0/12		5.9	Район островов Кермадек
42*	16.03	18:38:26	54.73	163.30	60	6.6/28	6.7/21		У вост. побережья Камчатки
43	19.03	06:11:27	31.89	92.86	10	6.1/42	5.7/26		Тибет
44	20.03	05:19:31	−59.76	150.30	10	6.1/3		6.1	Западнее острова Маккуори
45*	20.03	09:09:45	38.56	141.69	60	7.0/27	6.7/19		Восточное побережье Хонсю
46	26.03	22:02:14	26.17	125.03	140	6.1/46		6.1	Северо-восточнее Тайваня
47	28.03	00:26:54	33.64	140.83	50	6.1/35		6.1	Южнее Хонсю
48	01.04	09:56:35	−30.13	−177.87	10	6.3/13	6.1/28		Острова Кермадек

№	Дата, дд.мм	t_0 , чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуды			Географический регион по [Young et al., 1996]
			φ , °	λ , °	h , км	m_b/n	MS/n	MS^P	
49	03.04	01:16:39	−58.05	−7.85	10	6.4/5	6.4/19		Восточнее Южных Сандвичевых островов
50	05.04	07:37:49	−37.66	179.48	10	6.2/7	5.8/23		У вост. побережья Северного острова, Н.З.
51	08.04	17:10:18	63.24	−148.76	80	6.1/34		6.1	Центральная Аляска
52	10.04	09:30:43	4.06	124.54	320	6.0/40		5.9	Море Целебес
53	18.04	14:14:37	24.03	121.69	10	5.8/48	6.1/28		Тайвань
54	19.04	23:58:22	0.20	96.52	10	6.2/46	5.8/34		У зап. побережья Северной Суматры
55	24.04	00:23:36	−18.89	−176.00	290	6.5/24		6.6	Район Фиджи
56	25.04	22:28:01	−21.70	−177.14	250	6.2/11		6.2	Район Фиджи
57	28.04	02:21:25	26.74	92.53	33	6.4/39	6.0/31		Восточная Индия
58	29.04	06:50:30	−29.24	−176.72	10	6.2/17	6.0/35		Район островов Кермадек
59	01.05	01:27:26	38.21	141.62	45	6.6/42	6.6/29		Восточное побережье Хонсю
60	02.05	06:57:39	−30.04	−71.49	33	6.1/6		6.1	Побережье Центрального Чили
61	05.05	01:24:35	−2.02	99.73	20	6.1/45	5.6/17		Южная Суматра
62	07.05	23:35:13	−18.79	−177.40	390	6.0/13		6.2	Район Фиджи
63	13.05	23:58:13	37.76	141.78	33	6.3/44	6.0/24		Восточное побережье Хонсю
64	14.05	06:33:07	0.08	96.44	10	6.6/48	6.6/46		Район Никобарских островов
65	19.05	00:42:20	−33.30	−109.50	10	6.2/5	6.3/27		Восточно-Тихоокеанское поднятие
66	21.05	12:09:23	−8.30	112.41	110	6.1/41		6.1	Ява
67*	21.05	13:48:37	25.80	100.11	10	5.9/33	6.1/31		Провинция Юньнань
68*	21.05	18:04:14	34.73	98.31	10	6.7/36	7.5/42		Провинция Цинхай
69	21.05	22:13:18	−16.58	−177.43	10	6.2/20		6.2	Район Фиджи
70	31.05	06:59:54	62.62	−148.25	60	6.3/41	5.7/26		Центральная Аляска
71	03.06	10:09:58	0.26	126.25	33	6.2/32	5.7/24		Молуккский пролив
72	11.06	02:23:44	0.09	124.19	80	6.0/41		5.9	Минданао
73	16.06	04:43:06	−3.72	129.55	10	6.0/42	5.5/35		Серам
74	20.06	17:05:47	−30.34	−177.97	10	6.5/19	6.4/23		Острова Кермадек

Примечание: в графе «№» знак «*» указывает на наличие для данного землетрясения Информационного сообщения; в графах « m_b/n » и « MS/n » приведены магнитуды/количество станций по инструментальным данным, в графе « MS^P » указаны расчётные значения MS , полученные по формулам (1), (4) и (5) при отсутствии определений этих магнитуд по инструментальным данным.

В I полугодии 2021 г. ССД зарегистрировала 81 землетрясение с $m_b=3.5-6.6$, ощущавшееся на территории России, сведения об этих событиях из базы данных «Землетрясения» приведены в табл. 2.

Значительная часть ощутимых землетрясений локализована в районе Курильских островов – 21 событие с $m_b=3.9-5.9$ (табл. 2). В пограничной области Монголии с Россией произошли 23 землетрясения (главный толчок Хубсугульского землетрясения 11 января и его афтершоки № 3–12, 14, 15, 18, 19, 22, 26, 28, 38, 45, 46, 48, 58, 63 в табл. 2), ощущавшихся на территории России. Ещё четыре землетрясения (№ 16, 29, 57, 68 в табл. 2) произошли на японских островах Хоккайдо и Хонсю, но ощущались на территории России.

Как следует из табл. 2, 74 ощутимых землетрясения реализовались в Дальневосточном округе и вблизи его границ. Также три ощутимых землетрясения произошли в Сибирском округе, четыре – в Северо-Кавказском округе.

В I полугодии 2021 г. Службой срочных донесений были составлены и опубликованы на сайте ФИЦ ЕГС РАН 12 Информационных сообщений о 14 землетрясениях, отмеченных звёздочкой в табл. 1 и 2 [Информационные сообщения ..., 2021]. Для всех этих событий в ССД определены механизмы очагов по знакам первых вступлений продольных волн по программе А.В. Ландера [Ландер, 2018]. Сведения о механизмах очагов этих 14 землетрясений приведены в табл. 3.

Таблица 2. Список ощутимых землетрясений на территории России в I полугодии 2021 г.

№	Дата, время дд.мм чч:мм:сс	Гипоцентр			Магнитуды		Географический регион [Young et al., 1996]	Макросейсмические данные
		φ, °N	λ, °E	h, км	m_b	MS (MS^P)		
1	02.01 01:05:53	42.09	47.98	10	4.8	(4.1)	Восточный Кавказ	Маджалис — 3 балла; Махачкала, Дербент — 2–3 балла
2	11.01 12:56:41	52.64	158.99	70	4.6	(3.9)	Восточное поб-е Камчатки	Петропавловск-Камчатский — 2–3 балла
3*	11.01 21:33:00	51.32	100.42	20	6.5	7.2	Россия—Монголия погр. обл.	Хубсугульское землетрясение. Монды, Орлик — 6 баллов; Закаменск, Иркутск, Ангарск, Зима, Саянск, Бохан, Смоленщина, Кяхта — 5 баллов; Маркова, Усолье-Сибирское, Черемхово, Железногорск (Красноярский кр.), Грановщина, Голубые Ели, Мишелевка, Шелехов, Куйтун, Михайловка, Свирск, Мегет, Никольск, Култук, Тулун, Гусиноозёрск, Средний, Иркутск-45, Баклаши, СНТ Прибой, Чистые Ключи — 4–5 баллов; Нижнеудинск, Братск, Большое Голоустное, Вихоревка, Бирюсинск, Козинск, Железногорск-Илимский, Улан-Удэ, Хомутово, Бай-Хаак, Большая Речка, Слюдянка, Залари, Александровское, Усть-Уда, Усть-Илимск, Заречный, Чеботариха, Максимовщина, Введенщина, Турма, Уховский, Карлук, Белореченский, Новая Игирма, Тайтурка, Байкальск, Кызыл, Малая Топка, Молодёжный, Оёк, Покровка, Пивовариха, Тайшет, Усолье-7, Чунский, Петропавловка (Бурятия), Добролёт, Тельма, Жигалово, Казачье, Эрдэнэт (Монголия), Усть-Ордынский, Дзержинск, Егоровщина, Усть-Кут, Олха, Каменно-Ангарск, Олонки, Большая Елань, Алзамай — 4 балла; Киренск, Красноярск, Петропавловка (Красноярский кр.), Кукуй, Сосновка, Магистральный, СНТ Лесное, Петровск-Забайкальский, Юголок — 3–4 балла; Чита — 3 балла
4	11.01 22:02:57	51.30	100.41	10	5.3	(4.9)	Россия—Монголия погр. обл.	Иркутск, Ангарск, Шелехов, Усолье-Сибирское — 3–4 балла; Маркова, Хомутово, Улан-Удэ — 3 балла
5	11.01 23:02:24	51.44	100.42	10	5.2	(4.7)	Россия—Монголия погр. обл.	Иркутск, Ангарск — 3–4 балла; Баклаши, Шелехов, Маркова, Усолье-Сибирское — 3 балла
6	12.01 00:36:11	51.30	100.40	10	4.8	(4.1)	Россия—Монголия погр. обл.	Орлик — 4 балла; Иркутск — 3–4 балла; Ангарск, Байкальск — 3 балла
7	12.01 09:08:46	51.31	100.41	10	4.5	(3.7)	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 4 балла; Усолье-Сибирское, Шелехов — 3–4 балла; Иркутск, Маркова, Ангарск, Зима, Михайловка, Саянск — 3 балла

№	Дата, время дд.мм чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуды		Географический регион [Young et al., 1996]	Макросейсмические данные
		φ , °N	λ , °E	h , км	m_b	MS (MS^p)		
8	13.01 11:10:09	51.58	100.31	10	4.9	(4.3)	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 4 балла; Зима — 3–4 балла; Иркутск, Закаменск, Ангарск, Култук, Шелехов — 3 балла
9	14.01 19:29:52	51.44	100.59	10	4.4	(3.6)	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 4 балла; Зима, Саянск — 3–4 балла; Иркутск, Ангарск, Хому- тово, Шелехов, Усолье-Сибирское, Черемхово — 3 балла
10	14.01 20:26:15	51.55	100.45	10	4.6	(3.9)	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 4 балла; Усолье-Сибирское, Зима, Саянск — 3–4 балла; Иркутск, Ангарск, Шелехов, Молодёжный, Хомутово, Черемхово, Михайловка — 3 балла
11	17.01 00:56:33	51.31	100.29	10	4.2	(3.3)	Россия—Монголия погр. обл.	Иркутск — 2 балла
12	17.01 21:52:25	51.28	100.40	10	4.5	(3.7)	Россия—Монголия погр. обл.	Введенщина, Ангарск — 3 балла; Иркутск, Мегет, Черемхово, Усолье- Сибирское — 2–3 балла
13	18.01 02:05:53	44.84	148.11	110	4.7	(4.0)	Курильские о-ва	Курильск — 2 балла
14	18.01 19:15:00	51.17	100.33	10	4.6	(3.9)	Россия—Монголия погр. обл.	Култук, Слюдянка, СНТ Строи- тель, Черемхово — 3 балла; Иркутск, Ангарск, Баклаши, Зима — 2–3 балла
15	21.01 10:51:15	51.33	100.44	10	4.3	(3.4)	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 4 балла; Иркутск, Маркова, Ангарск, Усолье-Сибирское, Шелехов, Закаменск — 3 балла
16	24.01 02:24:47	43.00	145.87	80	4.1	(3.1)	Район Хоккайдо, Япония	Южно-Курильск — 2 балла
17	24.01 09:01:41	51.75	105.50	10	4.0	(3.0)	Район оз. Байкал	Листвянка — 3–4 балла; Байкальск, Иркутск, Маркова — 3 балла; Шеле- хов, Ангарск, Усолье-Сибирское — 2–3 балла
18	25.01 13:53:38	51.36	100.32	10	4.2	(3.3)	Россия—Монголия погр. обл.	Хомутово — 2–3 балла; Иркутск — 2 балла
19	28.01 04:51:41	51.61	100.42	10	4.5	(3.7)	Россия—Монголия погр. обл.	Иркутск, Ангарск, Шелехов, Хому- тово, Белореченский, Михайловка — 3 балла
20	28.01 15:50:17	51.82	143.08	10	4.2	(3.3)	Сахалин	Ноглики — 3–4 балла; Горячие Ключи — 3 балла
21	28.01 18:51:50	44.30	147.57	60	4.5	(3.7)	Курильские о-ва	Малокурильское — 2 балла
22	03.02 04:20:35	51.38	100.35	10	4.4	(3.6)	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 3–4 балла; Иркутск — 2 балла
23	04.02 19:27:36	44.25	147.85	90	5.2	(4.7)	Курильские о-ва	Малокурильское — 3 балла; Горный, Курильск — 2–3 балла
24	06.02 16:10:02	52.48	106.68	10	4.5	(3.7)	Район оз. Байкал	Нижний Саянтуй, Кабанск, Куй- тун — 4 балла; Онохой-2, Каменск, Улан-Удэ, Зырянск, Еланцы, Тыр- ган — 3–4 балла; Иркутск, Ангарск, Шелехов, Маркова, Татаурово, Хужир, Хомутово, Тельма, Грановщина — 3 балла; Горный, Бозой, Белоречен- ский — 2–3 балла
25	08.02 22:35:38	43.56	146.65	80	4.6	(3.9)	Курильские о-ва	Южно-Курильск — 2 балла

№	Дата, время дд.мм чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуды		Географический регион [Young et al., 1996]	Макросейсмические данные
		φ , °N	λ , °E	h , км	m_b	MS (MS^p)		
26	15.02 14:23:11	51.60	100.30	10	4.9	(4.3)	Россия—Монголия погр. обл.	Иркутск, Белореченский — 2 балла
27	20.02 13:23:26	43.33	147.13	60	5.5	(5.2)	Курильские о-ва	Малокурильское — 3 балла
28	21.02 01:37:08	52.36	97.41	10	5.2	(4.7)	Россия—Монголия погр. обл.	Иркутск, Саянск, Нижнеудинск, Михайловка — 2 балла
29	22.02 01:55:57	43.13	145.85	60	4.4	(3.6)	Район Хоккайдо, Япония	Южно-Курильск — 3 балла; Лагун- ное, Горячий Пляж, Головинно — 2—3 балла; Малокурильское — 2 балла
30	26.02 22:59:33	56.80	118.35	10	3.8	(2.7)	Восточное оз. Байкал	Новая Чара — 3—4 балла
31	28.02 17:09:04	52.61	106.92	10	4.1	(3.1)	Район оз. Байкал	Тырган, Еланцы — 3—4 балла; Большая Речка — 3 балла; Иркутск — 2—3 балла; Улан-Удэ — 2 балла
32	02.03 21:22:47	44.06	147.89	50	5.9	5.8	Курильские о-ва	Малокурильское — 5 баллов; Южно- Курильск, Лагунное, Горячий Пляж, Головинно — 4 балла; Горный — 3 балла; Крабовозаводское, Китовое, Горячие Ключи, Рейдово, Курильск — 2—3 балла
33	06.03 05:57:57	50.70	157.74	40	5.5	(5.2)	Курильские о-ва	Северо-Курильск — 4 балла
34	10.03 20:55:13	56.73	118.29	10	4.1	(3.1)	Восточное оз. Байкал	Новая Чара — 4 балла
35	10.03 21:23:53	56.78	118.21	10	3.9	(2.8)	Восточное оз. Байкал	Новая Чара — 3—4 балла
36	11.03 02:19:31	56.74	118.29	10	4.2	(3.3)	Восточное оз. Байкал	Новая Чара — 4 балла
37	11.03 23:54:06	44.11	148.44	50	4.5	(3.7)	Курильские о-ва	Горный — 2 балла
38	12.03 07:05:13	51.47	100.49	10	4.5	(3.7)	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 4 балла; Закаменск, Зима, Иркутск, Слюдянка — 3—4 балла; Ангарск, Черемхово, Шелехов, Сред- ний, Усолье-Сибирское, Свирск — 3 балла
39	13.03 03:40:21	43.96	147.49	40	3.9	(2.8)	Курильские о-ва	Малокурильское — 3 балла
40	13.03 22:15:24	44.55	37.45	10	3.6	(2.4)	Западный Кавказ	Су-Псех, Сукко — 3—4 балла; Анапа — 3 балла; Новороссийск — 2—3 балла
41	16.03 15:47:26	56.90	118.60	10	4.1	(3.1)	Восточное оз. Байкал	Новая Чара — 3—4 балла
42*	16.03 18:38:26	54.73	163.30	60	6.6	6.7	У восточного поб-я Камчатки	Усть-Камчатск — 4—5 баллов; Николь- ское, Крутоберегово — 4 балла; Петро- павловск-Камчатский — 3—4 балла; Ключи — 3 балла; Вилучинск — 2 балла
43	21.03 22:15:14	56.85	118.26	10	4.3	(3.4)	Восточное оз. Байкал	Новая Чара — 4 балла
44	30.03 05:04:37	46.44	142.10	10	4.1	(3.1)	Сахалин	Шебунино, Горнозаводск, Невельск — 3 балла

№	Дата, время дд.мм чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуды		Географический регион [Young et al., 1996]	Макросейсмические данные
		φ, °N	λ, °E	h, км	m_b	MS (MS^p)		
45*	31.03 00:01:27	51.30	100.35	10	5.4	5.1	Россия—Монголия погр. обл.	Монды — 4–5 баллов; Иркутск, Шелехов, Ангарск, Слюдянка, Хомутово, Маркова, Олха, Тунка — 4 балла; Зима, Мегет, Молодёжный, Грановщина, Саянск, Московщина, Новолисица, Черемхово, Култук, Чистые Ключи, Закаменск, Михайловка, Усолье-Сибирское, Первомайский, Байкальск, Иркутск-45 — 3–4 балла; Введенщина, Свирск — 3 балла
46	02.04 21:07:49	51.95	98.94	10	4.2	(3.3)	Россия—Монголия погр. обл.	Орлик — 3 балла
47	11.04 13:48:49	52.11	158.70	50	4.6	(3.9)	Восточное поб-е Камчатки	Петропавловск-Камчатский — 3 балла
48	15.04 16:42:04	51.34	100.39	10	4.8	(4.1)	Россия—Монголия погр. обл.	Закаменск — 4 балла; Иркутск, Ангарск, Шелехов, Белореченский — 3 балла; Чистые Ключи — 2–3 балла
49	17.04 15:45:23	54.14	160.45	90	5.3	(4.9)	Восточное поб-е Камчатки	Петропавловск-Камчатский — 2–3 балла
50	18.04 00:34:21	49.75	156.86	60	4.7	(4.0)	Курильские о-ва	Северо-Курильск — 3 балла
51	18.04 08:16:51	50.85	142.65	10	4.1	(3.1)	Сахалин	Тымовское, Александровск-Сахалинский — 4 балла
52	18.04 11:57:19	50.88	142.57	10	3.7	(2.5)	Сахалин	Тымовское — 2 балла
53	19.04 06:31:34	44.30	147.49	90	4.5	(3.7)	Курильские о-ва	Южно-Курильск — 2–3 балла; Головинино — 2 балла
54	19.04 10:22:28	43.65	146.70	50	4.4	(3.6)	Курильские о-ва	Малокурильское — 3 балла
55	24.04 04:59:10	56.74	118.27	10	3.7	(2.5)	Восточнее оз. Байкал	Новая Чара — 3 балла
56	24.04 07:40:55	56.82	118.32	10	4.7	(4.0)	Восточнее оз. Байкал	Новая Чара — 4–5 баллов
57	01.05 01:27:26	38.21	141.62	45	6.6	6.6	Восточное поб-е Хонсю, Япония	Южно-Курильск — 2–3 балла
58*	03.05 08:46:38	51.42	100.47	10	5.8	5.4	Россия—Монголия погр. обл.	Монды, Кырен — 5 баллов; Иркутск, Шелехов, Ангарск, Молодёжный, Черемхово, Усолье-Сибирское, Слюдянка, Залари, Саянск, Байкальск, Маркова, Мегет, Большой Луг, Утулик, Закаменск — 4 балла; Шерегеш, Кяхта, Грановщина, Улан-Удэ, Баклаши, Олха, Зима, Белореченский, Средний, Гусиноозёрск, Свирск, Чистые Ключи, Введенщина — 3–4 балла; Братск, Нижнеудинск, Дархан (Монголия), Железногорск-Илимский — 3 балла
59	04.05 19:32:59	43.31	146.60	60	4.6	(3.9)	Курильские о-ва	Малокурильское — 3 балла
60	05.05 14:08:43	52.00	159.28	70	4.5	(3.7)	У восточного поб-я Камчатки	Петропавловск-Камчатский — 2 балла

№	Дата, время дд.мм чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуды		Географический регион [Young et al., 1996]	Макросейсмические данные
		φ, °N	λ, °E	h, км	m_b	MS (MS^P)		
61	06.05 20:08:55	56.13	113.66	10	4.1	(3.1)	Восточнее оз. Байкал	Северомуйск — 4 балла
62	09.05 16:23:45	49.34	155.87	70	4.8	(4.1)	Курильские о-ва	Северо-Курильск — 2 балла
63	10.05 00:36:08	51.37	100.36	10	4.3	(3.4)	Россия—Монголия погр. обл.	Черемхово — 2—3 балла
64	10.05 00:39:46	43.26	147.06	60	4.8	(4.1)	Курильские о-ва	Южно-Курильск, Малокурильское — 2 балла
65	11.05 12:22:31	56.61	117.99	10	4.9	(4.3)	Восточнее оз. Байкал	Новая Чара — 4—5 баллов; Чара, Мамакан — 4 балла
66	12.05 09:40:53	53.74	160.56	70	4.1	(3.1)	Восточное поб-е Камчатки	Петропавловск-Камчатский — 2—3 балла
67	13.05 16:43:56	44.38	148.59	50	5.0	(4.4)	Курильские о-ва	Курильск — 2 балла
68	16.05 03:23:56	42.10	144.59	33	5.8	(5.6)	Район Хоккайдо, Япония	Горячий Пляж, Головинино — 2—3 балла; Южно-Курильск — 2 балла
69	21.05 05:01:25	44.58	148.29	60	4.8	(4.1)	Курильские о-ва	Малокурильское — 3 балла; Рейдово, Курильск, Горячие Ключи — 2—3 балла; Южно-Курильск — 2 балла
70	23.05 16:32:39	56.80	118.35	10	4.3	(3.4)	Восточнее оз. Байкал	Новая Чара — 4 балла
71	24.05 21:43:40	42.49	44.95	10	4.5	(3.7)	Западный Кавказ	Верхний Ларс, Нижний Ларс — 3—4 балла; Владикавказ, Тбилиси (Грузия), Гори (Грузия), Балта, Редант — 3 балла; Грозный, Алагир, Беслан, Цхинвал (Южная Осетия) — 2—3 балла
72	27.05 07:37:00	43.80	148.10	50	5.0	(4.4)	Район Курильских о-вов	Курильск, Горное, Буревестник — 3 балла
73	01.06 08:08:52	50.84	156.46	145	5.0	(4.4)	Курильские о-ва	Северо-Курильск — 3 балла
74	03.06 01:03:18	43.74	147.37	50	4.3	(3.4)	Курильские о-ва	Малокурильское — 2—3 балла; Южно-Курильск — 2 балла
75	04.06 12:45:13	55.86	110.95	10	4.0	(3.0)	Район оз. Байкал	Кумора — 4 балла
76	06.06 16:01:40	50.20	157.38	60	5.2	(4.7)	Курильские о-ва	Северо-Курильск — 4 балла
77	17.06 18:14:16	47.15	142.65	15	3.5	(2.2)	Сахалин	Синегорск — 3—4 балла
78	23.06 12:26:32	47.40	142.80	10	3.8	(2.7)	Сахалин	Покровка, Углезаводск — 3 балла
79	23.06 22:31:47	47.30	142.80	10	3.9	(2.8)	Сахалин	Углезаводск — 3 балла
80	26.06 19:43:39	50.89	141.72	5	4.0	(3.0)	Сахалин	Александровск-Сахалинский — 4 балла; Тымовское — 2 балла
81	28.06 16:53:39	43.25	46.20	5	4.3	(3.4)	Восточный Кавказ	Бильты, Мехкишты, Хочи-Ара — 4—5 баллов; Мескеты, Ножай-Юрт, Саясан, Энгеной, Стерч-Керч, Айти-Мохк, Зандак-Ара, Аллерой, Ойсхара, Бачи-Юрт, Чечель-Хи, Даттах — 4 балла; Майртуп — 3—4 балла; Хасавюрт, Нижний Нойбер, Автуры, Аргун, Джалка, Гудермес, Курчалой, Нурадилово, Бетти-Мохк, Ялхой-Мохк, Зандак, Симсир, Беной — 3 балла

Примечание: в графе «№» знак «*» указывает на наличие для данных землетрясений Информационного сообщения; в графе « MS » в скобках указана расчётная магнитуда MS^P .

Таблица 3. Параметры механизмов очагов сильных землетрясений за I полугодие 2021 г. по данным ССД

№ в табл. 1	№ в табл. 2	Дата, <i>дд.мм</i>	t_0 , <i>чч:мм:сс</i>	h , <i>км</i>	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаг- рамма
					T		N		P		$NP1$			$NP2$			
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
10	3	11.01	21:32:00	10	0	309	9	39	81	219	29	46	−103	228	46	−77
11		14.01	06:35:49	20	76	136	5	27	13	295	210	58	96	19	32	81
12		14.01	18:28:17	20	61	126	14	9	25	273	334	24	53	194	71	105
21		10.02	13:19:57	10	49	27	14	279	37	178	214	16	24	101	84	104
27		13.02	14:07:50	50	97	76	5	207	13	298	204	58	84	34	32	99
31		03.03	10:16:09	10	0	31	18	121	72	301	318	48	66	104	48	−114
35		04.03	18:38:19	10	0	231	9	141	81	323	330	46	−77	132	46	−103
36		04.03	19:28:35	33	64	270	0	180	26	90	180	19	90	360	71	90
42	42	16.03	18:38:26	60	16	302	74	135	4	33	346	81	166	78	76	9
45		20.03	09:09:45	60	64	306	5	207	26	114	193	20	76	28	71	95
	45	31.03	00:01:27	10	21	303	55	180	27	44	175	86	−145	82	55	−5
	58	03.05	08:46:38	10	0	301	18	211	72	32	194	48	−114	48	48	−66
67		21.05	13:21:27	10	11	267	64	153	23	2	136	82	−155	42	65	−9
68		21.05	18:04:14	10	4	147	74	45	16	238	282	76	−9	14	81	−166

Пространственное и временное распределение сейсмичности

На рис. 2 показано географическое распределение эпицентров землетрясений с $m_b \geq 6.0$ на земном шаре, зарегистрированных ССД в I полугодии 2021 года. Гипоцентры большинства сильных землетрясений Земли приурочены к границам крупнейших тектонических плит Земли, очаги 56 из них находились в пределах земной коры. Землетрясения с промежуточной глубиной ($70 \leq h \leq 300$ км, $N=15$) зарегистри-

стрированы в зонах субдукции: район о. Флорес (№ 4 в табл. 1); острова Кермадек (№ 5); Вануату (Новые Гебриды) (№ 6, 8, 33); провинция Сальта, Аргентина (№ 7); острова Талауд (№ 14); район Хоккайдо (№ 16); пограничная область Таджикистан–Синьцзян, Китай (№ 25); северо-восточнее Тайваня (№ 46); Центральная Аляска (№ 51); район Фиджи (№ 55, 56); о. Ява (№ 66); о. Минданао (№ 72). Глубокие сильные землетрясения ($300 \leq h \leq 600$ км, $N=3$) произошли в море Флорес (№ 9 в табл. 1), в море Целебес (№ 52) и в районе Фиджи (№ 62).

Рис. 2. Карта эпицентров сильных землетрясений Земли (табл. 1) в I полугодии 2021 г. по данным ССД.

1 — магниту́да MS^F , номер рядом с эпицентром соответствует номеру в табл. 1, знак «*» рядом с номером указывает на наличие Информационного сообщения; 2 — глубины землетрясений; 3 — границы крупных тектонических плит Земли и некоторых микроплит (AS — плита Эгейского моря, AT — Анатолийская, OK — Охотская) согласно [Bird, 2003]

За рассматриваемый период самое сильное землетрясение Земли (№ 36 в табл. 1) с $MS=7.8$ ($Mw=8.1$) [Global ..., 2021] произошло на границе Тихоокеанской и Австралийской плит на островах Кермадек, Новая Зеландия. Сильнейшее землетрясение на территории России (№ 42) с $MS=6.7$ ($Mw=6.6$) реализовалось у восточного побережья Камчатки. В непосредственной близости от границ России (≈ 45 км) на территории Северной Монголии произошло мощное землетрясение (№ 10) с $MS=7.2$ ($Mw=6.8$), интенсивность сотрясений от которого в населённых пунктах РФ оказалась наибольшей в I полугодии 2021 года.

Распределение логарифмов полугодовых значений выделившейся сейсмической энергии (а) и кумулятивный график энергии дискретных событий (б) с 2010 г. по I полугодие 2021 г. представлены на рис. 3. Весь период разбит на четыре интервала (I, II, III, IV), различающиеся темпами выделения сейсмической энергии и, соответственно, скоростью деформационного процесса. За период 2010–2020 гг. среднее полугодовое значение выделившейся на земном шаре сейсмической энергии составило $\sum E_{0.5} = 2.5 \cdot 10^{17}$ Дж. Период IV (2019 г. — I полугодие 2021 г.) характеризуется самыми низкими темпами выделения сейсмической энергии

($\sum E_{0.5} = 6.8 \cdot 10^{16}$ Дж), постоянной скоростью деформационного процесса, выраженной в неизменном наклоне графика кумулятивной сейсмической энергии в этот период, и отсутствием землетрясений с $MS > 7.9$. В I полугодии 2021 г. ситуация не изменилась и выделившаяся сейсмическая энергия ($\sum E_{0.5} = 7.6 \cdot 10^{16}$ Дж) лишь немного превысила средний уровень за период IV.

Механизмы очагов и макросейсмические проявления сильных землетрясений земного шара

Параметры сильнейших землетрясений Земли в I полугодии 2021 г. приведены в табл. 1 и 3.

Самое сильное землетрясение на земном шаре произошло 4 марта в 19^h28^m с $MS=7.8$ ($Mw=8.1$) [Global ..., 2021] (№ 36 в табл. 1, 3) на островах Кермадек, Новая Зеландия. Очаг землетрясения находился на глубине 33 км, в 85 км к юго-востоку от острова Рауль. ССД зарегистрировала три форшока с $m_b \geq 5.5$ в течение двух часов до основного толчка и 30 афтершоков с $m_b \geq 5.1$ в течение суток. По данным Национального центра по предупреждению цунами США (NOAA),

Рис. 3. Распределение за период 2010 г. – I полугодие 2021 г. логарифмов полугодовых значений суммарной сейсмической энергии $\Sigma E_{0.5}$, выделившейся при землетрясениях земного шара (а), и кумулятивный график энергии дискретных событий ΣE (б).

Стрелками показаны землетрясения с магнитудами $M_S > 8$, пунктиром – среднее полугодовое значение сейсмической энергии за период 2010–2020 гг., вертикальные линии разделяют периоды с различными темпами выделения сейсмической энергии

максимальная волна цунами высотой 0.56 м была отмечена в посёлке Кингстон на острове Норфолк, Австралия [Tsunami message number 20, 2021].

Землетрясения подобной силы уже происходили в данном высокосейсмичном районе. В 100 км к северу–северо-востоку от эпицентра события 2021 г. известно землетрясение с такой же магнитудой ($M_S=7.8$), реализовавшееся 9 июля 2011 г. [Информационное сообщение о сильном ..., 2011], а в 415 км к югу от него 18 июня 2020 г. произошло землетрясение с $M_S=7.1$ [Информационные сообщения, 2021].

Механизм очага (№ 36 в табл. 3) рассчитан по знакам первых вступлений продольных волн на 51 станции, из них на 40 станциях зарегистрированы волны сжатия (знаки плюс), на 11 станциях – растяжения (знаки минус). Станции расположены в интервале эпицентральных расстояний $12.7\text{--}99.4^\circ$ и в азимутальном створе $0\text{--}360^\circ$. Землетрясение возникло под действием незначительного превалирования напряжений сжатия, ориентированных на восток ($AZ=90^\circ$). Обе нодальные плоскости ориентированы меридионально, плоскость $NP1$ залегает более полого ($DP=19^\circ$) относительно $NP2$ ($DP=71^\circ$). Тип движения по $NP1$ – надвиг висячего крыла разрыва (или подвиг лежачего), по $NP2$ – взброс. Учитывая движение Тихоокеанской плиты на запад относительно Австралийской со скоростью около 60 мм/год и её подвиг под Австралийскую плиту в глубоководных желобах Тонга и Кермадек [М 8.1 ..., 2021], описанный механизм очага полностью соответствует тектонической обстановке, причём действующей в очаге является плоскость $NP1$, полого падающая на запад.

Самыми катастрофическими в мире стали два землетрясения, произошедшие 14 января в 06^h35^m с $m_b=6.0$ ($M_S=5.1$, $M_w=5.8$) (№ 11 в табл. 1 и 3) и в 18^h28^m с $m_b=6.0$ ($M_S=5.9$, $M_w=6.3$) (№ 12 в табл. 1 и 3) на глубине 20 км на острове Сулавеси, Индонезия. ССД зарегистрировала один афтершок с $m_b=5.1$ через 29 час 4 мин после второго толчка. По данным РИА-Новости, в результате землетрясений погиб 81 человек, пострадали 826 человек, разрушено более 1150 зданий, в том числе пять школ и больница [Число жертв ..., 2021]. Землетрясения (№ 11, 12 в табл. 1 и 3) произошли в 315 и 322 км к югу–юго-западу от разрушительного землетрясения 28 сентября 2018 г. с $M_S=7.3$ на полуострове Минахасса, Сулавеси, в результате которого и последовавшего за ним цунами погибло около четырёх тысяч человек, более двух тысяч получили тяжёлые ранения. Были разрушены тысячи домов, гостиниц, торговых центров. Высота волн цунами составляла 3–5 м [Информационное сообщение о разрушительном ..., 2021].

Механизм очага землетрясения № 11 (табл. 3) рассчитан по знакам первых вступлений продольных волн на 52 станциях, из них на 41 станции зарегистрированы волны сжатия (знаки плюс), на 11 станциях – растяжения (знаки минус). Станции расположены в интервале эпицентральных расстояний $2.2\text{--}88.2^\circ$ и в азимутальном створе $0\text{--}350^\circ$. Землетрясение возникло под действием превалирования напряжений сжатия, ориентированных на запад–северо-запад ($AZ=295^\circ$). Нодальная плоскость $NP1$

простирается на юг–юго-запад ($STK=210^\circ$), $NP2$ – на север–северо-восток ($STK=19^\circ$). Плоскость $NP2$ залегает более полого ($DP=32^\circ$) относительно $NP1$ ($DP=58^\circ$), тип движения по $NP1$ – взброс, по $NP2$ – надвиг. Сейсмический момент землетрясения, полученный по спектру продольных волн на станции «Талая» ($\Delta=56.2^\circ$), составляет $M_0=5.5 \cdot 10^{17}$ Н·м.

Механизм очага землетрясения № 12 (табл. 3) рассчитан по знакам первых вступлений продольных волн на 71 станции, из них на 51 станции зарегистрированы волны сжатия (знаки плюс), на 20 станциях – растяжения (знаки минус). Станции расположены в интервале расстояний 2.2 – 94.5° и в азимутальном створе 0 – 357° . Землетрясение возникло под действием незначительного превалирования напряжений сжатия, ориентированных на запад ($AZ=273^\circ$). Плоскости $NP1$ ($STK=334^\circ$) и $NP2$ ($STK=194^\circ$) ориентированы близмеридионально. $NP1$ залегает более полого ($DP=24^\circ$) относительно плоскости $NP2$ ($DP=71^\circ$), тип движения по $NP1$ – надвиг с компонентой левостороннего сдвига, по $NP2$ – взброс. Сейсмический момент землетрясения, полученный по спектру продольных волн на станции «Обнинск» ($\Delta=88^\circ$), составляет $M_0=3.43 \cdot 10^{18}$ Н·м.

Восточная Индонезия характеризуется сложной тектоникой, в которой движения многочисленных небольших микроплит вмещают крупномасштабную конвергенцию Австралийской, Сунда, Тихоокеанской и Филиппинской морской плит (рис. 2). В месте землетрясений 14 января 2021 г. плита Сунда движется на восток относительно микроплиты моря Банда со скоростью около 21 мм/год [М 6.2 ..., 2021]. Параллельная этому движению ориентация осей сжатия и перпендикулярное ему простирание нодальных плоскостей описанных ниже механизмов очагов землетрясений № 11* и 12* с подвижкой типа надвига или взброса согласуются с направлением этого движения.

В список сильных землетрясений планеты попали два значительных события (№ 10 и 42 в табл. 1) на территории Российской Федерации и вблизи её границ – 11 января с $MS=7.2$ ($Mw=6.8$) и $h=20$ км на севере Монголии вблизи границы с Россией и 16 марта с $MS=6.7$ ($Mw=6.6$) и $h=60$ км в Тихом океане у восточного побережья Камчатки.

Сильнейшее на территории РФ землетрясение произошло 16 марта в 18^h38^m с $MS=6.7$ ($Mw=6.6$) (№ 42 в табл. 1, 3) в Тихом океане у восточного побережья Камчатки. Очаг находился на глубине 60 км, в 173 км к югу–юго-востоку

от Усть-Камчатска и в 359 км к северо-востоку от Петропавловска-Камчатского. По данным Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН [Каталог землетрясений Камчатки ..., 2021], землетрясение ощущалось в г. Усть-Камчатске с интенсивностью 4 – 5 баллов, в сёлах Никольское и Крутоберегово – 4 балла, в Петропавловске-Камчатском и посёлке Ключи – 3 балла, в г. Виллючинске – 2 балла по шкале ШСИ-17 [ГОСТ ..., 2017]. По ретроспективным данным, землетрясение 16 марта 2021 г. произошло в 325 км к востоку–юго-востоку от сильного землетрясения 15 сентября 2020 г. с $MS=6.0$ [Информационное сообщение о глубоком ..., 2020].

Механизм очага землетрясения (№ 42 в табл. 3) рассчитан по знакам первых вступлений продольных волн на 94 станциях в интервале эпицентральных расстояний 3.3 – 95.9° и в азимутальном створе 5 – 352° , из них на 66 станциях зарегистрированы волны сжатия (знаки плюс), на 28 станциях – растяжения (знаки минус). Землетрясение возникло под действием незначительного превалирования напряжений сжатия, ориентированных на север–северо-восток ($AZ=33^\circ$). Нодальная плоскость $NP1$ имеет север–северо-западное простирание ($STK=346^\circ$), плоскость $NP2$ – восток–северо-восточное ($STK=78^\circ$), обе плоскости наклонены к горизонту достаточно круто под близкими углами ($DIP=76$ – 81°). Тип движения по плоскости $NP1$ – правосторонний сдвиг, по $NP2$ – левосторонний сдвиг. Сейсмический момент землетрясения, полученный по спектру продольных волн на станции «Обнинск» ($\Delta=62.14^\circ$), составляет $M_0=9.064 \cdot 10^{18}$ Н·м.

Землетрясение 11 января в 21^h33^m с $MS=7.2$ ($Mw=6.8$) (№ 10 в табл. 1 и 3, № 3 в табл. 2) произошло вблизи северо-западного побережья самого глубокого в Монголии пресноводного озера Хубсугул, примерно в 45 км от границы Монголии с Россией. Озеро Хубсугул является одним из 17 древнейших озёр земного шара (~ 6 млн лет), образованным на месте гигантского кратера потухшего вулкана, заполненного водой, что объясняет его глубину (262 м). Оно расположено на высоте 1645 м над уровнем моря у южного склона Восточных Саян.

Землетрясение ощутили жители сразу шести регионов России: Бурятии, Хакасии, Тувы, Красноярского края, Иркутской и Томской областей. По данным Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН [Каталог землетрясений текущего года, 2021], с максимальной интенсивностью 6 баллов по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965] землетрясение ощущалось в посёлке Монды ($\Delta=55$ км) и селе Орлик ($\Delta=138$ км), Республика

Бурятия. Сведения об ощутимости в других населённых пунктах представлены в табл. 2. По данным ТАСС, в результате землетрясения во многих школах и детских садах Иркутской области треснула и осыпалась штукатурка, в Иркутске в двух жилых домах обнаружены трещины. Гидроагрегаты Иркутской ГЭС останавливались на 40 минут. На 4 мин останавливалась работа на заводе «Саянскимпласт», где сработал датчик вибрации и на печи пиролиза отключился насос подачи топлива [На Иркутской ГЭС ..., 2021].

Эпицентр Хубсугульского землетрясения находился в 63 км к юго-западу от сильнейшего 9-балльного Мондинского землетрясения 4 апреля 1950 г. с $M=7$, которое тогда привело к образованию системы трещин протяжённостью около 600 м. Максимальная ширина главной трещины достигала 1 м, вертикальная амплитуда смещения – 0.8 м [Сильные землетрясения, 2021].

По сведениям из [Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий и др., 2021], землетрясение 11 января 2021 г. – крупнейшее за всю историю инструментальных наблюдений на Хубсугульском разломе. Землетрясение явилось следствием сейсмической активизации участка границы

древнего Тувино-Монгольского микроконтинента, в котором находятся параллельные рифтовые впадины – Хубсугульская, Дархатская и Бусингольская, – причём до начала 2021 г. район Бусингольской впадины отличался высокой сейсмичностью, район Дархатской – умеренной, а Хубсугульской – пониженной сейсмичностью [Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев и др., 2021].

За период с 11 января по 30 июня 2021 г. ССД лоцировала 56 афтершоков Хубсугульского землетрясения с $MS(MS^P)=2.5–5.4$ ($m_b=3.7–5.8$) (рис. 4 а). Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН зарегистрировал за этот период 283 афтершока с $K_p=9.5–14.8$ ($MS^P=2.5–5.8$) (рис. 4 б), 22 из них ощущались в населённых пунктах России с интенсивностью 2–5 баллов [Каталог землетрясений текущего года, 2021].

Рассмотрим более подробно два наиболее сильных афтершока Хубсугульского землетрясения, ощущавшихся на территории России, о которых в ССД были составлены Информационные сообщения.

Афтершок с $MS=5.1$ ($M_w=5.1$) (№ 45 в табл. 2) отмечен 31 марта в 00^h01^m на глубине 10 км в 30 км к юго-западу от сомона Ханх, Монголия,

Рис. 4. Главный толчок и афтершоки Хубсугульского землетрясения 11 января 2021 г. с $MS=7.2$ по данным ССД (а) и Байкальского филиала (б) ФИЦ ЕГС РАН в сопоставлении со схемой активных разломов [База данных активных ..., 2021].

1 – магнитуа MS ; 2 – ощутимое землетрясение; 3 – сведений об ощутимости не поступало; 4 – активный разлом: 1 – Хубсугульский, 2 – принадлежащий Хубсугульской разломной зоне, 3 – Западно-Хубсугульский, 4 – Восточно-Хубсугульский; 5 – государственная граница; 6 – механизм очага главного толчка и двух крупных афтершоков 31 марта с $MS=5.1$ ($m_b=5.4$) и 3 мая с $MS=5.4$ ($m_b=5.8$)

в 60 км к юго-западу от российского посёлка Монды. По данным Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН [*Каталог землетрясений текущего года*, 2021], наибольшая интенсивность сотрясений на территории РФ наблюдалась в Мондах — 4–5 баллов по шкале MSK-64. Более подробные сведения об осязательности в населённых пунктах представлены в табл. 2. Очаг землетрясения 31 марта локализован в 4 км к западу–юго-западу от эпицентра главного толчка Хубсугульского землетрясения (№ 10 в табл. 1).

Самый сильный афтершок с $MS=5.4$ ($M_w=5.7$) (№ 58 в табл. 2) Хубсугульского землетрясения зарегистрирован 3 мая в 08^h46^m. Его очаг находился на глубине 10 км в 16 км к западу–юго-западу от сомона Ханх, Монголия, в 45 км к западу–юго-западу от российского посёлка Монды. По данным [*Каталог землетрясений текущего года*, 2021], наибольшая интенсивность сотрясений на территории РФ, оцениваемая в 5 баллов по шкале MSK-64, наблюдалась в селе Кырен и посёлке Монды. Информация о проявлениях землетрясения в других населённых пунктах приведена в табл. 2. Эпицентр афтершока расположен в 11 км к северу–северо-востоку от эпицентра главного толчка Хубсугульского землетрясения (№ 10 в табл. 1) и в 13 км к северо-востоку от эпицентра афтершока 31 марта (№ 45 в табл. 2) [*Информационные сообщения*, 2021].

Согласно положению главного толчка и его афтершоков (рис. 4), во время Хубсугульской серии активизировался северо-западный участок меридиональной рифтовой зоны между Западным Хубсугульским разломом и северо-западным шельфом озера Хубсугул, где активные разломы, согласно базе данных «Карта активных разломов» [*База данных активных ...*, 2021], имеют северо-восточное простирание. Эпицентр главного толчка приурочен к изгибу активного разлома (2–2 на рис. 4а), а два крупнейших афтершока (31 марта с $MS=5.1$ (№ 45 в табл. 2) и 3 мая с $MS=5.4$ (№ 58 в табл. 2)) — к его субширотному центральному и северо-восточному концевому участкам соответственно. Как видно из рис. 4а и табл. 3, ориентация нодальных плоскостей всех трёх толчков согласуется с ориентацией соответствующих участков активного разлома, к которому они приурочены. Для главного толчка действующей, по всей видимости, является нодальная плоскость $NP1$, падающая на юго-восток, по которой произошёл сброс, а для афтершоков — плоскости $NP2$ с падением на юг и сдвиговой подвижкой для толчка № 45 и на юго-восток со сбросовой подвижкой — для толчка № 58. Выбор действующих плоскостей

в данном случае основан на совпадении ориентации и падения одной из нодальных плоскостей с таковыми для активного разлома 2–2 (рис. 4а).

Отметим общую особенность всех трёх Хубсугульских толчков — в их очагах превалировало горизонтальное северо-западное/юго-восточное растяжение, характерное, по-видимому, для Хубсугульской рифтовой зоны.

Выводы

В I полугодии 2021 г. очаги крупнейших землетрясений земного шара, как и ранее, обнаруживают чёткую приуроченность к зонам контакта крупных тектонических плит Земли, а положение в пространстве и характер сейсмогенных подвижек отвечают основным параметрам сейсмогенерирующих разломов и тенденциям геологических смещений по ним на новейшем и современном этапах тектонического развития.

Сравнительный анализ темпов выделения сейсмической энергии на земном шаре за период 2010 г. — I полугодие 2021 г. показал, что выделенная в I полугодии 2021 г. сейсмическая энергия остаётся на низком уровне, характерном для пяти последних полугодий, что значительно ниже среднего значения за последние 11.5 лет и свидетельствует о продолжающемся сейсмическом затишье.

В I полугодии 2021 г. наибольшее количество сейсмической энергии выделилось при землетрясении с $MS=7.8$, произошедшем 4 марта на островах Кермадек, Новая Зеландия. На территории России землетрясений с катастрофическими последствиями не было. Наиболее сильно (6 баллов) ощущалось Хубсугульское землетрясение 11 января с $MS=7.2$. Его афтершоками охвачен северо-западный участок Хубсугульской рифтовой зоны, а механизмы очагов главного толчка и крупнейших афтершоков свидетельствуют о преобладающем напряжении северо-западного/юго-восточного растяжения и сбросовом типе подвижек по разломам северо-восточного простирания на данном участке Хубсугульской впадины.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФИЦ ЕГС РАН Л.С. Маляновой, О.П. Каменской и А.С. Вакуловскому за помощь в подготовке графических материалов к печати.

Литература

- Акимов А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г. База данных активных разломов Евразии. Карта активных разломов. Лист М-47. Масштаб: 1:1000000. 2018 г. — URL: <http://neotec.ginras.ru/database.html> (дата обращения 12.07.2021).
- База данных «Землетрясения» Службы срочных донесений. Информационные ресурсы ФИЦ ЕГС РАН // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://www.gsras.ru/new/infres/> (дата обращения 02.07.2021).
- Виноградов Ю.А., Рыжикова М.И., Петрова Н.В., Пойгина С.Г., Коломиец М.В. Сильные землетрясения земного шара во II полугодии 2020 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 1. — С. 7–26. doi: 10.35540/2686-7907.2021.1.01
- Виноградов Ю.А., Рыжикова М.И., Пойгина С.Г., Петрова Н.В., Коломиец М.В. Сильные землетрясения на территории земного шара и России в I полугодии 2020 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. — 2020. — Т. 2, № 3. — С. 7–21. doi: 10.35540/2686-7907.2020.3.01
- ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. — Введ. 2017-07-19. — М.: Стандартинформ, 2017. — 28 с.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Радзиминович Я.Б., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Артёмова А.И., Подкорытова В.Г. Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с $M_w=6.7$, $M_L=6.9$ // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. — С. 39.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьев В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Коробельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В., Елагин С.А., Серёжников Н.А., Дураченко А.В., Артёмова А.И. Сейсмологические исследования в Алтае-Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 2. — С. 20–51. doi: 10.35540/2686-7907.2021.2.02
- Информационное сообщение о глубокоомощном землетрясении на Камчатке 15 сентября 2020 г. // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/RequestsHandler?cmd=tointfmsg&imid=139> (дата обращения 01.07.2021).
- Информационное сообщение о разрушительном землетрясении на полуострове Минахасса, Сулавеси, Индонезия 28 сентября 2018 г. // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/RequestsHandler?cmd=tointfmsg&imid=84> (дата обращения 01.07.2021).
- Информационное сообщение о сильном землетрясении в районе островов Кермадек, Новая Зеландия, 6 июля 2011 г. // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info_quake.pl?mode=1&id=175 (дата обращения 01.07.2021).
- Информационные сообщения // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/> (дата обращения 01.07.2021).
- Информация Службы срочных донесений // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения 01.07.2021).
- Казахстанский национальный центр данных [сайт]. — URL: <https://www.kndc.kz> (дата обращения 01.07.2021).
- Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. — наст. вр.) // Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН [Электронный ресурс]. — URL: <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php> (дата обращения 01.07.2021).
- Каталог землетрясений текущего года // Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://www.seis-bykl.ru/modules.php?name=Main&nowear=nowear#cat> (дата обращения 01.07.2021).
- Кондорская Н.В., Горбунова И.В., Киреев И.А., Вандышева Н.В. О составлении унифицированного каталога сильных землетрясений Северной Евразии по инструментальным данным (1901–1990 гг.) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. — Вып. 1. — М.: ИФЗ РАН, 1993. — С. 70–79.
- Красилов С.А., Акимов А.П., Коломиец М.В., Пойгина С.Г. База данных программного комплекса WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622357 от 20.11.2020 г.
- Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П., Борисов П.А. Совершенствование процесса автоматического расчёта параметров гипоцентров землетрясений в Службе срочных донесений ГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. — Обнинск: ГС РАН, 2012. — С. 153–158.
- Красилов С.А., Коломиец М.В., Пойгина С.Г. База данных «Землетрясения» Службы срочных донесений / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622314 от 18.11.2020 г.
- Ландер А.В. Программа расчёта и графического представления механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений Р-волн (FA) / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662004 от 25 сентября 2018 г.

- Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. — М.: МГК АН СССР, 1965. — 11 с.
- На Иркутской ГЭС из-за землетрясения останавливались гидроагрегаты // ТАСС [сайт]. — URL: <https://tass.ru/sibir-news/10441885> (дата обращения 30.06.2021).
- Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2010–2021 // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2010–2020 (дата обращения 01.07.2021).
- Сильные землетрясения // Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: http://www.seis-bykl.ru/modules.php?name=Seismo_vz#lable10 (дата обращения 30.06.2021).
- Число жертв землетрясения и наводнений в Индонезии достигло 96 // РИА-новости [сайт]. — URL: <https://ria.ru/20210118/zhertvy-1593447774.html> (дата обращения 30.06.2021).
- Ambraseys N.N., Free M.W. Surface-wave magnitude calibration for European region earthquakes // Journal of Earthquake Engineering. — 1997. — V. 1, Is. 1. — P. 1–22. doi: 10.1080/13632469708962359
- Bird P. An updated digital model of plate boundaries // Geochemistry Geophysics Geosystems. — 2003. — V. 4, N 3, 1027. doi: 10.1029/2001GC000252.
- Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization [сайт]. — URL: <https://www.ctbto.org> (дата обращения 01.07.2021).
- CSEM EMSC. Earthquake. Latest data contributions [Site]. — URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (дата обращения 01.07.2021).
- Global CMT Catalog Search // Global CMT Web Page [Site]. — URL: <http://www.globalcmt.org>. — Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO) of Columbia University, Columbia, SC, USA, 2021.
- Herak M., Panza G., Costa G. Theoretical and observed depth corrections for Ms // Pure and Applied Geophysics. — 2001. — V. 158. — P. 1517–1530.
- International Seismological Centre (ISC). On-line Bulletin [Site]. — URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin>. — United Kingdom, Thatcham: Internat. Seismol. Centre, 2020. doi: 10.31905/D808B830
- Petrova N.V., Gabsatarova I.P. Depth corrections to surface-wave magnitudes for intermediate and deep earthquakes in the regions of North Eurasia // Journal of Seismology. — 2020. — V. 24. — P. 203–219. doi: 10.1007/s10950-019-09900-8
- Project IDA. IDA II Stations [Site]. — URL: <https://ida.ucsd.edu/?q=stations> (дата обращения 01.07.2021).
- Swiss Seismological Service. SED. Earthquakes [Site]. — 2020. — URL: <http://www.seismo.ethz.ch/en/earthquakes/europe/last90daysMag4.5plus/> (дата обращения 11.01.2021).
- Tsunami message number 20. NWS PACIFIC TSUNAMI WARNING CENTER EWA BEACH HI 1322 UTC FRI MAR 5 2021 [Электронный ресурс]. — URL: <https://tsunami.gov/events/PHEB/2021/03/04/21063003/20/WEPA40/WEPA40.txt> (дата обращения 30.06.2021).
- M 8.1 - Kermadec Islands, New Zealand // USGS. Earthquake Hazards [Site]. — URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000dflf/executive> (дата обращения 30.06.2021).
- M 6.2 - 32 km S of Mamuju, Indonesia // USGS. Earthquake Hazards [Site]. — URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000d030/executive> (дата обращения 30.06.2021).
- Young J.B., Presgrave B.W., Aichele H., Wiens D.A., Flinn E.A. The Flinn-Engdahl regionalization scheme: the 1995 revision // Physics of the Earth and Planetary Interiors. — 1996. — N 96. — P. 223–297.

Сведения об авторах

Виноградов Юрий Анатольевич, канд. техн. наук, директор Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: yvin@gsras.ru

Рыжикова Мария Игоревна, зам. зав. отделом ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: masha@gsras.ru

Петрова Наталия Владимировна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. ORCID: 0000-0002-2052-1327. E-mail: npetrova@gsras.ru

Пойгина Светлана Германовна, науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. ORCID: 0000-0002-0796-6049. E-mail: sveta@gsras.ru

Коломиец Марина Викторовна, зав. отделом ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: kolmar@gsras.ru

Global earthquakes in the 2021 first half according to the GS RAS

© 2021 Yu.A. Vinogradov, M.I. Ryzhikova, N.V. Petrova,
S.G. Poygina, M.V. Kolomiets

GS RAS, Obninsk, Russia

Received August 2, 2021

Abstract Data on the 2021 first half Earth seismicity at the level of strong earthquakes with magnitudes $m_b \geq 6.0$ according to the Alert Service of the Geophysical Survey RAS are given. The review also includes information on 81 earthquakes in Russia and adjacent territories, felt in the settlements of the Russian Federation. For 14 strong earthquakes, within one or two days after their occurrence, Informational messages were published, and information about the focal mechanisms was giving. The strongest earthquake of the Earth with $MS=7.8$ ($Mw=8.1$) occurred on March 4 at the Kermadec Islands, New Zealand. The largest human casualties and material damage during the study period were caused by catastrophic earthquakes with $MS=5.1$ ($Mw=5.8$) and $MS=5.9$ ($Mw=6.3$), which occurred on January 14 at the Sulawesi Island, Indonesia. As a result of the earthquakes, 81 people died, 826 were injured. The strongest earthquake in Russia was the March 16 earthquake with $MS=6.7$ ($Mw=6.6$) off the eastern coast of Kamchatka. The maximum shaking intensity in Russia ($I=6$) was manifested by the strong Khuvsgul earthquake with $MS=7.2$ ($Mw=6.8$), which took place on January 11 in the Northern Mongolia, near the border with Russia. The position of the main shock and its aftershocks indicate the intensification of the seismic process in the northwestern part of the Khuvsgul rift zone. According to the focal mechanisms of the main shock and two strong aftershocks, the stress of the northwest/southeast extension prevails in this zone, and the predominant slip type along the faults of the northeast strike is a normal fault. The global seismic energy released in the 2021 first half remains, as in the previous two years, at a reduced level, relative to the average for the last 11.5 years, which indicates a continuing seismic calm.

Keywords Earthquake Early Alert Service, seismic stations, strong earthquakes, magnitude, seismic energy, focal mechanism, macroseismic effect.

For citation Vinogradov, Yu.A., Ryzhikova, M.I., Petrova, N.V., Poygina, S.G. & Kolomiets, M.V. (2021). [Global earthquakes in the 2021 first half according to the GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(3), 7-27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.01>

References

- Akimov, A.P., & Krasilov, S.A. (2020). [WSG software package "Seismic data processing system"]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020664678. (In Russ.).
- Ambraseys, N.N., & Free, M.W. (1997). Surface-wave magnitude calibration for European region earthquakes. *Journal of Earthquake Engineering*, 1(1), 1-22. doi: 10.1080/13632469708962359
- Baza dannykh aktivnykh razlomov Evrazii [Database of active faults of Eurasia and adjacent aquatories (AFEAD). Map of active faults. Sheet M-47]. (2021). Retrieved from: <http://neotec.ginras.ru/database.htm> (In Russ.).
- Baza dannykh «Zemletriaseniia» Sluzhby srochnykh doneseni. *Informatsionnye resursy FITs EGS RAN* [Earthquake Database of the Earthquake Early Alert Service. Information resources of the GS RAS]. (2021). Retrieved from: <http://www.ceme.gsras.ru/new/infres/> (In Russ.).
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4(3), 1027. doi: 10.1029/2001GC000252
- Chislo zhertv zemletriaseniia i navodnenii v Indonezii dostiglo 96 [Indonesian earthquake and flood death toll hits 96]. (2021). RIA News, January 18, 2021. Retrieved from: <https://ria.ru/20210118/zhertvy-1593447774.html> (In Russ.).
- Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. (2021). Retrieved from: <https://www.ctbto.org>
- CSEM EMSC. (2021). Earthquake. Latest data contributions. Retrieved from: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>
- Emanov A.F., Emanov A.A., Chechelitsky V.V., Shevkunova E.V., Ya.B. Radziminovich, Fateev A.V., Kobeleva E.A., Gladyshev E.A., Arapov V.V., Artemova A.I., & Podkorytova V.G. (2021). [Khuvsgul earthquake 11.01.2021, $Mw=6.7$, $ML=6.9$]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Tezisy XV Mezhdunarodnoi*

- seismologicheskoi shkoly. Otv. red. A.A. Malovichko* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XV International Seismological Workshop. Ed. A.A. Malovichko] (p. 39). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Soloviev, V.M., Shevkunova, E.V., Gladyshev, E.A., Antonov, I.A., Korabelshchikov, D.G., Podkorytova, V.G., Yankaitis, V.V., Elagin, S.A., Serezhnikov, N.A., Durachenko, A.V., & Artemova, A.I. (2021). [Seismological studies in the Altai-Sayan mountain region]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2), 20-51. doi: 10.35540/2686-7907.2021.2.02 (In Russ.).
- Global CMT Web Page. (2021). Global CMT Catalog Search. Retrieved from: <http://www.globalcmt.org>
- GOST R 57546-2017. (2017). [State Standard 57546-2017. Earthquakes. Seismic intensity scale]. Moscow, Russia: Standartinform Publ., 28 p. (In Russ.).
- GS RAS. (2021). Bulletin of Teleseismic Stations, 2010-2020. Retrieved from: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin
- Herak, M., Panza, G., & Costa, G. (2001). Theoretical and observed depth corrections for Ms. *Pure and Applied Geophysics*, 158, 1517-1530.
- Informatsiia Sluzhby srochnykh doneseni* [Earthquake Early Alert Service Information]. (2021). GS RAS. Retrieved from: <http://www.ceme.gsras.ru/new/ssd.htm> (In Russ.).
- Informatsionnoe soobshchenie o glubokom oshchutimom zemletriasenii na Kamchatke 15 sentiabria 2020 g.* [Information message about a deep tangible earthquake in Kamchatka on September 15, 2020]. (2021). GS RAS. Retrieved from: <http://mseism.gsras.ru/eqinfo/RequestsHandler?cmd=tointfmsg&imid=139> (In Russ.).
- Informatsionnoe soobshchenie o razrushitel'nom zemletriasenii na poluostrove Minakhassa, Sulavesi, Indoneziia 28 sentiabria 2018 g.* [Informational message about a devastating earthquake in the Minahasa Peninsula, Sulawesi, Indonesia September 28, 2018]. (2021). GS RAS. Retrieved from: <http://mseism.gsras.ru/eqinfo/RequestsHandler?cmd=tointfmsg&imid=84> (In Russ.).
- Informatsionnoe soobshchenie o sil'nom zemletriasenii v raione ostrovov Kermadek, Novaia Zelandiia, 6 iuliia 2011 g.* [Informational message about a strong earthquake in the Kermadec Islands, New Zealand, 6 July 2011]. (2021). GS RAS. Retrieved from: http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info_quake.pl?mode=1&id=175 (In Russ.).
- Informatsionnye soobshcheniia*. [Informational messages]. (2021). GS RAS. Retrieved from: <http://mseism.gsras.ru/eqinfo/> (In Russ.).
- International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. doi: 10.31905/D808B830
- Katalog zemletrjassenij tekushhego goda* [Earthquake catalog of the current year]. (2021). BB GS RAS. Retrieved from: <http://www.seis-bykl.ru/index.php> (In Russ.).
- Kazakhstan National Data Center. (2021). Retrieved from: <https://www.kndc.kz>
- Kondorskaya, N.V., Gorbunova, I.V., Kireev, I.A., & Vandysheva, N.V. (1993). [On compiling a unified catalog of strong earthquakes in Northern Eurasia using instrumental data (1901-1990)]. In *Seismichnost' i seismicheskoe raionirovanie Severnoi Evrazii, vyp. 1* [Seismicity and seismic zoning of Northern Eurasia, Is. 1] (pp. 70-79). Moscow, Russia: IPE RAS Publ. (In Russ.).
- Krasilov, S.A., Akimov, A.P., Kolomiets, M.V., & Poygina, S.G. (2020). [Database of the WSG software package "Seismic data processing system"]. Certificate of state registration of database No. 2020622357. (In Russ.).
- Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., & Poygina, S.G. (2020). [Database "Earthquakes" Early Alert Service]. Certificate of state registration of database No. 2020622314. (In Russ.).
- Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., Akimov, A.P., & Borisov, P.A. (2012). [Improvement of process of automatic calculation of parameters of the hypocenters of earthquakes in Alert Survey of GS RAS]. In *Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy Sed'moy Mezhdunarodnoy seismologicheskoy shkoly* [Materials of the Seventh International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 153-158). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Lander, A.V. (2018). [Program for calculating and graphing the mechanisms of earthquake sources by signs of the first arrivals of P-waves (FA)]. Certificate of state registration of a computer program No. 2018662004. (In Russ.).
- USGS. Earthquake Hazards. (2021). M 6.2 - 32 km S of Mamuju, Indonesia. Retrieved from: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000d030/executive>
- USGS. Earthquake Hazards. (2021). M 8.1 - Kermadec Islands, New Zealand. Retrieved from: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000d1flf/executive>
- Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Shkala seismicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
- Na Irkutskoi GES iz-za zemletriaseniia ostanavlivalis' gidroagregaty* [Hydroelectric units stopped at Irkutsk hydroelectric power station due to earthquake]. (2021). TASS, January 12, 2021. Retrieved from: <https://tass.ru/sibir-news/10441885> (In Russ.).

- Petrova, N.V., & Gabsatarova, I.P. (2020). Depth corrections to surface-wave magnitudes for intermediate and deep earthquakes in the regions of North Eurasia. *Journal of Seismology*, 24, 203-219. doi: 10.1007/s10950-019-09900-8
- Project IDA. (2021). IDA II Stations. Retrieved from: <https://ida.ucsd.edu/?q=stations>
- Seismological Data Information System KB GS RAS. (2021). Earthquakes Catalogue for Kamchatka and the Commander Islands (1962-present). Retrieved from: <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>
- Sil'nye zemletriaseniia* [Strong earthquakes]. (2021). BB GS RAS. Retrieved from: http://www.seis-bykl.ru/modules.php?name=Seismo_vz#lable10 (In Russ.).
- Swiss Seismological Service. (2021). SED. Earthquakes. Retrieved from: <http://www.seismo.ethz.ch/en/earthquakes/europe/last90daysMag4.5plus/>
- Tsunami message number 20*. (2021). NWS PACIFIC TSUNAMI WARNING CENTER EWA BEACH HI 1322 UTC FRI MAR 5 2021. Available at: <https://tsunami.gov/events/PHEB/2021/03/04/21063003/20/WEPA40/WEPA40.txt>
- Vinogradov, Yu.A., Ryzhikova, M.I., Petrova, N.V., Poygina, S.G., & Kolomiets, M.V. (2021). [Global earthquakes in the 2020 second half according to the GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(1), 7-26. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2021.1.01
- Vinogradov, Yu.A., Ryzhikova, M.I., Poygina, S.G., Petrova, N.V., & Kolomiets, M.V. (2020). [Strong earthquakes in the Globe and Russia in the first half of 2020 according to the GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(3), 7-21. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2020.3.01
- Young, J.B., Presgrave, B.W., Aichele, H., Wiens, D.A., & Flinn, E.A. (1996). The Flinn-Engdahl regionalization scheme: the 1995 revision. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 96, 223-297.

Information about authors

Vinogradov Yuri Anatolyevich, PhD, Director of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: yvin@gsras.ru

Ryzhikova Mariya Igorevna, Deputy Head of Department of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: masha@gsras.ru

Petrova Natalia Vladimirovna, PhD, Leading Researcher of the GS RAS, Obninsk, Russia. ORCID: 0000-0002-2052-1327. E-mail: npetrova@gsras.ru

Poygina Svetlana Germanovna, Researcher of the GS RAS, Obninsk, Russia. ORCID: 0000-0002-0796-6049. E-mail: sveta@gsras.ru

Kolomiets Marina Viktorovna, Head of Department of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: kolmar@gsras.ru