

УРАЛ

А.А. Маловичко¹, Р.А. Дягилев¹, Ф.Г. Верхоланцев¹, И.В. Голубева¹, Т.В. Злобина²

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия, amal@gsras.ru

²«ГИ УрО РАН», г. Пермь, Россия, tati.verkholantseva@gmail.com

Аннотация. В статье приведены сведения о действующей сети сейсмических станций Урала, методике обработки данных, дан краткий анализ сейсмической активности в регионе в 2013 году. Показано, что региональная сеть претерпела некоторые изменения, регистрационные возможности сети расширились, обеспечивая регистрацию всех землетрясений, начиная с магнитуды $M_{\text{рег}}=2.8$, для части территории Пермского края с $M_{\text{рег}}=2.0$. Около 85 % событий приходится на технологические взрывы на горнодобывающих предприятиях, немногим более двух десятков имеют отношение к природной или природно-техногенной сейсмичности. Для наиболее сильных событий последней группы приведены варианты определений очаговых параметров, полученные другими агентствами. Отдельно стоит отметить регистрацию сетью сейсмических станций Урала такого уникального события, как падение (взрыв) «Челябинского» метеорита.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмическая сеть, магнитуда, сейсмический режим, горно-тектонический удар, землетрясение, взрыв, Челябинский метеорит, Главный Уральский разлом.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.23

Для цитирования: Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Злобина Т.В. Урал // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 256–267. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.23

Введение. Урал является слабоактивным регионом, расположенным в зоне сочленения Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ. Сейсмичность Урала уникальна, поскольку обусловлена не только разнообразием природных землетрясений (тектонические, обваловые, импактные), но и широким спектром техногенных источников (горные и горно-тектонические удары, обрушения, взрывы и др.). Для многих тектонических событий характерна пространственная структурированность, обусловленная их приуроченностью к основной геологической структуре региона – Главному Уральскому разлому (ГУР), имеющему субмеридиональное простирание. Однако рассеянная сейсмичность, характерная для платформенных территорий, также присутствует. Техногенные очаги тяготеют к хорошо известным объектам горнодобывающей промышленности. Близость таких объектов к ГУР затрудняет однозначную идентификацию природы сейсмических явлений. Региональная сейсмическая сеть, активно развиваемая с 1999 г., позволяет изучать эти процессы более детально.

Сеть сейсмических станций и карта M_{Lmin} . В 2013 г. продолжался инструментальный мониторинг сейсмических процессов на территории Урала и прилегающих к нему окраин Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской плиты с использованием Уральской сейсмологической сети. Сеть сейсмических станций [1] была несколько расширена. Были открыты две новые станции, интегрированные в ФССН: «Уфа» с международным кодом BA1R (сеть OBN) и «Сараны» с международным кодом PR7R (сеть MIRAS), данные о них представлены в табл. 1, технические характеристики всех станций Уральской сети за 2013 г. даны в [2]. Также в отдельных расчетах участвовали две новые станции сети Отдела геоэкологии ОНЦ РАН («Троицкий» – TRCK и «Лебяжка» – LBGK), введенные в действие в 2011 и 2013 годах.

Таблица 1. Сейсмические станции Уральской сейсмологической сети, открытые в 2013 г.

| Код | Название | Дата открытия | Координаты | | h_y , м | Тип грунтов в месте установки | A_N , мкм (0.5–8 Гц) |
|------|----------|---------------|---------------------|---------------------|-----------|---|------------------------|
| | | | φ° , N | λ° , E | | | |
| BA1R | Уфа | 06.08.2013 | 54.59 | 55.71 | 114 | Суглинок | 30 |
| PR7R | Сараны | 26.11.2013 | 58.55 | 58.76 | 440 | Кристаллический массив – сланцы, габбро-перидотит | 9 |
| TRCK | Троицкий | 20.12.2011 | 51.64 | 54.26 | 69 | Суглинок | 20 |
| LBGK | Лебяжка | 27.07.2013 | 52.03 | 53.59 | 148 | Суглинок | 20 |

Станция «Уфа» является первой сейсмической станцией на территории Республики Башкортостан. Впервые в России к работам по обустройству сейсмической станции удалось привлечь частную организацию – ООО «Картография» (г. Уфа), неоценимую помощь в проведении всего комплекса работ по выбору места и размещению оборудования станции оказал Центр космических услуг Башкирского государственного университета. По согласованию с ГС РАН было определено, что сейсмическая станция должна находиться в радиусе до 30 км от г. Уфы.

Для выбора места размещения сейсмической станции были измерены уровни микросейсмического шума в пяти пунктах, в которых уже удовлетворялось большинство необходимых условий:

- наличие охраняемого помещения для сохранности и установки аппаратуры;
- наличие в помещении сети снабжения электроэнергией;
- наличие в помещении телефонной линии, обеспечивающей возможности передачи сейсмических данных в информационно-обрабатывающий центр (ИОЦ), либо канала передачи данных по GPRS\EDGE;
- наличие подъездных путей для автотранспорта.

Уровень микросейсмических шумов в одном из пунктов наблюдений – поселке Лекаревка (рис. 1) – соответствует требованиям, определенным в [3], как подходящим для размещения региональной сейсмической станции.

Здесь были построены гидроизолированный бункер (рис. 2) и отапливаемое помещение для размещения оборудования сейсмической станции, которые обеспечивают сохранность, бесперебойное электропитание и стабильный канал связи – как до г. Обнинска, так и до регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) в г. Перми. Все строительные работы были выполнены силами и за счет средств ООО «Картография».

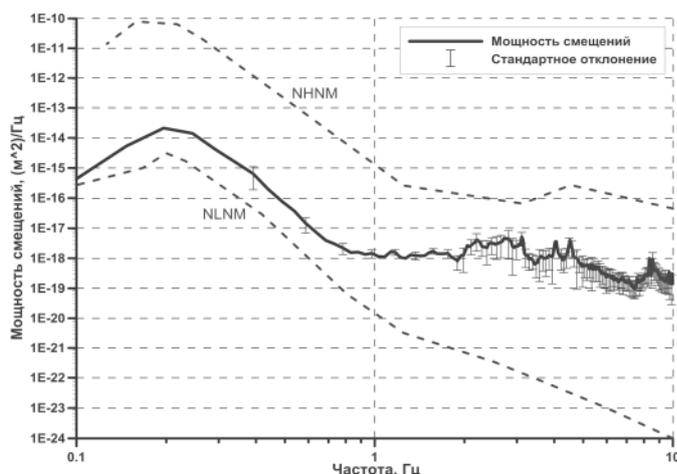


Рис. 1. Спектры мощности микросейсмического шума в пос. Лекаревка



Рис. 2. Бункер сейсмической станции «Уфа»

Сейсмическая станция «Уфа» оснащена трехкомпонентным комплектом короткопериодных сейсмометров СМЗ-КВ, которые установлены в подземном приборном сооружении на глубине 5 м от поверхности земли на массивном (1×1×1 м) бетонном постаменте. В качестве регистратора используется цифровая сейсмическая станция «Угра», осуществляющая непрерывную запись по трем каналам с частотой 50 Гц. Передача данных осуществляется в режиме реального времени по резервированному каналу GPRS/EDGE с использованием модема iRZ RUN2B на сервер в г. Обнинске.

Место для размещения сейсмической станции «Сараны» выбиралось исходя из необходимости расширить пространственную геометрию сейсмологической сети в северо-восточном направлении, чтобы обеспечить более уверенную регистрацию и существенно улучшить локацию событий, связанных как с потоком техногенной сейсмичности из Уральского горно-промышленного района, так и с природной составляющей сейсмичности, приуроченной к ГУР. Станция оснащена короткопериодным трехкомпонентным сейсмометром

«Sercel» L-4C-3D 1 Hz [4], установленным на уровне земной поверхности (рис. 3). Сейсмометр подключен к цифровому 24-битному регистратору «Reftek 130-01» [5], ведущему запись непрерывно с частотой 40 Гц. Передача данных осуществляется в режиме реального времени по резервированному каналу GPRS/EDGE с использованием модема iRZ RUH2B в РИОЦ г. Перми. Уровень микросейсмического шума в месте установки сейсмической станции «Сараны» находится ниже значений, оговоренных в [3] для станций региональной сейсмологической сети (рис. 4).



Рис. 3. Поверхностный павильон сейсмической станции «Сараны»

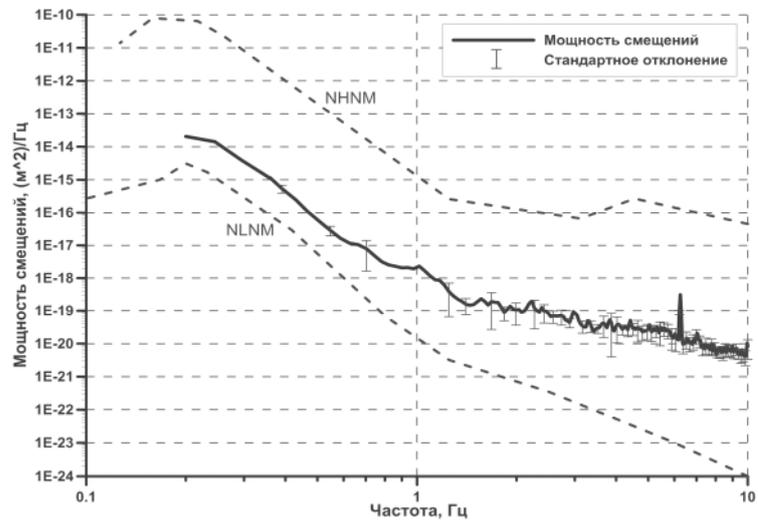


Рис. 4. Спектры мощности микросейсмического шума в месте установки сейсмической станции «Сараны»

Обе новые станции Отдела геоэкологии ОНЦ РАН установлены в бункерах на глубине 4 м. Станции предназначены для мониторинга геодинамических процессов, происходящих в процессе разработки Оренбургского газоконденсатного месторождения и расположены в условиях, очень близких к условиям других оренбургских станций (ORR, OR1, OR2 и OR3). На станциях используются комплекты датчиков CM3-KB совместно с регистратором UGRA. Поскольку станции не оснащены системой передачи данных, в оперативной обработке их данные не используются. Данные с оренбургских станций привлекаются только для уточнения параметров очагов, зарегистрированных на Южном Урале.

Изменение уровней представительной регистрации M_{Lmin} и пространственное положение новых сейсмических станций Уральской сети в 2013 г. приведено на рис. 5 б. Для сравнения, на рис. 5 а представлена аналогичная карта для 2012 г. (без станции TRCK, введенной в 2011 г.).

Действующая сеть станций обеспечивает уверенную регистрацию сейсмических событий на большей части Пермского края, начиная с $ML_{рег}=2.0$, в Свердловской области – с $ML_{рег}=2.4$, в республике Башкортостан – с $ML_{рег}=2.6$, в Челябинской и Оренбургской областях – с $ML_{рег}=2.8$.

Методика обработки цифровых записей землетрясений осталась прежней. Передача данных в обрабатывающий центр происходит непрерывно в режиме, близком к реальному времени.

В качестве динамической характеристики сейсмических волн использовалась максимальная амплитуда колебаний в симуляции сейсмографа Вуда-Андерсона для оценки локальной магнитуды $ML_{рег}$. Принятая в регионе магнитудная шкала $ML_{рег}$ изложена в [6], учитывает закономерности распространения сейсмических волн для территории Пермского края и соседних областей и находится в полном соответствии с классическим определением Ч. Рихтера [7]. Кинематические параметры определялись на основе годографа IASPEI [8]. Для расчета сейсмической энергии использовано корреляционное уравнение связи X . Канамори с соавторами [9]:

$$\lg E = 1.96 ML_{рег} + 2.05. \quad (1)$$

Для сравнительного анализа региональной локации сейсмических событий привлекались данные других сейсмологических центров [10–13].

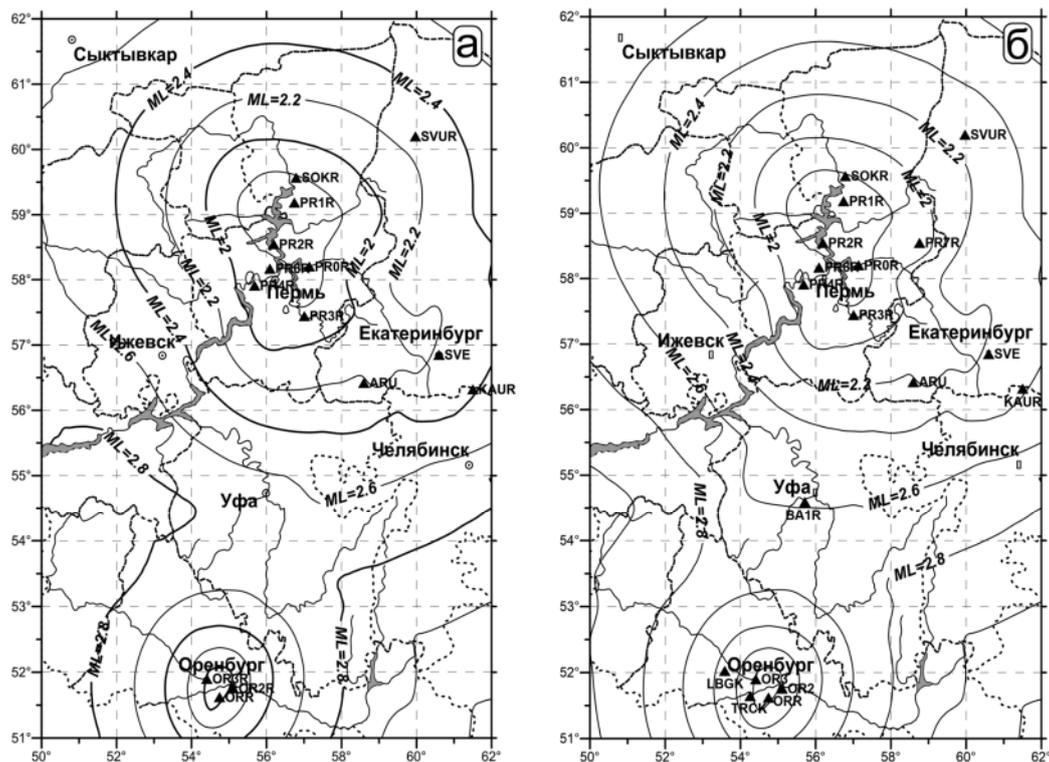


Рис. 5. Карта магнитудной представительности M_{Lmin} сейсмических событий на территории Урала: а) в 2012 г. [1]; б) в 2013 г.

Сейсмичность. В общей сложности сейсмическими станциями Уральского региона в 2013 г. было зарегистрировано 173 региональных сейсмических события (рис. 6), для которых были определены все необходимые параметры. Наибольшее количество из них – 137 – приходится на долю массовых и технологических взрывов, проводимых на горнодобывающих предприятиях Пермского края, Свердловской, Челябинской областей и Республики Башкортостан; остальные 36 сейсмических событий разделены на три основных типа: землетрясение, «возможно землетрясение» и горно-тектонический удар (ГТУ). Одно событие – импактное землетрясение – было связано с падением (взрывом в атмосфере) «Челябинского» метеорита (табл. 2, 3) [14, 15].

Взрывы. Так же, как и в прошлые годы, продолжается активное промышленное освоение природных ресурсов Урала. Отработка месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых на территории Пермского края и ближайших субъектов РФ проводится как открытым, так и подземным способом. Организации, осуществляющие взрывные работы на территории Пермского края, регулярно предоставляют информацию о параметрах проводимых ими взрывов. С предприятий других регионов информация не полная, поэтому интерпретация ведется, исходя из близости горнодобывающих предприятий и согласно известным критериям по распознаванию волновых форм [16]. По имеющимся данным наиболее крупные массовые взрывы производят на территории Свердловской области – Качканарский, Асбестовский и Высокогорский ГОК и с величиной заряда 100 т взрывчатых веществ (ВВ) и более, на территории Пермского края максимальная масса ВВ не превышает 50 т. Ежегодно сейсмическими станциями регистрируется более 500 массовых и технологических взрывов, для наиболее сильных из них, регистрируемых несколькими станциями, определяются параметры очагов. В региональный каталог взрывов включены параметры 137 событий, у которых удалось достаточно точно определить все необходимые параметры очага. На рис. 7 представлено распределение взрывов по месяцам.

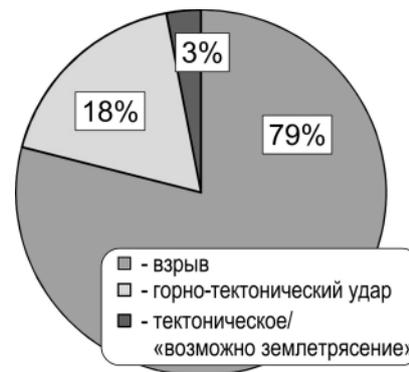


Рис. 6. Распределение сейсмических событий по типам

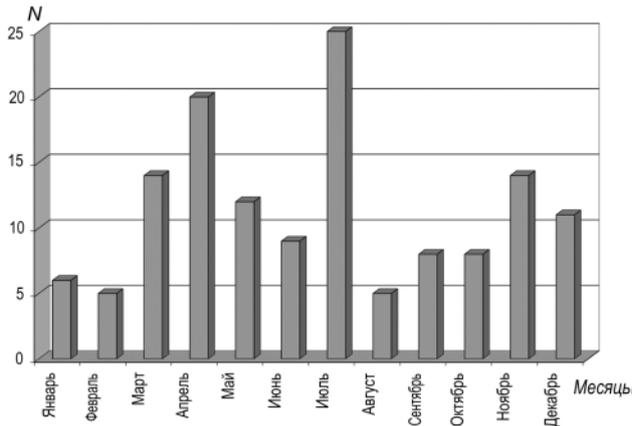


Рис. 7. Распределение числа взрывов по месяцам 2013 г.

Как видно из рис. 7, наибольшее число взрывов было зарегистрировано в апреле ($N=20$) и в июле ($N=25$). Диапазон магнитуд составил $ML_{рег}=1.5-2.8$. Суммарная сейсмическая энергия всех взрывов составила $\Sigma E=3.99 \cdot 10^9$ Дж.

Горно-тектонические удары. Значительную часть событий представляют горные и горно-тектонические удары на Североуральских бокситовых месторождениях – рудниках ОАО «СУБР». За год было зарегистрировано около 250 таких событий, только для 29 удалось определить параметры очага ($1.9 \leq ML_{рег} \leq 3.6$). Остальные сейсмические события были зарегистрированы одной сейсмической

станцией «Североуральск» (SVUR), которая расположена непосредственно в горных выработках шахты «Красная шапочка».

Еще два ГТУ было зарегистрировано в районе г. Тагила и г. Кушвы, где располагаются шахты Высокогорского ГОКа (ВГОК). Результаты определения параметров этих очагов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Горно-тектонические удары на СУБР и ВГОК с $ML_{рег} \geq 1.9$ в 2013 г.

| Дата, д мес | t_0 , ч мин с | Гипоцентр | | | $ML_{рег}$ |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|------------|
| | | φ°, N | λ°, E | $h, км$ | |
| 22.01 | 17 00 42 | 60.26 | 60.01 | 1f | 2.0 |
| 08.02 | 23 42 52 | 60.29 | 59.93 | 1f | 2.7 |
| 16.02 | 23 27 49 | 60.21 | 59.96 | 1f | 2.4 |
| 26.02 | 23 29 04 | 60.18 | 59.97 | 1f | 2.2 |
| 30.03 | 17 45 09 | 60.21 | 60.01 | 1f | 3.4 |
| 31.03 | 22 31 19 | 60.20 | 59.98 | 1f | 2.3 |
| 16.04 | 18 36 29 | 60.20 | 59.98 | 1f | 2.9 |
| 29.04 | 22 31 32 | 60.14 | 60.01 | 1f | 2.3 |
| 31.05 | 14 51 49 | 60.25 | 60.01 | 1f | 1.9 |
| 12.06 | 21 41 12 | 60.17 | 59.87 | 1f | 2.5 |
| 18.06 | 13 35 35 | 60.26 | 60.03 | 1f | 2.0 |
| 21.06 | 04 49 06 | 60.24 | 60.02 | 1f | 2.3 |
| 28.06 | 18 08 46 | 60.16 | 59.93 | 1f | 2.4 |
| 02.07 | 17 12 08 | 60.27 | 59.92 | 1f | 1.9 |
| 23.07 | 15 28 03 | 60.27 | 59.92 | 1f | 3.3 |
| 01.08 | 19 46 56 | 60.17 | 59.97 | 1f | 2.1 |
| 07.08 | 08 10 52 | 60.24 | 60.01 | 1f | 3.0 |
| 29.08 | 20 00 44 | 60.21 | 59.99 | 1f | 2.8 |
| 15.09 | 16 58 36 | 60.20 | 59.98 | 1f | 2.3 |
| 29.09 | 20 25 31 | 57.96 | 59.98 | 1f | 2.5 |
| 04.10 | 21 43 27 | 60.25 | 60.00 | 1f | 2.1 |
| 12.10 | 15 49 31 | 58.25 | 59.75 | 1f | 2.7 |
| 17.10 | 04 46 02 | 60.24 | 60.00 | 1f | 3.0 |
| 27.10 | 21 51 54 | 60.24 | 60.00 | 1f | 2.3 |
| 10.11 | 07 26 14 | 60.25 | 60.00 | 1f | 3.2 |
| 14.11 | 17 43 36 | 60.24 | 59.97 | 1f | 2.2 |
| 17.11 | 01 01 33 | 60.20 | 59.90 | 1f | 2.7 |
| 19.11 | 17 41 25 | 60.21 | 60.03 | 1f | 3.0 |
| 25.11 | 05 57 44 | 60.13 | 59.97 | 1f | 1.9 |
| 04.12 | 02 05 35 | 60.27 | 60.01 | 1f | 2.7 |
| 14.12 | 14 57 22 | 60.14 | 59.99 | 1f | 3.6 |

Крупным сейсмическим событием стал горно-тектонический удар на шахте «Кальинская» (СУБР), произошедший 30 марта в 17^h45^m . Он также присутствует в каталогах агентств (IDC, ISC). Магнитуда $ML_{рег}$, оцененная по инструментальным записям, составила 3.4, данных о макросейсмических проявлениях нет.

Наиболее сильным зарегистрированным сейсмическим событием в 2013 г. стал горно-тектонический удар, произошедший также на шахте «Кальинская» (СУБР) 14 декабря в 14^h57^m с $ML_{рег}=3.6$, сейсмограммы которого представлены на рис. 8.

В г. Североуральске и п. Калья событие имело макросейсмические проявления. Согласно имеющимся данным опроса населения, землетрясение вызвало испуг, в некоторых случаях сильный испуг. В помещениях качалась мебель, вибрировали предметы, выплескивалась вода из стакана. В п. Калья в одном из зданий заметили отколовшийся кусок штукатурки. Все это указывает на интенсивность в эпицентре $I_0=4-5$ баллов по шкале MSK-64 [17]. Данные о макросейсмических проявлениях горно-тектонического удара предоставлены Службой прогнозирования и предотвращения горных ударов (СППГУ) ОАО «СУБР». Также СППГУ предоставила данные о местоположении очага в районе п. Калья, рассчитанные по данным шахтной

сейсмологической сети (60.23 N, 60.01 E), который был принят за макросейсмический эпицентр. Для этих двух ГТУ, которые были зарегистрированы на телесеизмических расстояниях, в табл. 3 и 4 приведены решения других агентств.

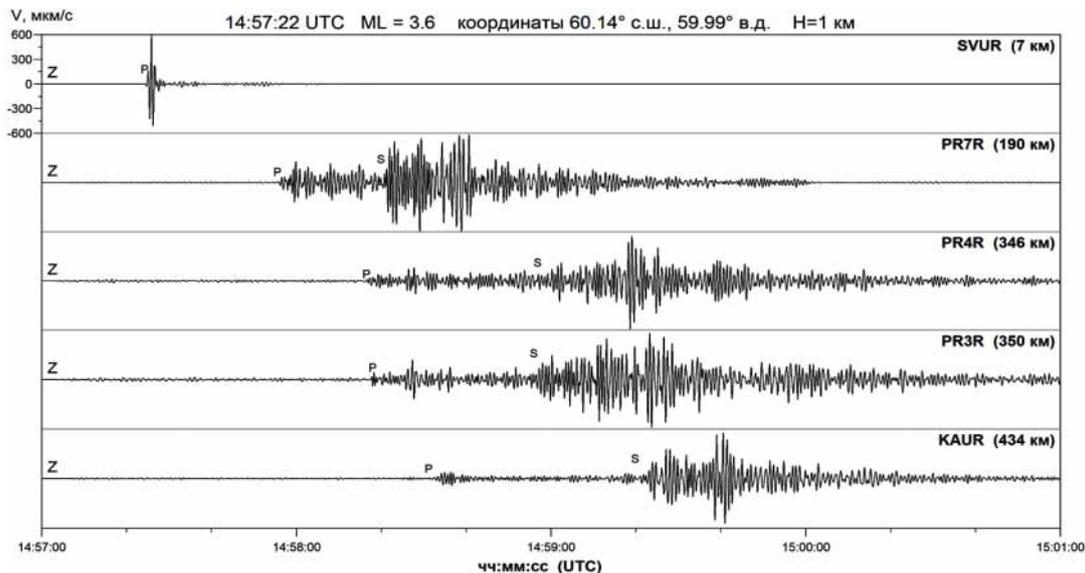


Рис. 8. Сейсмограммы горно-тектонического удара, произошедшего на СУБРе 14 декабря 2013 г. в 14^h57^m

Таблица 3. Решения параметров горно-тектонического удара, произошедшего в Свердловской области 30 марта 2013 г., по данным Уральской сети в сопоставлении с определениями других агентств

| Агентство | t_0 , ч мин с | δt_0 , с | Гипоцентр | | | | | Магнитуды |
|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------|--------------------------------|
| | | | φ°, N | $\delta\varphi^\circ$ | λ°, E | $\delta\lambda^\circ$ | $h, км$ | |
| MIRAS | 17 45 09 | | 60.21 | 0.03 | 60.01 | 0.03 | 1f | $M_{L_{пер}}=3.4/4$ |
| MOS | 17 45 07 | 1.5 | 60.28 | 1.39 | 60.12 | 0.77 | 4 | $MPSP=4.4/4$ |
| IDC | 17 45 09 | 0.9 | 60.34 | 0.20 | 60.08 | 0.15 | 0f | $m_b=3.4/4, M_{L_{пер}}=3.3/7$ |
| ISC | 17 45 08 | 0.9 | 60.20 | 0.11 | 60.04 | 0.10 | 12f | $m_b=3.4/4$ |

Таблица 4. Решения параметров горно-тектонического удара, произошедшего в Свердловской области 14 декабря 2013 г.

| Агентство | t_0 , ч мин с | δt_0 , с | Гипоцентр | | | | | Магнитуды |
|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------|------------------------|
| | | | φ°, N | $\delta\varphi^\circ$ | λ°, E | $\delta\lambda^\circ$ | $h, км$ | |
| MIRAS | 14 57 22 | 1.03 | 60.19 | 0.22 | 59.98 | 0.22 | 1f | $M_L=3.6/4$ |
| IDC | 14 57 24 | 1.2 | 60.19 | 0.18 | 60.02 | 0.11 | 0f | $m_b=3.6/3, M_L=3.7/7$ |
| ISC | 14 57 20 | 1.1 | 60.26 | 0.15 | 60.26 | 0.11 | 0.2f | $m_b=3.46/3$ |
| KNDC | 14 57 33 | 1.0 | 59.90 | 0.08 | 60.73 | 0.10 | 0f | $m_b=4.1, m_{pv}=3.9$ |

Примечание. MIRAS – Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; ISC – International Seismological Centre, Thatcham, Berkshire, United Kingdom [10]; KNDC (NNC) – Казахстанский национальный центр данных [11]; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, Vienna, Austria [12]; f – фиксированная глубина.

Горно-тектонический удар 29 сентября в 20^h25^m с $M_{L_{пер}}=2.5$ в районе г. Нижнего Тагила по данным Службы прогнозирования и предупреждения горных ударов ОАО «ВГОК» был связан с проявлениями горного давления в шахте «Естюнинская». Комиссия, осуществлявшая последующий обход выработок, выявила, что сотрясение массива не сопровождалось воздушной и звуковой волной, обрушением или выбросом горной массы на рабочие горизонты шахты. Данный горно-тектонический удар был зарегистрирован также сейсмическими станциями сети наблюдений Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (KNDC).

Таблица 5. Решения параметров горно-тектонического удара, произошедшего в Свердловской области 29 сентября 2013 г.

| Агентство | t_0 , ч мин с | δt_0 , с | Гипоцентр | | | | Магнитуды | |
|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------|------------------------------|
| | | | φ°, N | $\delta\varphi^\circ$ | λ°, E | $\delta\lambda^\circ$ | | |
| MIRAS | 20 25 31 | 0.7 | 57.96 | 0.02 | 59.89 | 0.02 | 0 | $ML_{\text{пер}}=2.5/7$ |
| KNDC | 20 25 40 | 1.8 | 57.48 | | 60.39 | | 0f | $m_b=3.5, m_{\text{pv}}=3.2$ |

По другому ГТУ, произошедшему 12 октября в 15^h49^m ($ML_{\text{пер}}=3.0$) в районе г. Кушвы (ВГОК), данных о макросейсмических проявлениях нет. Суммарная сейсмическая энергия всех ГТУ составила $\Sigma E=2.82 \cdot 10^9$ Дж. Их техногенная природа не подвергается сомнению. Карта эпицентров сейсмических событий и ГТУ, произошедших в 2013 г, представлена на рис. 9.

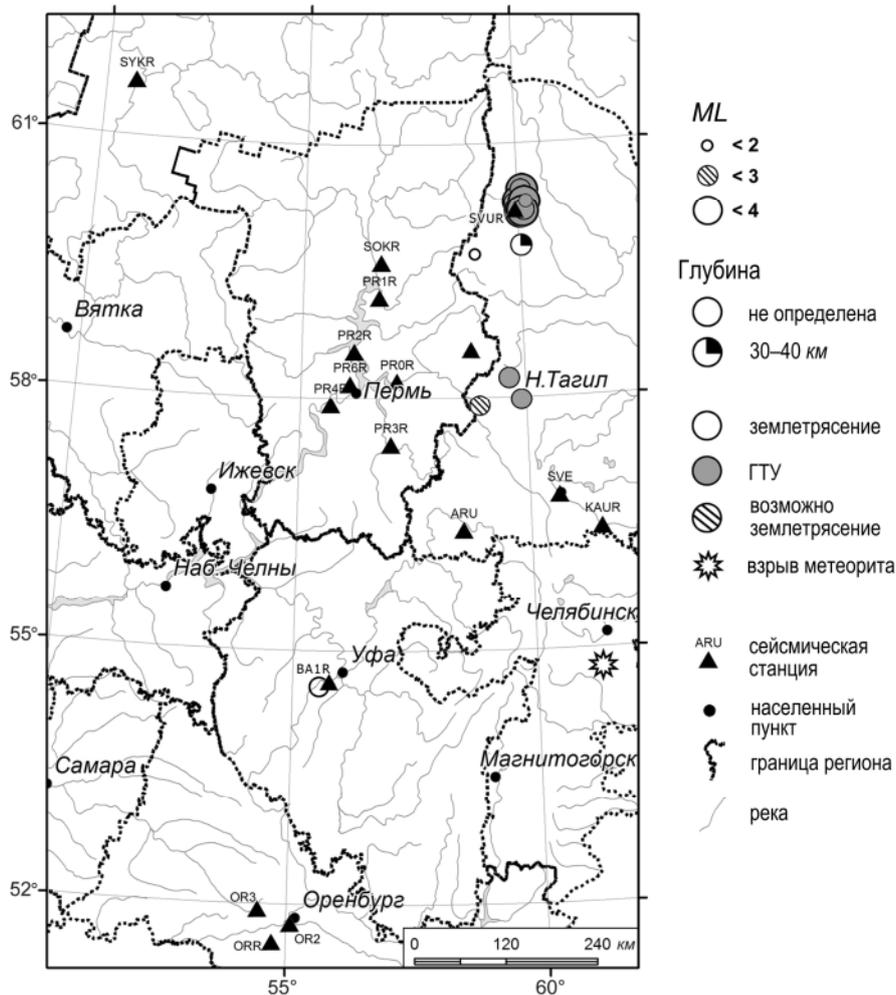


Рис. 9. Карта эпицентров сейсмических событий Урала в 2013 г.

Землетрясения. На территории Пермского края в 2013 г. не было зарегистрировано ни одного землетрясения с локальной магнитудой $ML_{\text{пер}} \geq 1.6$. Более мелкие события фиксируются одной, реже двумя станциями и остаются, как правило, в архивах записей регионального обрабатывающего центра необработанными. На территории Свердловской области произошли три землетрясения, одно из которых № 3 (табл. 6) отнесено к категории «возможно землетрясение» в связи с тем, что его эпицентр расположен недалеко от Высокогорского ГОКа. Тектоническая природа двух других событий № 2 и № 4 (табл. 6) не подвергается сомнению. Впервые с 2007 г. [18] в платформенной части республики Башкортостан зарегистрировано землетрясение – №5 (табл. 6). Регистрация данного события стала возможной благодаря вводу в эксплуатацию сейсмической станции «Уфа», открытие которой существенным образом расширило регистрационные возможности на данной территории. Природа данного события, возможно, является

техногенной, поскольку его эпицентр расположен в пределах Алкинского нефтяного месторождения.

Таблица 6. Тектонические землетрясения и «возможно землетрясения» Урала в 2013 г.

| № | Дата, д мес | t_0 , ч мин с | Эпицентр | | h км | $ML_{пер}$ | Район | Природа события |
|---|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|------------|--|------------------------|
| | | | φ°, N | λ°, E | | | | |
| 1 | 15.02 | 03 20 32 | 54.76 | 61.30 | -20f | 3.2* | Челябинская обл., г. Еманжелинск, р-н оз. Чебаркуль | взрыв метеорита |
| 2 | 02.03 | 00 00 15 | 59.90 | 60.04 | 35 | 2.3 | Свердловская обл., г. Волчанск | землетрясение |
| 3 | 27.04 | 11 32 34 | 57.88 | 58.91 | 23 | 2.9 | Свердловская обл., с. Серебрянка | возможно землетрясение |
| 4 | 21.09 | 21 39 41 | 59.66 | 58.98 | 2 | 1.7 | Свердловская обл., гора Конжаковский камень | землетрясение |
| 5 | 17.11 | 19 21 51 | 54.57 | 55.69 | 10 | 2.5 | Республика Башкортостан, Чишминский район | землетрясение |

Примечание. * – магнитуда взрыва метеорита определена по сейсмическому эффекту, вызванному ударно-воздушной волной.

Уникальным событием, зарегистрированным сетью региональных сейсмических станций, а также сейсмическими станциями других агентств, – падение (взрыв) метеорита под Челябинском [13, 14]. Взрыв, который по нашим данным произошел на высоте 20 км, был зарегистрирован многими станциями мира. Имеются сейсмограммы более чем с 70 цифровых широкополосных станций, расположенных на расстояниях до 4000 км, с большой выборкой по азимутам.

На телесеизмических расстояниях идентификация сигнала от метеорита затрудняется наложением волновых форм от тектонического землетрясения в Тонга в 03^h02^m (UTC) с магнитудой $M_w=5.7$.

Таблица 7. Разные решения параметров взрыва Челябинского метеорита 15 февраля 2013 г.

| Агентство | t_0 , ч мин с | Гипоцентр | | | Магнитуда |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|-----------------------|
| | | φ°, N | λ°, E | $h, км$ | |
| MIRAS | 03 20 32 | 54.766 | 61.301 | -20f | $M_L=3.2$ |
| NEIC | 03 20 26 | 55.150 | 61.410 | 0f | $M_N=4.2$ |
| KNDC | 03 21 59 | 54.7222 | 61.5721 | 4f | $m_b=3.5, m_{pv}=3.1$ |

Примечание. NEIC – National Earthquake Information Center. Golden, Colorado, USA [13].

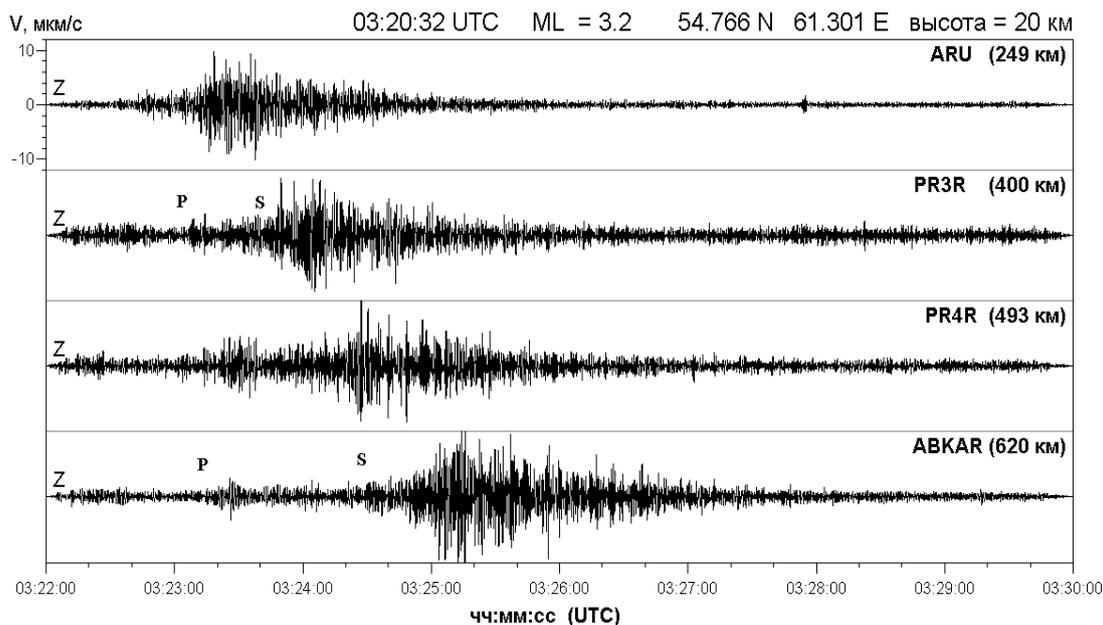


Рис. 10. Сейсмограммы взрыва метеорита, упавшего 15 февраля 2013 г. в районе г. Еманжелинск в Челябинской области

Итоговое распределение событий разных типов по магнитудам $ML_{\text{рег}}$ и суммарное распределение сейсмической энергии ΣE на территории Урала представлено в табл. 8. Энергия (в Дж) событий рассчитывалась по формуле (1):

$$\lg E = 1.96 ML_{\text{рег}} + 2.05. \quad (1)$$

Таблица 8. Распределение числа сейсмических событий в различных интервалах магнитуд и суммарной выделившейся сейсмической энергии

| Тип события | $ML_{\text{рег}}$ | | | N_{Σ} | $\Sigma E, \text{ Дж}$ |
|--------------------------------------|-------------------|---------|---------|--------------|------------------------|
| | 1.1–2.0 | 2.1–3.0 | 3.1–4.0 | | |
| Землетрясение/возможно землетрясение | 1 | 3 | | 4 | $0.0670 \cdot 10^9$ |
| ГТУ | 5 | 19 | 7 | 31 | $2.82 \cdot 10^9$ |
| Взрывы | 59 | 78 | | 137 | $3.99 \cdot 10^9$ |
| Падение метеорита (взрыв) | | | 1 | 1 | $0.20 \cdot 10^9$ |
| Всего | 60 | 95 | 7 | 173 | $7.08 \cdot 10^9$ |

Подводя итоги за 2013 г., рассмотрим ряд наблюдений, начиная с 2006 г. (рис. 11). Как видим, суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очагах землетрясений, существенно снизилась в 2013 году. При этом тренд на снижение природной сейсмической активности продолжается с 2010 года.

Несмотря на то, что число горно-тектонических ударов в 2013 г. фактически равно прошлогоднему – $N_{\Sigma} = 31$ и 32 в 2012 г. [1], количество суммарной выделенной сейсмической энергии меньше в два раза – $\Sigma E = 2.84 \cdot 10^9$ Дж вместо $5.33 \cdot 10^9$ Дж в 2012 г. [1].

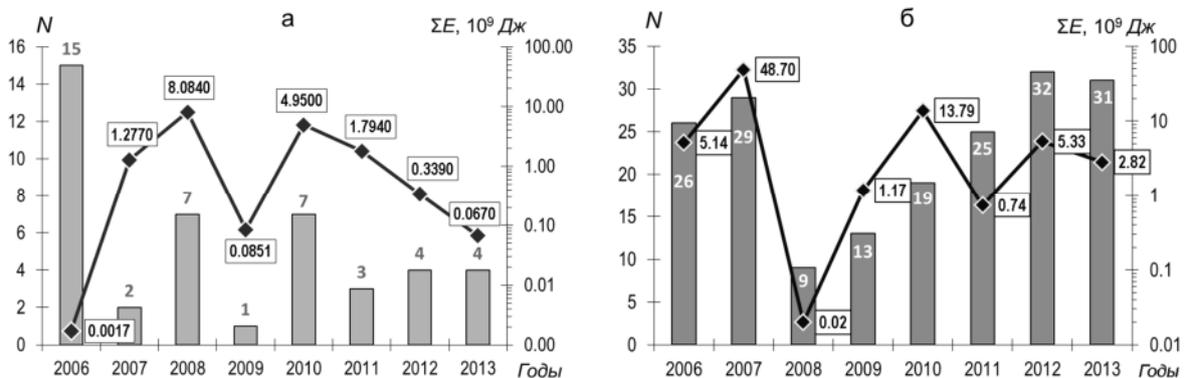


Рис. 11. Сводные данные о годовых числах и суммарной энергии для землетрясений/«возможно землетрясений» (а) и горно-тектонических ударов (б) за 2006–2013 гг.

Заключение. В целом можно отметить, что для Урала 2013 г. в сейсмическом отношении был достаточно спокойным. Пространственное распределение эпицентров произошедших сейсмических событий подтверждает наличие ранее выявленных активных зон техногенной сейсмичности в районе гг. Североуральска и Нижнего Тагила.

Л и т е р а т у р а

1. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Голубева И.В., Верхованцев Ф.Г., Злобина Т.В. Урал // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 240–247.
2. Верхованцев Ф.Г., Дягилев Р.А. (сост.). Цифровые станции Уральской сейсмической сети в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
3. Требования к сейсмическим сетям и станциям, интегрируемым в Федеральную сеть сейсмологических наблюдений. Утв. 27.04.2017 г. – Обнинск: Фонды ФИЦ ЕГС РАН, 2017.

4. **Analog Seismic Sensors**. Sercel, 2010. 16 p.— URL: [ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog Seismic Sensors Specifications.pdf](ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog_Seismic_Sensors_Specifications.pdf).
5. **Third Generation Broadband Seismic Recorder**, 2013. 2 p. – URL: <http://www.reftek.com/pdf/130S-01-Front-Back.pdf>
6. **Дягилев Р.А.** Шкала M_L для Среднего Урала // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 219–223.
7. **Рихтер Ч.** Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 13–44.
8. **Телесеismicкий годограф IASPEI Kennet B.L.N. (editor)**. IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.
9. **Kanamori H., Mori J., Hauksson E., Heaton T.H., Hutton L.K., Jones L.M.** Determination of Earthquake Energy Release and M_L using TERRAscope. – Bull. Seism. Soc. Am. – 1993. – **83**. – N 2. – P. 330–346.
10. **International Seismological Centre**, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
11. **Казахстанский национальный центр данных** – URL: <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
12. **International Data Centre**, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization [Сайт]. – URL: <https://www.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre>
13. **National Earthquake Information Center** – URL: <https://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php>
14. **Верхованцева Т.В., Варлашова Ю.В.** Импактное событие, произошедшее 15 февраля 2013 г. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 100–103.
15. **Усольцева О.А., Дягилев Р.А., Мулев С.Н.** Сейсмические колебания, вызванные ударной волной от Челябинского болида в ближней зоне // Динамические процессы в геосферах. Выпуск 5. Геофизические эффекты падения Челябинского метеороида: сборник научных трудов ИГД РАН. Специальный выпуск. – М.: Геос, 2014. – С. 104–116.
16. **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.
17. **Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
18. **Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В.** Урал // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 242–248.

METADATA IN ENGLISH

URAL

A.A. Malovichko¹, R.A. Dyagilev¹, F.G. Verkholtantsev¹, I.V. Golubeva¹, T.V. Zlobina²

¹ *Geophysical survey of Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, amal@gsras.ru*

² *Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia, tati.verkholtantseva@gmail.com*

Abstract. The article shows the monitoring results of the Ural region seismic network in 2013. It describes the seismic stations and registration abilities of the network. The analysis of seismic activity in Ural in 2013 and information about changes of regional seismic regime since 2006 are given. The seismicity in Ural is unique as it is presented by wide spectrum of natural earthquakes (tectonic, earthquakes due to collapse, impact) as well as induced earthquakes (explosions, rock falls, rockbursts). Whereby the number of explosions in the region predominates among other seismic events, the number of rockbursts is much more than tectonic earth-

quakes. A structural ordering can be seen for tectonic earthquakes. They tend to the basic geologic structure of the region to the Main Ural Fault. The induced events tend to mining regions. Also, there is a weak scattered seismicity that is typical for platform territories. Acting since 1999 the regional seismic network provides the representative registration on the magnitude level $ML \geq 2.5$. In general in 2013 in Ural it was registered 173 seismic events, and their basic seismic parameters were determined. The common number of industrial explosions was 173. The summarized seismic explosions energy was $3.99E+9$ Joules. The number of rockbursts was 29; their seismic energy was $2.82E+9$ Joules. The five tectonic earthquakes made the minimal contribution to the seismicity of the region. The unique event registered by seismic network was the explosion of Chelyabinsk meteorite, and its parameters are shown in the article. Parameters of all mentioned above seismic events are presented in catalogue. The strongest events with $ML \geq 3.0$ including Chelyabinsk meteorite explosion, are considered separately, including their seismograms and parameters provided by other international seismic centers. The article shows the map with the actual locations of regional seismic stations and event epicenters in 2013. Generally the seismic regime of the region in 2013 was quite calm; the summarized seismic explosions energy was low. The trend to the seismic activity decay continues since 2010. The location of the natural and induced seismic events in space confirms the active zones previously determined.

Keywords: seismicity, seismic network, magnitude, seismic regime, rockburst, earthquake, explosion, Chelyabinsk meteorite, Main Ural fault.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.23

For citation: Malovichko, A.A., Dyagilev, R.A., Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., & Zlobina, T.V. (2019). Ural. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 256–267. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.23

R e f e r e n c e s

1. Malovichko, A.A., Dyagilev, R.A., Golubeva, I.V., Verkholtantsev, F.G., & Zlobina, T.V. (2019). Ural. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21 (2012), 240–247.
2. Verkholtantsev, F.G., Dyagilev, R.A. (2019). Digital stations of the Ural seismic network in 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
3. *Trebovaniia k seismicheskim setiam i stantsiiam, integriruemym v Federal'nuu set' seismologicheskikh nabliudenii. Utv. 27.04.2017 g.* [Requirements for seismic networks and stations, integrated into the Federal network of seismological observations. Approved 04/27/2017] (2017). Obninsk, Russia: Funds GS RAS. (In Russ.).
4. Analog Seismic Sensors. Sercel. (2010). Retrieved from ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog_Seismic_Sensors_Specifications.pdf
5. Third Generation Broadband Seismic Recorder (2013). Retrieved from <http://www.reftek.com/pdf/130S-01-Front-Back.pdf>
6. Dyagilev, R.A. (2015). [ML scale for the Middle Urals]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy X Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly* [Modern methods of processing and interpreting seismological data. Proceeding of the X International Seismological School] (pp. 219–223). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
7. Richter, C.F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 25 (1), 1–32.
8. Kennet, B.L.N. (1991). *IASPEI 1991 Seismological Tables*. Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University.
9. Kanamori, H., Mori, J., Hauksson, E., Heaton, T.H., Hutton, L.K., & Jones, L. M. (1993). Determination of earthquake energy release and ML using TERRASCOPE. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83 (2), 330–346.
10. International Seismological Centre. (2019). On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
11. Kazakhstan National Data Center (2019). Retrieved from <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
12. International Data Centre. (2019). Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. Retrieved from <https://www.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre>
13. National Earthquake Information Center. (2019). Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php>

14. Verkholantseva, T.V., & Varlashova, Y.V. (2014). [Impact event that occurred on February 15, 2013]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy X Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly* [Modern methods of processing and interpreting seismological data. Proceeding of the X International Seismological School] (pp. 100–103). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
15. Usoltseva, O.A., Dyagilev, R.A., & Mulev, S.N. (2014). [Seismic vibrations caused by the shock wave from the Chelyabinsk bolide in the near zone]. In *Dinamicheskie protsessy v geosferakh. Vypusk 5. Geofizicheskie efekty padeniia Cheliabinskogo meteoroida: sbornik nauchnykh trudov IGD RAN. Spetsial'nyi vypusk* [Dynamic processes in geospheres. Issue 5. Geophysical effects of the fall of the Chelyabinsk meteoroid: a collection of scientific papers IGD RAS. Special issue] (pp. 104–116). Moscow, Russia: Geos Publ. (In Russ.).
16. Dyagilev, R.A., & Golubeva, I.V. (2008). [Evaluation of the effectiveness of the A_s / A_p seismic event recognition criterion for stations in the Ural region using statistical approaches]. In *Seismichnost' Severnoi Evrazii. Materialy mezhdunarodnoi konferentsii* [Seismicity of Northern Eurasia. Proceeding of the international conference] (pp. 78–80). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
17. Medvedev, S.V., Sponheuer, W., & Kárník, V. (1965). *Shkala seismicheskoi intensivnosti MSK-64* [Seismic Intensity Scale MSK-64]. Moscow, Russia: Interdepartmental Geophysical Commission of the USSR Acad. Sci. Publ, 11 p. (In Russ.).
18. Malovichko, A.A., Dyagilev, R.A., Malovichko, D.A., Verkholantsev, F.G., & Golubeva, I.V. [Ural]. In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii v 1995 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 1995] (pp. 242–248). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).