

УРАЛ

А.А. Маловичко¹, Р.А. Дягилев², Д.А. Маловичко², Ф.Г. Верхованцев¹, И.В. Голубева¹

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

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

Сеть сейсмических станций Урала в 2007 г., по сравнению с [1], была дополнена двумя станциями на Среднем Урале – «Каменск-Уральский»-KAUR со 2 апреля и «Североуральск»-SVUR с 9 июня. Оборудование первой из них размещено на поверхности – на постаменте в помещении одного из зданий НПО «Октябрь». Здание редко посещается людьми, к тому же расположено в 25 км к западу от г. Каменск-Уральский, что обеспечивает приемлемый уровень шумов при регистрации сейсмических событий. Станция «Североуральск» расположена в одной из горных выработок ОАО «СУБР» на глубине 355 м. Также расширен сегмент сети на Южном Урале – открыта новая станция «Оренбург-2»-OR2 в юго-западной части г. Оренбург, датчики которой размещены в подземном бункере на глубине 3 м. Общее число станций в 2007 г. равно $n=13$, из которых две («Арти», «Соликамск») входят в телесеismicкую сеть федерального уровня, остальные 11 – региональные.

Таблица 1. Сейсмические станции Уральской сейсмической сети в 2007 г.

№	Станция		Дата открытия (закрытия)	Координаты		h_y , м	Тип грунтов в месте установки приборов
	Название	Код		φ° , N	λ° , E		
1	Свердловск	SVE	21.10.1906	56.83	60.63	278	Кристаллический массив, змеевик
2	Арти	ARU	01.01.1976	56.43	58.563	250	Суглинок
3	Соликамск	SOKR	05.12.1999 (25.10.2002) 15.02.2003	59.572	56.792	-86.5	Соляной массив
4	Романово	PR1R	18.08.2000	59.18458	56.74457	144	Глина
5	Добрянка	PR2R	03.12.2001	58.5482	56.1868	122	Суглинок
6	Кунгур	PR3R	03.04.2003	57.4437	57.0059	116	Гипсовый массив
7	Верхнечусовские городки	PR0R	24.10.2003	58.199	57.1407	120.5	Глина
8	Оренбург	ORR	26.10.2004	51.6184	54.753	108.6	Глина
9	Власы	PR4R	07.02.2006	57.9137	55.6777	152	Суглинок
10	Екимьята	PR6R	08.11.2006	58.1658	56.0925	163	Суглинок
		A01	08.11.2006	58.16400	56.0899	167	Суглинок
		A02	08.11.2006	58.1655	56.0967	170	Суглинок
		A03	08.11.2006	58.1679	56.0914	154	Суглинок
		A04	08.11.2006	58.1698	56.0962	155	Суглинок
		A05	08.11.2006	58.1650	56.0840	163	Суглинок
	A06	08.11.2006	58.1619	56.0968	165	Суглинок	
11	Каменск-Уральский	KAUR	02.04.2007	56.4318	61.5030	166	Песчаник
12	Североуральск	SVUR	09.06.2007	60.19853	59.97782	-139	Известняк
13	Оренбург-2	OR2	31.08.2007	51.7350	55.0340	86	Глина

Сведения об аппаратуре станций региона даны в табл. 2. Сравнение приведенной в таблице чувствительности станций в 2007 г. с таковой в 2006 г. [1] показывает их идентичность, т.е. изменений нет. Поэтому рассмотрим лишь три новых станции. На станции «Североуральск» используется оборудование DAS/ARS и сейсмоприемники Teledyne S-13. Станция имеет 16-разрядный АЦП, частоту квантования входного сигнала 20 Гц, что обеспечивает частотный диапазон от 0.5 до 7 Гц. Имеются также триггерные каналы с частотой квантования 200 Гц и по-

лосой пропускания до 30 Гц. Станции «Каменск-Уральский» и «Оренбург-2» оборудованы комплектом датчиков CM-3-KB и 16-разрядными модулями SDAS v3.11, производящими сбор данных с частотой квантования 20 и 40 Гц соответственно. На станции «Оренбург-2» также заведены триггерные каналы с частотой квантования 100 Гц и полосой пропускания до 30 Гц.

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых сейсмических станций (ЦСС) Уральского региона в 2007 г.

Название станции	Тип ЦСС и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП, бит	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с)
Свердловск	SDAS+CM-3-OC	BH (N, E, Z) v	0.02 – 7	20	16	$(3.18, 4.37, 2.95) \cdot 10^8$
		BL (N, E, Z) v	0.02 – 7	20	16	$(9.93, 13.67, 9.21) \cdot 10^6$
Арты	IRIS/IDA+ STS-1V VBB	BH (N, E, Z) v	0.003 – 7	20	24	$(1.69, 1.67, 1.69) \cdot 10^9$
		BL (N, E, Z) v	0.003 – 7	20	24	$(1.53, 1.52, 1.54) \cdot 10^7$
		EH (N, E, Z) v	0.003 – 10	200	24	$(3.55, 3.56, 3.56) \cdot 10^9$
		SH (N, E, Z) v	0.003 – 10	40	24	$(5.80, 5.82, 5.82) \cdot 10^7$
Соликамск	DAS/ARS+CM-3-OC DAS/ARS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.02 – 7	20	16	$3.265 \cdot 10^7$
		EH (N, E, Z) v	0.5 – 30	200	16	$8.60 \cdot 10^7$
Романово	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(3.29, 2.99, 2.89) \cdot 10^9$
		BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(2.57, 3.12, 2.22) \cdot 10^7$
	с 22.11.2001	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(3.34, 2.80, 2.83) \cdot 10^9$
	с 22.11.2001	BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(2.61, 2.18, 2.22) \cdot 10^7$
	с 22.11.2001	EH (N, E, Z) v	0.5 – 30	100	16	$(3.34, 2.80, 2.83) \cdot 10^9$
с 22.11.2001	EL (N, E, Z) v	0.5 – 30	100	16	$(2.61, 2.18, 2.22) \cdot 10^7$	
Добрянка	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$2.44 \cdot 10^9$
		BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$6.11 \cdot 10^8$
		EH (N, E, Z) v	0.5 – 30	100	16	$2.44 \cdot 10^9$
		EL (N, E, Z) v	0.5 – 30	100	16	$6.11 \cdot 10^8$
Кунгур	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$3.49 \cdot 10^8$
		BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$3.05 \cdot 10^7$
	с 17.01.2008	SH (N, E, Z) v	0.5 – 14	40	16	$3.49 \cdot 10^8$
с 17.01.2008	SL (N, E, Z) v	0.5 – 14	40	16	$3.05 \cdot 10^7$	
Верхнечусовские городки	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(2.26, 1.89, 2.42) \cdot 10^8$
		BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(7.06, 5.91, 7.56) \cdot 10^6$
	с 31.01.2006	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(2.34, 2.52, 2.37) \cdot 10^8$
	с 31.01.2006	BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(7.31, 7.88, 7.41) \cdot 10^6$
	с 31.01.2006	EH (N, E, Z) v	0.5 – 14	40	16	$(2.34, 2.52, 2.37) \cdot 10^8$
с 31.01.2006	EL (N, E, Z) v	0.5 – 14	40	16	$(7.31, 7.88, 7.41) \cdot 10^6$	
Оренбург	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(2.65, 2.60, 2.59) \cdot 10^8$
		SH (N, E, Z) v	0.5 – 17	50	16	$(2.65, 2.60, 2.59) \cdot 10^8$
Власы	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(1.76, 1.42, 1.17) \cdot 10^9$
		BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(1.10, 0.886, 0.733) \cdot 10^8$
Екимята	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(8.80, 2.95, 4.44) \cdot 10^7$
		BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$(2.20, 0.74, 1.11) \cdot 10^7$
		A1(Z) v	0.5 – 30	100	16	$3.80 \cdot 10^7$
		A2(Z) v	0.5 – 30	100	16	$7.81 \cdot 10^7$
		A3(Z) v	0.5 – 30	100	16	$1.03 \cdot 10^8$
		A4(Z) v	0.5 – 30	100	16	$3.00 \cdot 10^7$
		A5(Z) v	0.5 – 30	100	16	$1.81 \cdot 10^8$
		A6(Z) v	0.5 – 30	100	16	$1.20 \cdot 10^8$
Каменск-Уральский	SDAS+CM-3-KB	SH (N, E, Z) v	0.5 – 14	40	16	$(5.26, 5.26, 5.79) \cdot 10^8$
		SL (N, E, Z) v	0.5 – 14	40	16	$(5.26, 5.26, 5.79) \cdot 10^8$
Североуральск	DAS/ARS+ Teledyne S-13	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	$4.19 \cdot 10^7$
		EH (N, E, Z) v	0.5 – 30	200	16	$4.19 \cdot 10^7$

Название станции	Тип ЦСС и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП, бит	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с)
Оренбург-2	SDAS+CM-3-KB	BH (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	(2.65, 2.79, 2.61)·10 ⁸
		BL (N, E, Z) v	0.5 – 7	20	16	(8.28, 8.72, 8.16)·10 ⁶
		SH (N, E, Z) v	0.5 – 30	100	16	(2.65, 2.79, 2.61)·10 ⁸
		SL (N, E, Z) v	0.5 – 30	100	16	(8.28, 8.72, 8.16)·10 ⁶

Схема сбора данных. Сейсмические данные со станций «Свердловск», «Арти», «Соликамск», «Верхнечусовские городки», «Романово», «Добрянка», «Кунгур», «Власы», «Екимята» и «Североуральск» через сеть Интернет в режиме, близком к реальному времени, передаются в региональный центр сбора и обработки данных, созданный на базе ГИ УрО РАН в г. Пермь; при этом данные станций SVE, ARU, SOKR, PR1R, SVUR находятся в прямом доступе из центра обработки в г. Обнинск. Доступ к данным станций «Оренбург» и «Оренбург-2» осуществляется по запросу в отдел геоэкологии Оренбургского научного центра (ОИЦ) РАН (г. Оренбург), обслуживающий станцию. Данные станции «Каменск-Уральский» доставляются в ГИ УрО РАН по почте на цифровых носителях один раз в месяц.

Уровень микросейсмического шума измерен для всех станций региона. Осредненные спектральные характеристики шумов, определенные по данным наблюдений 2007 г., представлены на рис. 1 а, б. Как видим, каждая из действующих станций имеет различные условия приема сигналов (уровень шумов, грунты), что обуславливает их различную чувствительность к сейсмическим событиям разной магнитуды. Наиболее «тихими» были станции «Романово», «Екимята» и «Добрянка», высокий уровень шумов отмечен на станциях «Свердловск», «Арти», «Власы», «Североуральск» и «Оренбург».

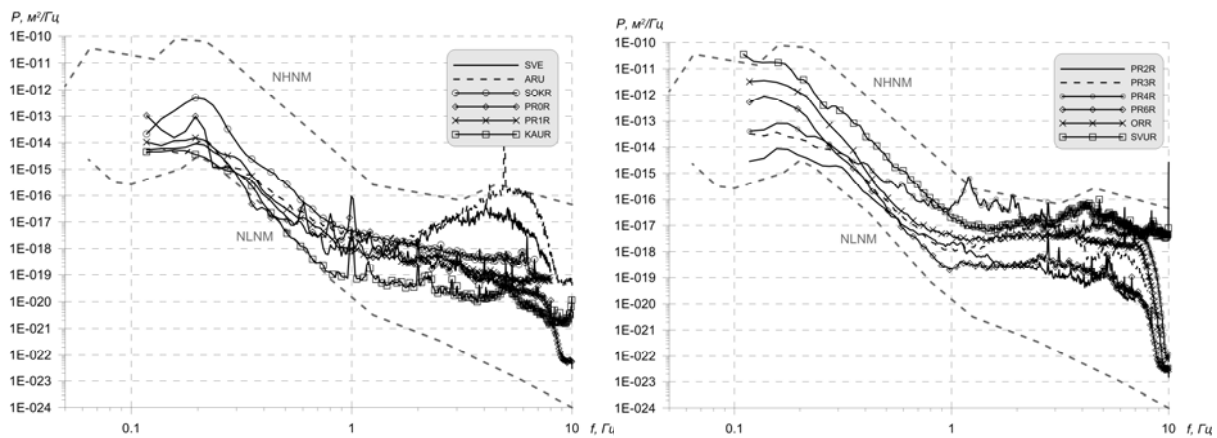


Рис. 1. Спектры мощности микросейсмических шумов на сейсмических станциях Урала в 2007 г.

Сведения о среднем уровне фоновых микросейсмических шумов в симуляции сейсмографа Вуда–Андерсона, которые использовались при расчете карты магнитудной представительности сейсмических событий ML_{min} , даны в табл. 3.

Таблица 3. Средний уровень амплитуд микросейсмических шумов в симуляции сейсмографа Вуда–Андерсона в диапазоне частот $f=1-10$ Гц

Станция	A_N , мм	Станция	A_N , мм	Станция	A_N , мм
Свердловск	0.021	Кунгур	0.011	Екимята	0.004
Арти	0.042	Верхнечусовские городки	0.020	Оренбург	0.020
Соликамск	0.010	Власы	0.033	Оренбург-2	0.018
Романово	0.007	Каменск-Уральский	0.008	Североуральск	0.046
Добрянка	0.005				

Карта M_{min} , представленная на рис. 2, построена для новой конфигурации сети. Как видим, региональная сеть (табл. 1) обеспечивает регистрацию всех землетрясений и микроземлетрясений с $ML > 1.5$ в центральной части Пермского края (г. Соликамск, Березники, Добрянка, Чусовой, Пермь и Кунгур), где расположено множество гражданских и промышленных объектов [2]. На большей части Пермского края уверенно регистрируются сейсмические события, начиная с $ML=2.2$, в Свердловской области – с $ML=2.6$, в Башкортостане – с $ML=2.8$, в Челябинской и Оренбургской областях – с $ML=3.0$.

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

На этой же диаграмме можно видеть, что представительные данные о числе сейсмических событий региона имеются примерно с конца 2002 г. Доля местных событий держится на уровне ~26%, при этом большая их часть (>80%) представлена взрывами, производимыми горно-добывающими предприятиями. Окончательная идентификация взрывов проводится после сопоставления с соответствующими сведениями о взрывных работах. Сопоставление ведется для всех карьеров, шахт и рудников, расположенных на территории Пермского края. Аналогичные сведения с предприятий других регионов неполны, поэтому для них идентификация очагов проводится по ряду формальных признаков способом, описанным ранее [3], и по степени близости к известным горно-добывающим предприятиям.

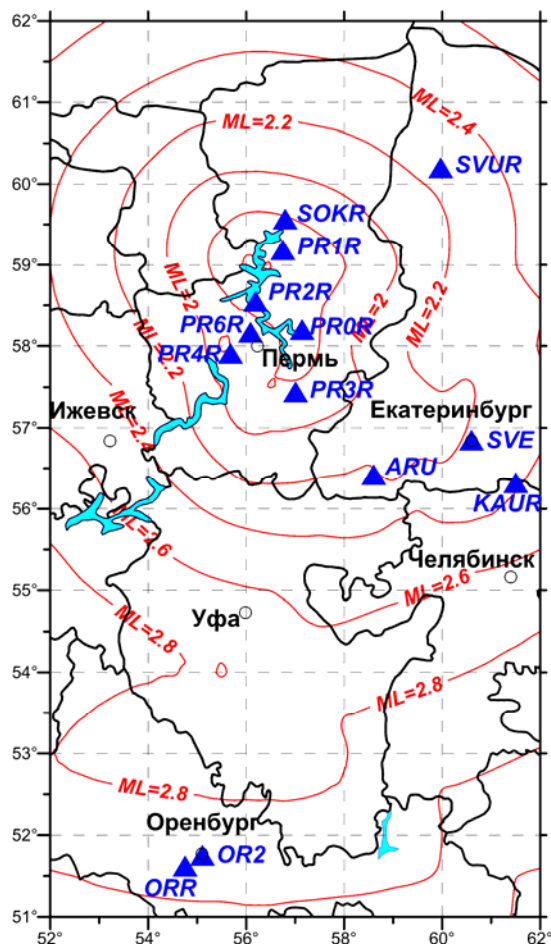


Рис. 2. Карта магнитудной представительности M_{min} на территории Урала в 2007 г.

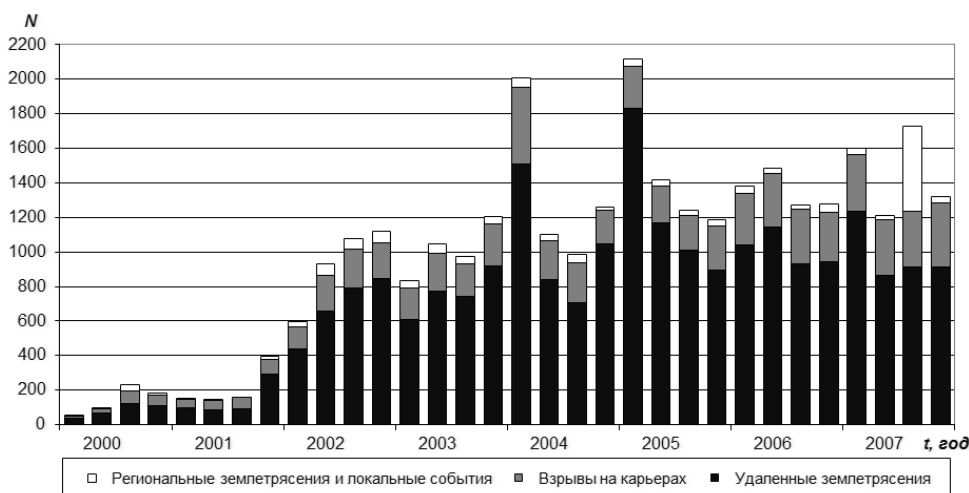


Рис. 3. Изменение числа сейсмических событий разных типов, зарегистрированных станциями Урала в 2000–2007 гг.

Оценка магнитуд в регионе проводилась в 2007 г. по локальной шкале магнитуд M_{LgV} , использующей в качестве динамической характеристики события максимальную скорость колебаний земной поверхности. Зависимость магнитуды от максимальной скорости колебаний (V_{max} , мкм/с) и гипоцентрального расстояния (R , км) имеет вид:

$$M_{LgV} = 1.39 \lg(V_{max}) + 2.23 \lg(R) - 2.44 \quad (1a)$$

для горизонтальной компоненты и

$$M_{LgV} = 1.39 \lg(V_{max}) + 2.23 \lg(R) - 2.04 \quad (16)$$

для вертикальной компоненты. Поскольку максимальную амплитуду на регистрируемых волновых формах, как правило, имели Lg -волны, шкала получила условное обозначение M_{LgV} . Именно эти магнитуды используются в настоящей статье.

С 2009 г. в регионе произошло изменение шкалы локальных магнитуд – сделан переход к шкале M_L , которая показала лучшую внутреннюю сходимость и, к тому же, находится в полном соответствии с классическим определением Ч. Рихтера [4]:

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

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

Учесть имеющиеся расхождения в шкалах позволяет корреляционное соотношение, полученное по одному набору данных 2008–2009 гг.:

$$M_L = 0.66 M_{LgV} + 0.73. \quad (3)$$

Результаты. В 2007 г. региональной сетью было локализовано свыше 30 сейсмических событий [5], связанных с тектонической активностью недр, и 8 событий обвального характера. Карта их эпицентров дана на рис. 4. Кроме того, зарегистрировано более 200 взрывов [6].

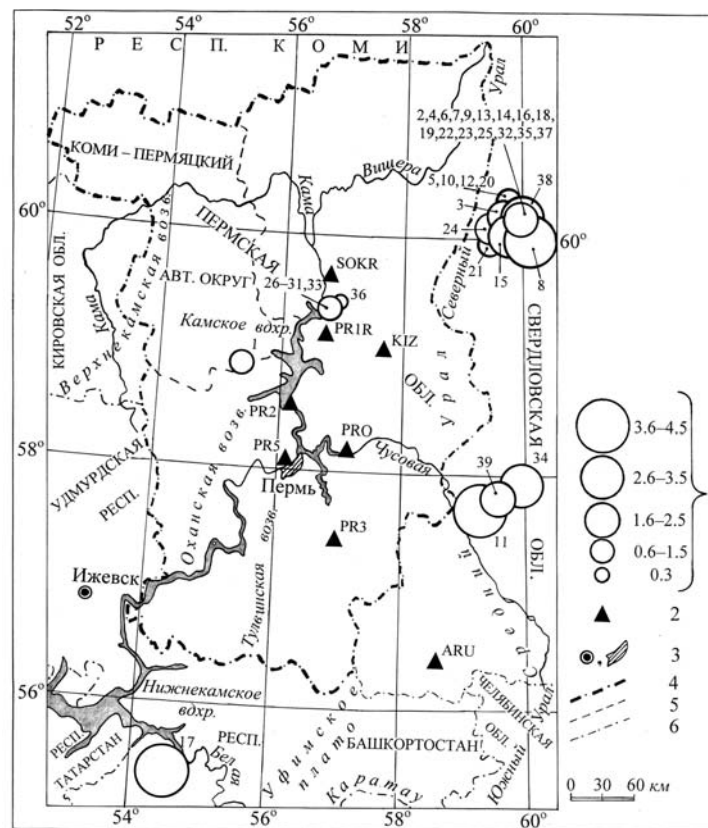


Рис. 4. Карта эпицентров сейсмических событий Урала за 2007 г.

1 – магнитуда M_{LgV} ; 2 – сейсмическая станция; 3 – населенный пункт и г. Пермь; 4–6 – границы субъектов Российской Федерации.

Подавляющее большинство ($N=27$) природных событий в 2007 г. являются горно-тектоническими ударами (ГТУ) на Североуральских бокситовых месторождениях (СУБР) в Свердловской области с $M_{LgV}=1.1-4.4$ [5]. Максимальной магнитудой $M_{LgV}=4.4$ характеризуется ГТУ, произошедший 20 апреля в 17^h39^m и записанный сейсмическими станциями «Романово», «Власы», «Кунгур», «Арти», «Оренбург», а также сейсмическими сетями других агентств (табл. 4). Суммарное число станций, зарегистрировавших этот удар, составило $n=125$ [7]. Все решения других агентств смещены к северо-востоку, но незначительно (рис. 5). Сведений об интенсивности сотрясений на поверхности нет, т.к. сбор макросейсмических данных, к сожалению, не проводился.

Таблица 4. Разные решения параметров горно-тектонического удара 20 апреля в 17^h39^m

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	17 39 29.00	1.0	60.21	0.05	60.01	0.02	1f	$M_{LgV}=4.4, M_L=4.2$	[5]
MOS	17 39 29.4	1.5	60.378	0.05	60.220	0.04	10f	$MPSP=4.4/16$	[7]
ISC	17 39 31.3	0.3	60.36	0.03	60.30	0.06	10f *15±5	$m_b=4.2/32, h^*=15\pm 5$ км	[8]
NEIC	17 39 31.3	0.5	60.33	0.05	60.22	0.04	10f	$m_b=4.3/22$	[8]
IDC	17 39 32.0	0.8	60.39	0.04	60.10	0.11	0f	$M_L=3.9(\pm 0.2)/5, M_S=3.2(\pm 0.2)/1,$ $m_b=3.8(\pm 0.1)/8$	[8]
CSEM	17 39 30.2	0.2	60.36	0.07	60.00	0.01	10f	$m_b=4.3(\pm 0.2)/15$	[8]
VJI	17 39 29.0	2.8	60.30		60.20		10f	$M_S=4.1, M_{Sz}=4.1, m_b=4.4, m_B=4.7$	[8]
ЕНВ	17 39 31.77	1.10	60.388	0.04	60.303	0.02	15f		[8]

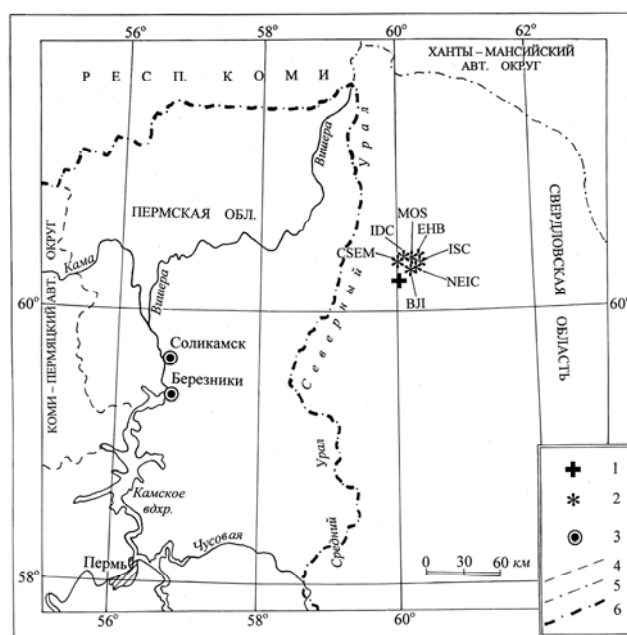


Рис. 5. Результаты локации очага ГТУ 20 апреля в 17^h39^m с $M_{LgV}=4.4$ по данным различных агентств

1 – региональный эпицентр; 2 – решение мировых агентств; 3 – населенный пункт; 4–6 – границы субъектов Российской Федерации.

Трудность разделения событий, происходящих в горно-добывающих районах, на природные и техногенные не позволяет достоверно установить характер очагов, зарегистрированных 27 апреля в 20^h29^m и 3 сентября в 08^h39^m. Эпицентры событий попадают в район г. Нижний Тагил, их магнитуда $M_{LgV}=3.6$ и $M_{LgV}=3.1$ соответственно [5].

Среди достоверных тектонических событий наиболее сильным можно считать землетрясение, произошедшее в Республике Башкортостан в районе г. Дюртюли. Событие зарегистрировано 21 мая в 01^h52^m станциями «Романово», «Добрянка», «Кунгур», «Власы», «Арти» и «Каменск-Уральский» и имело $M_{LgV}=3.6$ ($M_L=3.1$). Данных по макросейсмическим проявлениям нет.

Другое тектоническое землетрясение имело место 29 января в Пермском крае в Ильинском районе. Данное событие – относительно слабое ($M_{LgV}=1.4$), без макросеймики, однако оно было записано станциями «Романово», «Добрянка», «Кунгур», «Власы» и «Арты». Событие зарегистрировано в ночное время, в 19^h39^m, в безлюдном районе, что значительно снижает вероятность его техногенного происхождения.

В 2007 г. можно наблюдать всплеск ($N=8$) обвальных событий в Пермском крае (табл. 5), что связано с процессом затопления рудника БКПРУ-1 в г. Березники. Образование провала в районе поступления поверхностных вод в горные выработки неоднократно в течение года сопровождалось ощутимыми сейсмическими толчками. Магнитуда этих событий невелика ($M_{LgV} \leq 1.5$), чаще всего они регистрируются только ближайшими станциями – «Романово» и «Соликамск», иногда – станцией «Добрянка». Известная глубина горных выработок, где происходят обрушения, позволяет определить глубину очагов $h \sim 0.3$ км.

Итоговое распределение разных типов событий 2007 г. по магнитудам M_{LgV} представлено в табл. 5.

Таблица 5. Число сейсмических событий разных типов в Уральском регионе за 2007 г.

Тип события	M_L				N_{Σ}
	0–1.0	1.1–2.0	2.1–3.0	3.1–4.5	
Сомнительное (возможно, взрыв)				1	1
Землетрясение тектоническое	1			1	2
Землетрясение обвальное		8			8
ГТУ		17	9	2	28
Всего	1	26	9	4	39

Л и т е р а т у р а

1. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В. Урал // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 238–246.
2. Сейсмологический мониторинг территории Западного Урала // <http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm>
3. Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В., Верхованцев А.В. Пермский край 2000–2005 гг. // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 269–289.
4. Рихтер Ч. Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 13–44.
5. Голубева И.В., Дягилев Р.А. (отв. сост.), Белевская М.А., Варлашова Ю.В., Старикович Е.Н. Каталог землетрясений, горных и горно-тектонических ударов на территории Пермского края и прилегающих районов за 2007 г. ($N=39$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. Голубева И.В., Дягилев Р.А. (отв. сост.) Каталог (оригинал) землетрясений, горных, горно-тектонических ударов и взрывов (с перечнем станций) на территории Пермского края и прилегающих районов за 2000–2008 гг. – Обнинск: Фонды ГС РАН от 02.08.2011 г. – 17 с.
7. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2007 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2007–2008. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2007/
8. Bulletin of the International Seismological Centre for 2007. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2009. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/2007>