

УРАЛ

А.А. Маловичко¹, Р.А. Дягилев², Д.А. Маловичко², Т.В. Верхованцева²,Ф.Г. Верхованцев¹, И.В. Голубева¹¹Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, amal@gsras.ru²Горный институт УрО РАН, г. Пермь, dr@mi-perm.ru

Сеть сейсмических станций Урала в 2008 г., так же как и в 2007 г. [1], представлена 13 станциями. Сведения об аппаратуре станций региона, актуальные для 2008 г. [2], по сравнению с таковыми в 2007 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 [3] в режиме, близком к реальному времени, в региональный центр сбора и обработки данных, созданный на базе ГИ УрО РАН в г. Перми [4], при этом данные станций SVE, ARU, SOKR, PR1R, SVUR находятся в прямом доступе из центра обработки в г. Обнинск. Доступ к данным станций «Оренбург» (ORR) и «Оренбург-2» (OR2) осуществляется по запросу в отдел геоэкологии Оренбургского научного центра (ОНЦ) РАН (г. Оренбург), обслуживающий станции. Данные со станции «Каменск-Уральский» (KAUR) доставляются в ГИ УрО РАН по почте на цифровых носителях один раз в месяц.

Карта, описывающая минимальные представительные магнитуды событий M_{Lmin} , регистрируемых сетью [2], получена согласно подходу, описанному ранее в [5] и представлена на рис. 1.

Как видим, конфигурация сети в 2008 г. позволяла уверенно регистрировать сейсмические события на большей части Пермского края, начиная 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 $M_L=3.0$.

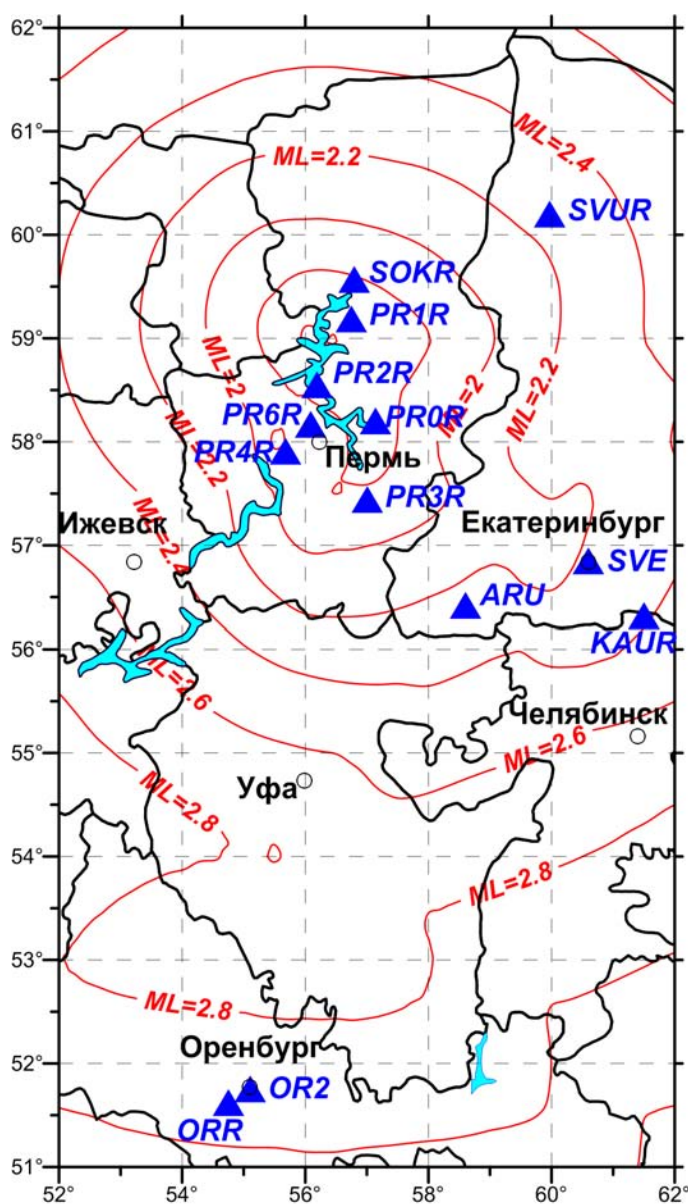


Рис. 1. Карта магнитудной представительности M_{Lmin} сейсмических событий на территории Урала в 2008 г.

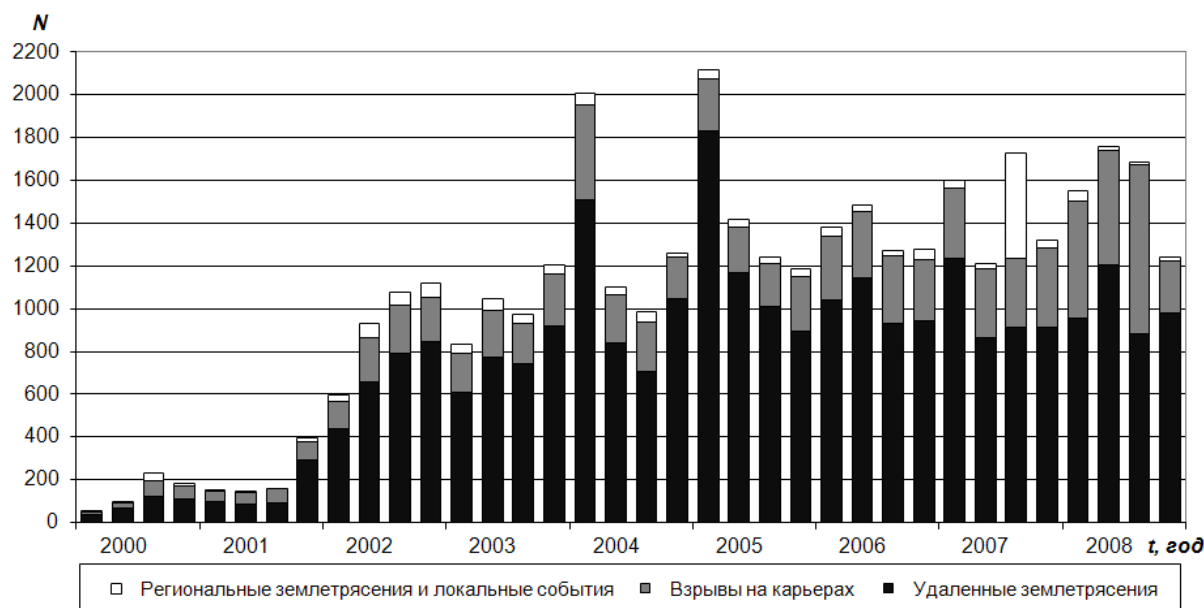


Рис. 2. Изменение числа сейсмических событий разных типов, зарегистрированных станциями Урала в 2000–2008 гг.

Методика определения параметров сейсмических очагов, изложенная в [5], 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. 2.

На этой же диаграмме можно видеть, что представительные данные о числе сейсмических событий региона имеются примерно с 2002 г. Доля местных событий держится на уровне ~27 %, 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 [5], и по степени близости к известным горно-добывающим предприятиям.

До конца 2008 г. в регионе применялась локальная шкала магнитуд, использующая в качестве динамической характеристики максимальную скорость смещений. Вид зависимости магнитуды от максимальной скорости смещения (V_{\max} , км/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} . С 2009 г. в регионе используется шкала локальных магнитуд M_L , которая показала лучшую внутреннюю сходимость:

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

где A – максимальная амплитуда синтезированной записи сейсмографа Вуда–Андерсона (в мм), R – эпицентрального расстояния (в км), C_{st} – станционная поправка. Это определение магнитуды M_L находится в полном соответствии с классическим определением Ч. Рихтера [6].

В период 2008–2009 гг. определение магнитуд в регионе велось одновременно по обоим шкалам. Учет имеющиеся расхождения в шкалах позволяет корреляционное соотношение

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

полученное по одному набору данных.

В результате инструментальных наблюдений в 2008 г. региональной сетью было зафиксировано более 450 взрывов и 16 сейсмических событий [7], связанных с тектонической активностью недр (в том числе 7 ГТУ), 1 событие, связанное с образованием трещины на ледовом покрытии Воткинского водохранилища в результате сброса воды, и 1 обвальное событие, связанное с затоплением рудника. Карта 18 эпицентров изображена на рис. 3. Рассмотрим их более детально.

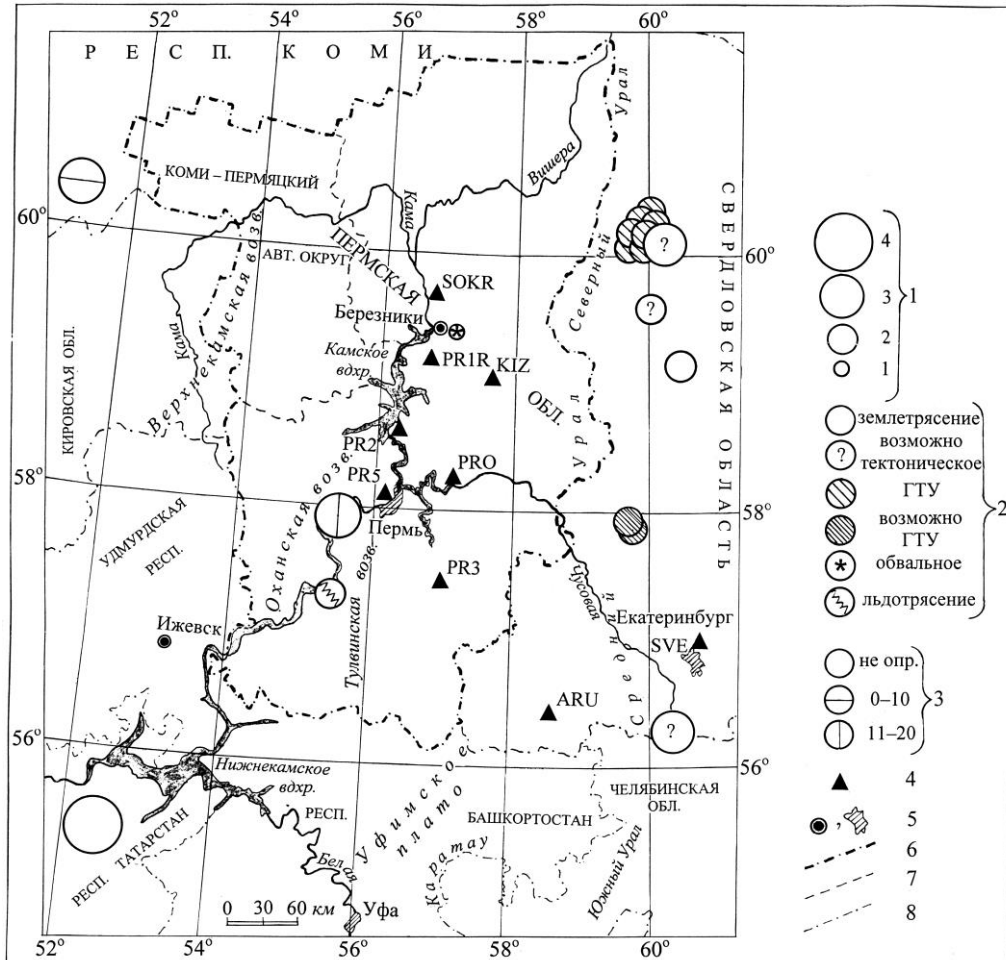


Рис. 3. Карта эпицентров сейсмических событий Урала за 2008 г.

1 – магнитуда M_L ; 2 – природа сейсмического события (ГУ и ГТУ – горный и горно-тектонический удар соответственно); 3 – глубина гипоцентра h , км; 4 – сейсмическая станция; 5 – населенные пункты; 6–8 – границы субъектов РФ.

Часть природных событий в 2008 г., как указано выше, являются горно-тектоническими ударами (ГТУ) на Североуральских бокситовых месторождениях (СУБР) в Свердловской области с $M_L=1.8–2.5$. Максимальной ($M_L=2.5$) магнитудой характеризуется ГТУ, произошедший 8 мая в 04^h42^m и записанный сейсмическими станциями «Романово», «Добрянка», «Кунгур», «Власы», «Соликамск» и «Каменск-Уральский». Сведений об интенсивности сотрясений на поверхности нет, так как сбор макросейсмических данных не проводился.

Некоторые тектонические землетрясения зарегистрированы на примыкающих к Уралу территориях. Одним из них является землетрясение, произошедшее 22 сентября 2008 г. в 23^h21^m с $M_L=2.9$ и глубиной $h=5$ км [7]. Его эпицентр с координатами $\varphi=60.32^\circ N$, $\lambda=51.01^\circ E$ располагался в районе с. Койгородок в Республике Коми. Землетрясение было зарегистрирова-

но станциями «Соликамск», «Верхнечусовские Городки», «Романово», «Добрянка», «Кунгур» и «Арти». Сбор сведений о макросейсмических проявлениях землетрясения не проводился.

Другое землетрясение, произошедшее 29 мая 2008 г. в 11^h03^m [7] в Республике Татарстан вблизи г. Альметьевск ($\varphi=55.37^\circ\text{N}$, $\lambda=52.45^\circ\text{E}$), было зафиксировано станциями «Романово», «Кунгур», «Власы», «Соликамск» и «Арти», а также сейсмическими станциями других агентств (табл. 1). Магнитуда M_L землетрясения, оцененная по полученным записям, составила $M_L=4.0$ [7]. Согласно многочисленным сообщениям в сети Интернет, появившимся в этот день, в Альметьевске жители почувствовали подземные толчки с интенсивностью до 5 баллов. В домах качались люстры, стены, звенели стекла, падали незакрепленные предметы со столов и стен, некоторые люди выбегали на улицу. Одновременно в Лениногорском, Черемшанском и Азакаевском районах отдельными жителями в течение 3–5 минут ощущались слабые колебания почвы, сравнимые с передвижением тяжелых транспортных средств ($I=3-4$ балла). Также землетрясение ощущалось в Бугульме и в пос. Джалиль. Этому землетрясению посвящена в наст. сб. отдельная статья [8] (*ред.*). Напомним более ранние землетрясения, произошедшие 20.10.1914 г. с $MLH=2.8$, $I_0=5$ [9, 10] и 23.09.1986 г. с $MLH=3.5-3.7$, $I_0=5-6$ баллов (Альметьевское-I) [11], для которых составлены карты изосейст.

Таблица 1. Разные решения параметров Альметьевского-II землетрясения 29 мая 2008 г. с $M_L=4.0$ (Республика Татарстан)

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	11 03 23		55.37		52.45		0f	$M_L=4.0$	
ISCJB	11 03 21.34	0.3	54.8002	0.04	52.2329	0.04	0f	$m_b=3.8$	[12]
MOS	11 03 22.80	1.8	54.9020		52.1640		10f	$m_b=3.7/4$	[12]
CSEM	11 03 23.60	0.2	54.9523		52.1390		1f	$m_b=3.9/4$	[12]
NEIC	11 03 24.51	0.4	54.9450		52.0340		10f	$m_b=3.7/4$	[12]
IDC	11 03 24.66	0.7	54.6909		51.8994		0f	$m_b=3.7/6$, $m_{b1}=3.9/14$, $m_{b1mx}=3.8/30$, $m_{btmp}=3.8/14$, $ML=3.6/7$	[12]
NNC	11 03 33.39	3.9	54.6369		53.6365		0f	$m_b=3.8$, $m_{pv}=3.0$	[12]
ISC	11 03 23.73	0.3	54.9074	0.04	52.1623	0.04	0f	$m_b=3.8/7$	[12]

Примечание. PERM – ГИ УрО РАН, г. Пермь; ISCJB – International Seismological Centre; MOS – ГС РАН, г. Обнинск; CSEM – Centre Sismologique Euro-Mediterraneen; NEIC – National Earthquake Information Center; IDC – International Data Centre; NNC – Казахстанский национальный центр данных; ISC – International Seismological Centre.

В самом Пермском регионе, точнее, в районе г. Верхний Уфалей Челябинской области, заслуживает внимания событие, произошедшее 5 мая в 14^h59^m и имевшее магнитуду $M_L=2.7$ [7]. Землетрясение было зарегистрировано станциями «Добрянка», «Кунгур», «Власы», «Арти», «Каменск-Уральский», «Свердловск» и «Соликамск», а также станциями Казахстанского национального центра данных (NNC). Параметры очага представлены в табл. 2. Поскольку эпицентр события близок к действующему карьеру Рогожинского месторождения никелевых руд, но время не характерно для проведения взрывных работ, природа землетрясения остается сомнительной.

Таблица 2. Разные решения параметров землетрясения 5 мая 2008 г. в Челябинской области (г. Верхний Уфалей)

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	14 59 20.16	0.5	56.186	0.01	60.334	0.04	0f	$M_L=2.7$	
NNC	14 59 28.60		55.5824		60.9329		0f	$m_b=3.0$, $m_{pv}=2.6$	[12]

Примечание. PERM – ГИ УрО РАН; NNC – Казахстанский национальный центр данных; f – фиксированная глубина гипоцентра.

В пределах Пермского края самым сильным ($M_L=2.8$) сейсмическим явлением за 2008 г. стало тектоническое землетрясение, произошедшее 16 декабря в 17^h04^m, в окрестностях г. Нытва [4, 7]. Оно было записано всеми станциями региона, а также Казахстанским национальным центром данных (NNC) (табл. 3). Наличие большого числа инструментальных записей, а также записей станции в эпицентре позволило точно определить местоположение очага и установить его тектоническую природу. По инструментальным данным глубина очага составила $h=20$ км. Опрос местного населения на предмет макросейсмических проявлений, организованный в зоне эпицентра на следующий день, не выявил участков с ощутимым сейсмическим эффектом от события, что косвенно подтверждает большую глубину источника. С другой стороны, значительного макросейсмического эффекта от землетрясения с небольшой магнитудой не ожидалось.

Таблица 3. Разные решения параметров землетрясения 16 декабря 2008 г. в Пермском крае (г. Нытва)

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр			Магнитуда	Источник
			φ° , N	λ° , E	h , км		
PERM	17 04 47		57.91	55.48	20	$M_L=2.8$	
NNC	17 04 59.28	1.240	57.0124	56.5826		$m_b=3.1, m_{pv}=2.8$	[12]

Примечание. PERM – ГИ УрО РАН; NNC – Казахстанский национальный центр данных.

Необычное событие произошло 26 декабря 2008 г. в 08^h25^m в районе Воткинского водохранилища около г. Оса. Событие имело магнитуду $M_L=1.8$ и было зарегистрировано только одной ближайшей станцией «Власы», но имело макросейсмические проявления. Интенсивность сотрясений вблизи (в 200 м прибрежной зоне) водохранилища оценивается в $I=3-4$ балла. По описаниям очевидцев, жителей дома № 2 по ул. Мира г. Оса, во время толчка здание покачнулось сначала в восточную сторону, затем в западную, был слышен треск стен, после чего люди в испуге выбегали на лестничные площадки. Повторных толчков не было. Обследование района эпицентра позволило установить нетектоническую причину события – образование сбросовой трещины в ледовом покрытии Воткинского водохранилища после снижения уровня воды.

Одно обвальное землетрясение с $M_L=1.1$ было зарегистрировано в районе г. Березники Пермского края 9 ноября в 19^h39^m только двумя ближайшими станциями – «Романово» и «Соликамак». Оно связано с процессом затопления рудника БКПРУ-1, начавшимся в конце 2006 г. Известная глубина горных выработок, где аналогичные обрушения происходили ранее, позволяет определить глубину очага – не более $h=0.3$ км.

Трудность разделения событий, происходящих в горно-добывающих районах, на природные и техногенные не позволяет достоверно установить характер очагов нескольких зарегистрированных событий, как например события 17 июля в 17^h15^m в г. Североуральск и 8 ноября в 19^h45^m в г. Нижний Тагил с магнитудами $M_L=3.0$ и $M_L=2.2$ соответственно. Параметры первого из них по данным разных агентств представлены в табл. 4.

Таблица 4. Разные решения параметров события 17 июля 2008 г. в Свердловской области

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 15 39		60.09		60.22		0f	$M_L=3.2$	
ISCJB	17 15 38.00	0.9	60.2423	0.07	59.8556	0.20	10f		[12]
NEIC	17 15 39.61	0.9	60.4430		60.0290		10f		[12]
IDC	17 15 42.51	1.6	60.0559		59.9090		0f	$m_{b1}=3.8/4, m_{b1mx}=3.3/26,$ $m_{bimp}=3.8/4, ML=3.0/4$	[12]
ISC	17 15 40.00	0.9	60.3211	0.06	59.8643	0.20	10f		[12]

Примечание. PERM – ГИ УрО РАН, г. Пермь; ISCJB – International Seismological Centre; NEIC – National Earthquake Information Center; IDC – International Data Centre; ISC – International Seismological Centre.

Итоговое распределение событий разных типов по магнитудам M_L представлено в табл. 5.

Таблица 5. Число сейсмических событий разных типов в Уральском регионе за 2008 г.

Тип события	M_L			N_{Σ}
	1.1–2.0	2.1–3.0	3.1–4.5	
Сомнительное (возможно взрыв)	3	2	0	5
Землетрясение	3	2	1	6
ГТУ	4	3		7
Всего	8	7	1	18

Подводя итоги исследований сейсмичности Урала в 2008 г., следует отметить, что, в сравнении с сейсмическим процессом в 2007 г. [1], отмечается значительное снижение числа техногенных событий, таких как ГТУ на СУБРе и обвальных в районе г. Березники. Число природных событий осталось примерно на прежнем уровне. Для них имеется некоторое перераспределение по магнитудам, в частности в диапазоне от 2 до 3, не представленном ранее, произошло 2 землетрясения с надежно установленными параметрами очагов.

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, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 242–248.
2. Верхованцев Ф.Г. Сейсмические станции Урала в 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
3. Сейсмологический мониторинг территории Западного Урала – Пермь: ГИ УрО РАН, 2008. – URL: <http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm>
4. Отчет о научно-исследовательской работе. 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. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2009. – 125 с.
5. 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.
6. Рихтер Ч. Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 13–44.
7. Голубева И.В., Дягилев Р.А., Маловичко Д.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 2008 г. ($N=18$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. Габсатарова И.П., Бабкова Е.А., Огаджанов В.А., Маслова М.Ю., Огаджанов А.В. Альметьевское-III техногенное землетрясение 29 мая 2008 г. с $M_L=3.6$, $I_0=5$ (Республика Татарстан). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
9. Ананьин И.В. (отв. сост). XIV. Европейская часть СССР, Урал и Западная Сибирь [1467–1974 гг.; $M \geq 3.0$; $I_0 \geq 4$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 465–470.
10. Вейс-Ксенофонта З.К., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала // Труды СИ АН СССР. – № 104. – М.: АН СССР, 1940. – С. 12–23.
11. Ананьин И.В. Альметьевское и Нефтегорское землетрясения // Землетрясения в СССР в 1986 году. – М.: Наука, 1989. – С. 180–183.
12. Bulletin of the International Seismological Centre for 2008. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.