

УРАЛ

А.А. Маловичко¹, Р.А. Дягилев², Т.В. Верховланцева², Ф.Г. Верховланцев¹, И.В. Голубева¹

¹Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, amal@gsras.ru

²Горный институт УрО РАН, г. Пермь, dr@mi-perm.ru

Сеть сейсмических станций. Условия для непрерывной регистрации землетрясений в 2010 г. как на территории Уральского региона, так и на сопредельных территориях, по сравнению с таковыми в 2009 г. [1], не изменились. Сейсмические данные с части станций – «Свердловск» (SVE), «Арти» (ARU), «Соликамск» (SOKR), «Верхнечусовские Городки» (PR0R), «Романово» (PR1R), «Добрянка» (PR2R), «Кунгур» (PR3R), «Власы» (PR4R), «Екимята» (PR6R) и «Североуральск» (SVUR) – передаются через сеть Интернет в режиме, близком к реальному времени, в региональный центр сбора и обработки данных, созданный на базе ГИ УрО РАН в г. Перми [2], при этом данные станций SVE, ARU, SOKR, PR1R находятся в прямом доступе из центра обработки в г. Обнинск. Доступ к данным станций «Оренбург» (ORR), «Оренбург-2» (OR2) и «Оренбург-3» (OR3) осуществляется по запросу в Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра (ОНЦ) РАН (г. Оренбург), обслуживающим станции. Данные со станции «Каменск-Уральский» (KAUR) доставляются в ГИ УрО РАН по электронной почте с периодичностью один раз в месяц.

Для обеспечения оперативности и объективности информирования заинтересованных лиц об изменениях сейсмической ситуации в регионе разработан и наполнен необходимыми базами данных специальный информационный сайт (<http://pts.mi-perm.ru/region>) – «Сейсмологический мониторинг территории Западного Урала». На сайте представлены общие сведения о землетрясениях и сейсмической опасности, информация о сети сейсмологических наблюдений на территории региона, а также волновые формы типичных сейсмических явлений.

Карта представительности M_{\min} , учитывающая конфигурацию сети и средний уровень шумов, действовавший на станциях в 2010 г., представлена на рис. 1.

Уверенно регистрируются сейсмические события на большей части Пермского края с $M_L=2.2$, в Свердловской области – с $M_L=2.6$, в Башкортостане – с $M_L=2.8$, в Челябинской и Оренбургской областях – с $M_L=3.0$. Компактное расположение станций в районе Оренбургского газоконденсатного месторождения обеспечивает локальное снижение порога представительности в центральной части Оренбургской области до $M_L=2.0$.

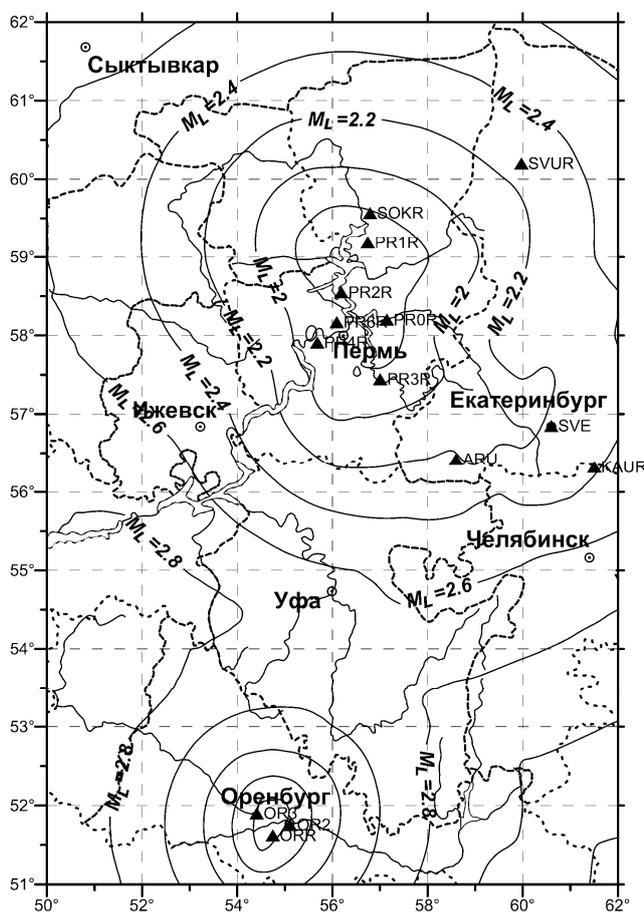


Рис. 1. Карта магнитудной представительности $M_{L\min}$ сейсмических событий на территории Урала в 2010 г.

С 2009 г. в регионе используется шкала локальных магнитуд M_L [4], которая находится в полном соответствии с классическим определением Ч. Рихтера [5]:

$$M_L = \log A + 3 + 0.920 \log(R/100) + 8.43 \cdot 10^{-4} (R - 100) + C_{st}, \quad (2)$$

где A – максимальная амплитуда синтезированной записи сейсмографа Вуда-Андерсона (в мм); R – эпицентральное расстояние (в км); C_{st} – станционная поправка.

Методика определения параметров сейсмических событий не изменилась и изложена в [3]. При обработке сейсмических записей ведется определение типа сейсмических источников (взрыв, обвал или тектоническое землетрясение). Тектонические землетрясения делятся на телесеismicкие и региональные. Последние могут быть как природными, так и связанными с ведением горных работ: горные удары (ГУ), горно-тектонические удары (ГТУ). Распределение сейсмических событий по трем основным типам, начиная с 2000 г., представлено на рис. 2.

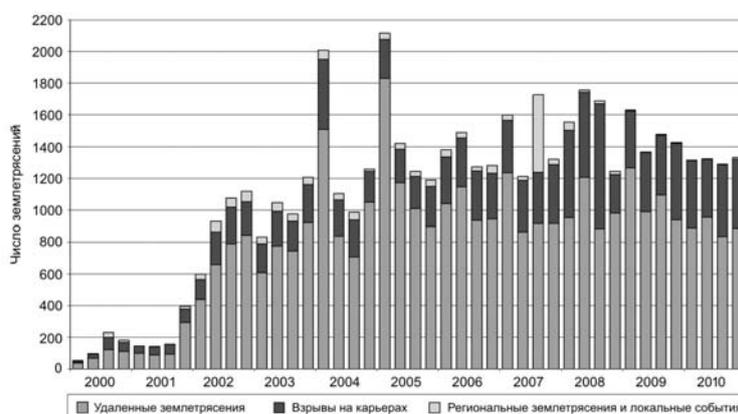


Рис. 2. Изменение числа сейсмических событий разных типов, зарегистрированных станциями Урала в 2000–2010 гг.

На гистограмме можно видеть, что представительные данные о числе сейсмических событий региона имеются примерно с конца 2002 г. Доля местных событий держится на уровне ~27 %, при этом большая их часть (>80 %) представлена взрывами, производимыми горнодобывающими предприятиями. Окончательная идентификация большинства взрывов проводится после сопоставления со сводками о взрывных работах в регионе. Сопоставление ведется для всех карьеров, шахт и рудников Пермского края и для некоторых крупных горнодобывающих объектов в Свердловской области. В спорных случаях, когда сейсмические события происходят вблизи горнодобывающих объектов, но не значатся среди взрывов, их идентификация проводится по ряду формальных признаков способом, описанным ранее [6, 3]. На территориях, где нет информации о проведенных взрывах, тип очага определяется по степени близости эпицентра к известным горнодобывающим предприятиям с привлечением критериев распознавания по особенностям волновых форм [6].

В общей сложности сейсмическими станциями Уральского региона в 2010 г. были зарегистрированы 26 землетрясений (табл. 1) [7]. Из них 19 являются горно-тектоническими ударами на СУБРе, 3 события, бесспорно, являются природными тектоническими землетрясениями, оставшиеся 4 события также могут иметь природное происхождение, так как для них иные причины менее вероятны. Пространственное распределение очагов сейсмических событий отражено на карте эпицентров землетрясений (рис. 3).

Сравнение карты эпицентров 2010 г. с аналогичными картами за предыдущие годы [4, 3] показывает, что основная сейсмичность проявляется в одних и тех же зонах, а их активность сохраняется примерно на одном уровне.

Самым сильным ($M_L=3.9$) сейсмическим событием на контролируемой территории региона стало землетрясение в районе г. Качканар. Оно произошло 29 марта в 21^h02^m в 25 км северо-западнее города, на границе между Свердловской областью и Пермским краем.

Интенсивность сотрясений в эпицентре I_0 достигала 5 баллов. Оно ощущалось также в ближайших населенных пунктах в радиусе 40–50 км [7].

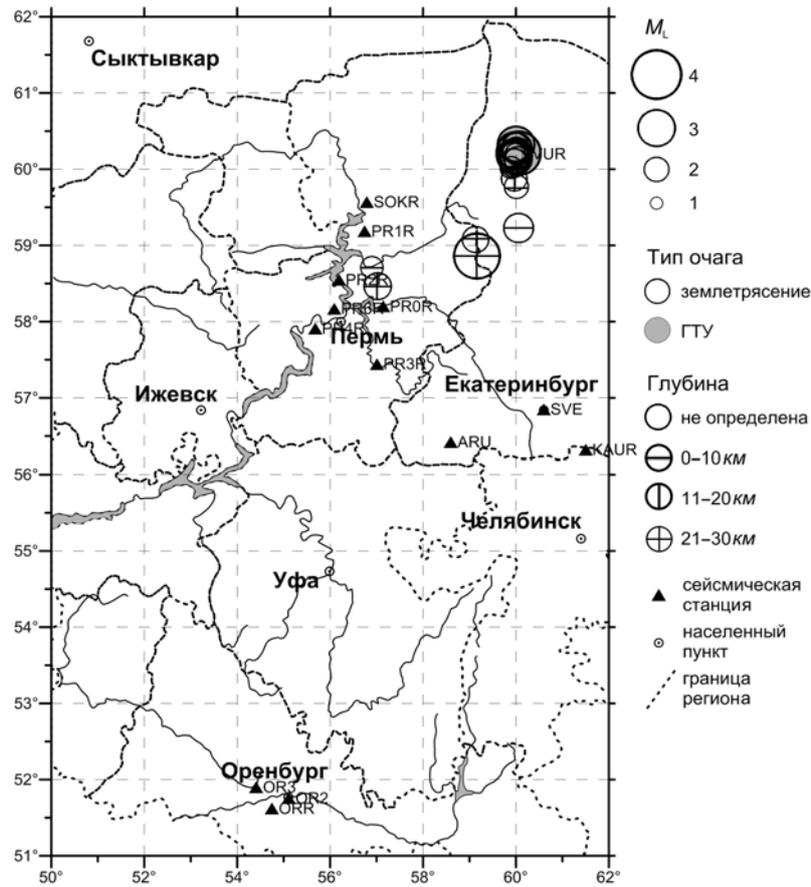


Рис. 3. Карта эпицентров 26 сейсмических событий Урала в 2010 г.

1 – магнитуа M_L ; 2– тип очага; 3 – глубина гипоцентра h , км ; 4 – сейсмическая станция; 5 – населенный пункт, г. Пермь; 6–8 – граница региона, административная и государственная соответственно.

Таблица 1. Тектонические землетрясения Урала в 2010 г.

№	Дата, д м г	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	M_L	Район	Природа события
			φ° , N	λ° , E				
1	29.03	21 02 18	58.86	59.16	21	3.9	г. Качканар	землетрясение
2	08.04	17 59 06	59.08	59.13	10f	2.0	г. Качканар	землетрясение
3	14.07	20 55 33	59.23	60.06	9	2.4	пос. Лобва	возможно землетрясение
4	13.08	20 28 57	58.46	57.03	22	2.1	Пермский край, Добрянский р-н, пос. Голубята	землетрясение
5	11.09	20 54 44	58.71	56.90	10f	1.5	Пермский край, Добрянский р-н, с. Перемское	возможно землетрясение
6	11.11	05 16 14	59.77	60.01	10f	1.7	г. Карпинск	возможно землетрясение
7	29.11	02 39 37	59.88	59.96	15	1.9	г. Волчанск	возможно землетрясение

Произошедшее землетрясение является первым сильным тектоническим землетрясением на Урале, для которого определены все основные параметры очага, включая его механизм [8]. Через 10 дней после землетрясения в данном районе был зарегистрирован еще один толчок с $M_L=2$, который в силу своей пространственно-временной близости к Качканарскому землетрясению был признан его единственным афтершоком. Величина энергетической ступени между главным толчком и афтершоком равна

$$\Delta M_{L a} = 3.9 - 2.0 = 1.9,$$

что несколько превышает аналогичные оценки для многих тектонических землетрясений. Полное описание землетрясения 29 марта и результаты макросейсмических обследований изложены в отдельной статье, представленной в данном сборнике [9].

Так как основные тектонические структуры Урала территориально расположены в Свердловской области, то здесь стоит отметить еще три события тектонической природы:

- землетрясение в районе пос. Лобва, произошедшее 14 июля в 20^h56^m с $M_L=2.4$;
- землетрясение 11 ноября в 05^h06^m с $M_L=1.7$, с эпицентром в г. Карпинск;
- землетрясение 29 ноября в 02^h39^m с $M_L=1.9$ и очагом недалеко от г. Волчанск [10].

Данные очаги отнесены к категории «возможно землетрясение», так как близки к шахтам СУБРа, и есть вероятность, что это типичные ГТУ, расположенные в зоне влияния горных работ, но их местоположение определено со значительной ошибкой. Если это так, то они не могут быть взрывами, так как все произведенные взрывы на шахтах СУБРа известны. С другой стороны, если действительная ошибка δ определения координат все же лежит в пределах приемлемой для данной зоны величины $\delta=\pm 10$ км, других действующих по близости горнодобывающих объектов, которые могли бы производить взрывные работы, нет. Таким образом, нет сомнений в тектонической природе очагов, но есть неясность по части их природного происхождения.

В пределах Пермского края можно отметить два землетрясения в Добрянском районе. Первое было зафиксировано 13 августа в 20^h28^m четырьмя сейсмическими станциями. Его очаг располагался в районе пос. Голубята и имел магнитуду $M_L=2.1$ (табл. 1). Надежную оценку глубины очага $h=22$ км удалось обеспечить благодаря близкому расположению станции «Добрянка». Глубина очага стала основным критерием, по которому он был отнесен к категории тектонических землетрясений. Второе землетрясение произошло 11 сентября в 20^h54^m в районе с. Перемское. Его очаг был слабее ($M_L=1.5$), поэтому, несмотря на близость четырех сейсмических станций, нечеткие вступления на их записях не позволили точно установить глубину. Глубина была принята равной 10 км, что соответствует среднему значению глубин для данного района. Событие не является взрывом, так как поблизости нет ни одного карьера. Очаг отнесен к категории «возможно землетрясение», так как нет полной уверенности в его природном происхождении. В районе эпицентра разрабатывается несколько нефтяных месторождений, и повышенная техногенная нагрузка на недра могла спровоцировать данное событие. Стоит отметить, что в данном районе похожие события отмечались и ранее.

Менее всего подвергается сомнению техногенная составляющая многочисленных событий, фиксируемых в районе г. Североуральска (табл. 2). Все они ассоциируются с горно-тектоническими ударами, происходящими в рудниках бокситового месторождения (СУБР), и подтверждаются Службой предотвращения и предупреждения горных ударов предприятия. Всего за 2010 г. региональной сетью сейсмических станций зафиксировано 19 таких событий с магнитудами от 1.5 до 4.1.

Таблица 2. Горно-тектонические удары на ОАО «СУБР» в 2010 г.

№	Дата д м	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			M_L	Природа
			φ° , N	λ° , E	h , км		
1	04.01	03 41 44	60.17	59.97	1f	3.1	ГТУ
2	13.02	03 43 54	60.21	60.06	1f	4.1	ГТУ
3	13.02	08 43 33	60.10	59.95	1f	2.0	ГТУ
4	15.02	14 16 41	60.12	60.05	1f	2.1	ГТУ
5	15.03	23 04 18	60.29	59.95	1f	2.5	ГТУ
6	13.06	10 56 05	60.20	60.01	1f	1.5	ГТУ
7	25.06	05 55 36	60.19	59.92	1f	1.9	ГТУ
8	23.07	09 40 23	60.20	59.94	1f	2.3	ГТУ
9	28.08	11 18 45	60.08	59.96	1f	2.3	ГТУ
10	19.09	16 47 31	60.29	60.01	1f	2.3	ГТУ
11	13.10	06 59 34	60.19	59.97	1f	2.4	ГТУ
12	27.10	22 00 58	60.28	60.02	1f	2.5	ГТУ
13	27.10	23 11 01	60.32	60.00	1f	3.6	ГТУ
14	12.12	00 25 58	60.17	59.97	1f	3.1	ГТУ
15	12.12	00 26 13	60.17	59.97	1f	2.4	ГТУ
16	12.12	00 27 11	60.17	59.97	1f	2.2	ГТУ
17	16.12	13 56 56	60.24	60.01	1f	2.1	ГТУ
18	17.12	19 17 01	60.20	59.90	1f	2.2	ГТУ
19	19.12	23 17 02	60.02	59.90	1f	1.5	ГТУ

Как видно из гистограммы (рис. 4), наибольшее число событий на СУБРе имеет магнитуды 2.1–2.5. Фактическое число ГТУ в данном диапазоне магнитуд гораздо больше, но такие события, имея магнитуду ниже порога чувствительности сети, фиксируются только одной ближайшей станцией «Североуральск» и на диаграмме не отражены. События с $M_L>3$ единичны, но они зафиксированы без пропусков, в том числе и станциями других агентств.

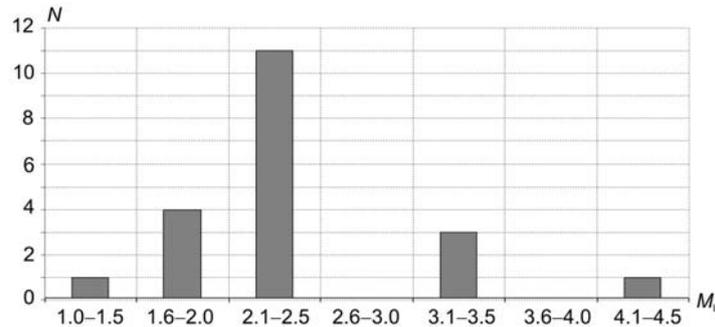


Рис. 4. Гистограмма распределения событий техногенной природы по магнитудам

Среди техногенных очагов на СУБРе самым сильным стал ГТУ на шахте «Красная Шапочка». Событие произошло 13 февраля в 03^h43^m и было зафиксирован пятью сейсмическими станциями региона (рис. 5).

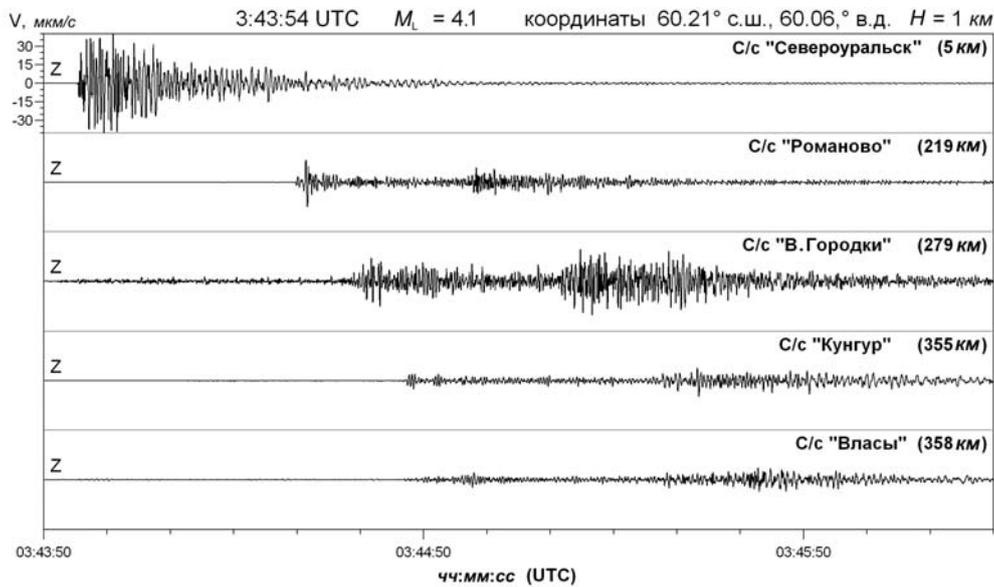


Рис. 5. Записи горно-тектонического удара 13 февраля 2010 г. на шахте «Красная шапочка» (СУБР)

Локальная магнитуда M_L удара, оцененная по полученным записям, составила 4.1. Для этого удара имеются альтернативные варианты решений, полученные другими агентствами (табл. 3).

Таблица 3. Разные решения параметров горно-тектонического удара 13 февраля в 03^h43^m в Свердловской области по данным Уральской сети в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км		
PERM	03 43 54		60.21		60.06		1f	$M_L=4.1$	[2, 11]
MOS	03 43 54	1.1	60.132	0.06	59.996	0.06	10f	$M_S=4.5/4$, $M_{PSP}=4.7/44$	[12]
NNC	03 44 03.9	2.1	59.544		60.941		5-8.1	$m_b=4.5$, $m_{pv}=4.7$	[13]
BJI	03 43 52.3	1.9	60.30		60.00		10	$M_S=4.9/7$, $m_b=4.5/27$	[14]
CSEM	03 43 54.1	0.14	60.264		60.174			$m_b=4.5/47$	[14]
IDC	03 43 55.0	0.41	60.225		50.993		0f	$m_b=4.1/27$	[14]
NEIC	03 43 55.9	0.23	60.206		60.023		10f	$m_b=4.7/48$	[14]
ISC	03 43 56	0.48	60.19	0.05	60.00	0.06	14	$M_S=4.8/4$, $m_b=4.5/83$	[14]

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в «Обозначениях» к наст. сб.

Работы на шахте в тот момент не велись (выходной день), пострадавших не было. Существенных повреждений в шахте нет. В ближайших населенных пунктах (г. Североуральск, пос. Калья, пос. Третий Северный, пос. Черемухово) событие имело макросейсмические проявления с интенсивностью $I=4-5$ баллов, но повреждений и разрушений не отмечено. Согласно имеющимся данным опроса населения, землетрясение вызвало испуг, в некоторых случаях сильный испуг, все бодрствующие отмечали сотрясения как сильные, спящие люди просыпались, иногда встревоженные выходили из дома. В помещениях качалась легкая мебель, вибрировали мелкие предметы.

Отметим еще два ГТУ, зарегистрированных 4 января в 03^h41^m и 27 октября в 23^h11^m на СУБРе, которые также были записаны не только станциями региона, но и другими агентствами. Сведений об интенсивности сотрясений на поверхности нет. В табл. 4 и 5 приведены разные решения их параметров.

Таблица 4. Разные решения параметров горно-тектонического удара 4 января в 03^h41^m в Свердловской области по данным Уральской сети в сопоставлении с определениями агентства NNC

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км		
PERM	03 41 44.0		60.17		59.97		1f	$M_L=3.1$	[2, 11]
NNC	03 41 52.9	2.9	59.48	0.15	60.93	0.24	0	$m_b=3.8, m_{pv}=3.9$	[13]

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в «Обозначениях» к наст. сб.

Таблица 5. Разные решения параметров горно-тектонического удара 27 октября в 23^h11^m в Свердловской области по данным Уральской сети в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км		
PERM	23 11 01.0		60.32		60.00		1f	$M_L=3.6$	[2, 112]
NNC	23 11 04.2	1.8	59.83	0.15	60.49	0.11	4	$m_b=4.3, m_{pv}=4.4$	[13]
IDC	23 10 58.4	0.9	60.41	0.21	60.02	0.10	0f	$m_b=3.5/8, ML=3.5/9$	[14]
ISC	23 10 58.7	1.0	60.27	0.12	60.14	0.09	10	$m_b=3.9/3$	[14]

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в «Обозначениях» к наст. сб.

Итоговое распределение событий разных типов по магнитудам M_L и суммарное распределение сейсмической энергии ΣE в регионе представлено в табл. 6. Энергия событий рассчитывалась по формуле Капатоги [15], применимой для диапазона магнитуд $1.5 < M_L < 6.0$:

$$\lg E = 1.96 M_L + 2.05.$$

Таблица 6. Распределение числа сейсмических событий Урала 2010 г. в различных интервалах магнитуд и суммарной выделившейся сейсмической энергии

Тип события	M_L				N_Σ	ΣE , 10^9 Дж
	0–1.0	1.1–2.0	2.1–3.0	3.1–4.5		
Землетрясение/возможно землетрясение		4	2	1	7	4.94
ГТУ		4	12	3	19	13.79
Всего		8	18	4	26	18.74

В заключение можно отметить, что в 2010 г. число зарегистрированных событий возросло по сравнению с таковым ($N=14$) в 2009 г. главным образом, за счет роста техногенной сейсмичности в районе г. Североуральск. За счет двух сильных землетрясений с $M_L > 4$ увеличилось количество суммарной выделившейся энергии ΣE с $1.795 \cdot 10^9$ Дж в 2009 г. до $18.73 \cdot 10^{10}$ Дж – в 2010 г. Самым значительным в 2010 г. стало землетрясение 29 марта в районе г. Качканар с $M_L=3.9$ [7, 8], для которого были детально изучены параметры очага, собран значительный объем макросейсмических данных.

Л и т е р а т у р а

1. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Верхоланцева Т.В., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В. Урал // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 217–224.
2. Сейсмологический мониторинг территории Западного Урала – Пермь: ГИ УрО РАН, 2010. – URL: <http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm>.
3. Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Верхоланцев А.В. Пермский край 2000–2005 гг. // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 269–289.
4. Дягилев Р.А., Маловичко А.А. Мониторинг природной и техногенной сейсмичности в пределах градопромышленных агломераций и выделение тектонически активных зон для территории Западного Урала в целях повышения геодинамической безопасности эксплуатации ответственных объектов. Отчет о научно-исследовательской работе. Фонды ГИ УрО РАН. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – 83 с.
5. Рихтер Ч. Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 13–44.
6. Дягилев Р.А., Голубева И.В. Оценка эффективности критерия распознавания сейсмических событий A_s/A_p для станций Уральского региона с применением статистических подходов // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 78–80.
7. Верхоланцев Ф.Г., Дягилев Р.А. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г., макросейсмические проявления // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 46–55.
8. Дягилев Р.А., Голубева И.В. Параметры Качканарского землетрясения 29 марта 2010 г. по инструментальным данным // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 89–93.
9. Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. с $K_p=12.1$, $M_w=4.4$, $I_0=5$ (Урал). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
10. Голубева И.В., Дягилев Р.А. (отв. сост.), Белевская М.А., Верхоланцева Т.В., Старикович Е.Н. (сост.). Каталог землетрясений, горных и горно-тектонических ударов на территории Урала и прилегающих районов за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. Габсатарова И.П., Баранов С.В., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Надёжка Л.И., Санина И.А. (отв. сост.), Асминг В.Э., Нахшина Л.П., Коломиец О.А., Белевская М.А., Верхоланцев Ф.Г., Волосов С.Г., Гончаров А.И., Константиновская Н.Л., Куликов В.И., Нестеркина М.А., Мунирова Л.М., Пивоваров С.П., Старикович Е.Н. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь // Землетрясения России в 2010 году. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 120–121.
12. Болдырева Н.В. (отв. сост.), Аторина М.А., Бабкина В.Ф., Дуленцова Л.Г., Малянова Л.С., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. (сост.). Каталог землетрясений Земли за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
13. Казахстанский национальный центр данных. – URL: <http://www.kndc.kz/index.php/ru>.
14. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
15. Kanamori H., Mori J., Hauksson E., Heaton T.H., Hutton L.K. and Jones L.M. Determination of earthquake energy release and M_L using TERRAscope. // Bull. Seism. Soc. Am. – 1993. – 83. – N 2. – P. 330–346.