

Сейсмические события Свердловской области за период 1788–2022 гг.

Анастасия Юрьевна ОСИПОВА*

Вячеслав Юрьевич ОСИПОВ**

Геннадий Иванович ПАРЫГИН***

Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Введение. Свердловская область является крупным промышленным центром, где расположены горнодобывающие предприятия, химические заводы, водохранилища, электростанции большой мощности, соседствующие с крупными городами. В настоящее время на территории области ежегодно регистрируется около 400 сейсмических событий, большая часть которых являются техногенными. Для обеспечения сейсмической безопасности объектов повышенной ответственности и особо ответственных объектов строительства необходимо выполнение работ по детальному сейсмическому районированию рассматриваемой территории, первым этапом которого являются результаты данной работы.

Методика работы. Обобщены исторические и инструментальные каталожные данные за период 1788–2022 гг., выполнены обработка и анализ инструментальных записей местных сейсмических событий, зарегистрированных временными передвижными сейсмостанциями Института геофизики УрО РАН (ИГФ УрО РАН), и составлен сводный унифицированный каталог сейсмических событий, произошедших на территории Свердловской области.

Результаты работы. Анализ сейсмических событий региона показал, что большинство регистрируемых сейсмических событий – это промышленные взрывы и горнорудные землетрясения. Данные сейсмические события регистрируются в районе городов Асбест, Екатеринбург, Ревда, Нижний Тагил, Кушва, Качканар, Карпинск, Североуральск. Также на территории области неоднократно фиксировались и тектонические землетрясения. Большая часть из них не ощущается людьми, но ряд событий, магнитуда которых более 4,0, имеет макросейсмические проявления. Самым сильным является событие 17.08.1914 ($M_s = 5,0$, координаты эпицентра 57.09° с. ш., 59.8° в. д.). Сила сотрясения в эпицентре составила 6,0 баллов по шкале MSK-64. Составленный каталог тектонических землетрясений послужит основой для дальнейшего определения параметров сейсмического режима исследуемой территории.

Ключевые слова: каталог сейсмических событий, Свердловская область, сейсмичность, землетрясения, детальное сейсмическое районирование.

Введение

Свердловская область – один из самых крупных регионов Уральского федерального округа, развитый промышленный центр с высокой концентрацией особо ответственных объектов, а также объектов повышенной ответственности, соседствующих с крупными населенными пунктами, и большим количеством горнодобывающих предприятий. Расположена она в пределах восточной окраины Восточно-Европейской платформы, средней, северной частей Уральской горно-складчатой системы и западной части Западно-Сибирской плиты, далеко от современных региональных сейсмоактивных зон, в которых локализованы очаги разрушительных землетрясений с магнитудой 6,0 и более, силой сотрясения в эпицентрах 7,0–8,0 баллов по шкале MSK-64 и более. В то же время на территории Свердловской области отмечаются редко происходящие местные сейсмические события силой до

5,0–6,0 баллов по шкале MSK-64. Природа их различна. В исследуемом регионе регистрируется большое количество промышленных взрывов, горнорудных событий, реже регистрируются тектонические землетрясения. Определение их природы крайне важно для сейсмического районирования территории. В данной работе приведен анализ сейсмических событий Свердловской области с 1788 по 2022 г., отдельно рассмотрен и представлен каталог тектонических землетрясений.

Содержание работ

Сведения о сейсмических событиях Урала содержатся в работах [1–10]. В них представлены каталоги землетрясений региона за разный временной период. Имеется ряд принципиальных отличий в характеристиках нескольких сейсмических событий, особенно это касается доинструментального и раннего инструментального периодов наблюдений. При составлении сводного каталога событий

✉ seismolab@mail.ru

** igf_us@mail.ru

*** usc_gena@mail.ru

Свердловской области и их анализе основными опорными работами послужили:

1. Монографии [5, 10], авторы которых собрали и опубликовали первичные материалы по сейсмическим событиям с древнейших времен до 2002 г., уточнили их параметры и природу, устранили ошибочные землетрясения;

2. Ежегодные издания «Землетрясения Северной Евразии» ФИЦ ЕГС РАН [2], в которых представлены результаты непрерывного сейсмического мониторинга различных регионов территории России и ряда других стран. Для Урала опубликованы каталоги сейсмических событий, начиная с 2003 г. Помимо основных параметров для всех землетрясений в них рассчитаны значения магнитуды M_s (магнитуда по поверхностной волне Релея), указана природа событий;

3. Региональный каталог сейсмических событий ГИ УрО РАН [9]. В нем содержатся сейсмические события, начиная с 2010 г., они разделены на взрывы и микроземлетрясения.

4. Каталоги (бюллетени) сейсмических событий ИГФ УрО РАН. В них представлены сведения о сейсмических событиях, которые были зарегистрированы временными передвижными станциями института в разные периоды наблюдений.

Развернутая силами ГИ УрО РАН (г. Пермь) в сотрудничестве с ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск) в рамках сейсмического мониторинга Западного Урала, сеть станций позволяет в значительной степени улучшить представление о сейсмичности Уральского региона в целом. Начиная с 1999 г. события с магнитудой 2,5 и более здесь фиксируются без пропусков [9].

На рис. 1 представлена диаграмма, на которой показано процентное соотношение разных по природе сейсмических событий, зарегистрированных на территории Свердловской области за период 1788–2022 гг. В связи со значительным количеством промышленных и горно-

добывающий предприятий в рассматриваемом регионе подавляющее большинство фиксируемых событий – это техногенные: взрывы (82,6 %) и горнорудные землетрясения (16,52 %). Наибольшее количество взрывов, произведенных в карьерах и шахтах горнодобывающих предприятий, регистрируется в районе городов Асбест, Екатеринбург, Ревда, Нижний Тагил, Кушва, Качканар, Карпинск (рис. 2). Наиболее полная информация об этих событиях имеется с 2010 г. В последнее время их количество достигло примерно 320–430 событий в год. Магнитуда варьирует от 0,9 до 3,3 [9]. Горнорудные сейсмические события наблюдаются в районе г. Североуральска (СУБР) и г. Нижнего Тагила (Высокогорский ГОК). Ежегодно регистрируется около 30–50 событий магнитудой примерно от 0,7 до 4,5 [2, 9]. На рис. 3 представлены сейсмограммы, полученные на временном пункте наблюдения «В. Сысерть»: а) взрыва, произведенного в карьере в районе г. Асбеста Свердловской области; б) микроземлетрясения (горного удара), произошедшего в районе г. Североуральска Свердловской области.

Выполнение интенсивных открытых и подземных горных работ, включающих извлечение и перемещение огромных масс пород и применение массовых взрывов, в состоянии изменить геодинамический режим и сеймотектоническую обстановку в регионе [11].

На третьем месте, менее 1 % от общего числа регистрируемых событий, – тектонические землетрясения. За период с 1788 по 2022 г. на территории Свердловской области зарегистрировано 29 событий такой природы (табл. 1). Большая их часть, 17 событий – это землетрясения магнитудой до 3,0. Меньшее количество, 7 землетрясений, имеют магнитуду от 3,0 до 4,0; 4 землетрясения – магнитуду от 4,0 до 5,0; 1 событие – магнитуду 5,0.

Самым сильным является событие 17.08.1914 ($M_s = 5,0$, координаты эпицентра 57.09° с. ш., 59.8° в. д.).

Сейсмические события, зарегистрированные на территории Свердловской области за период 1788–2022 гг.

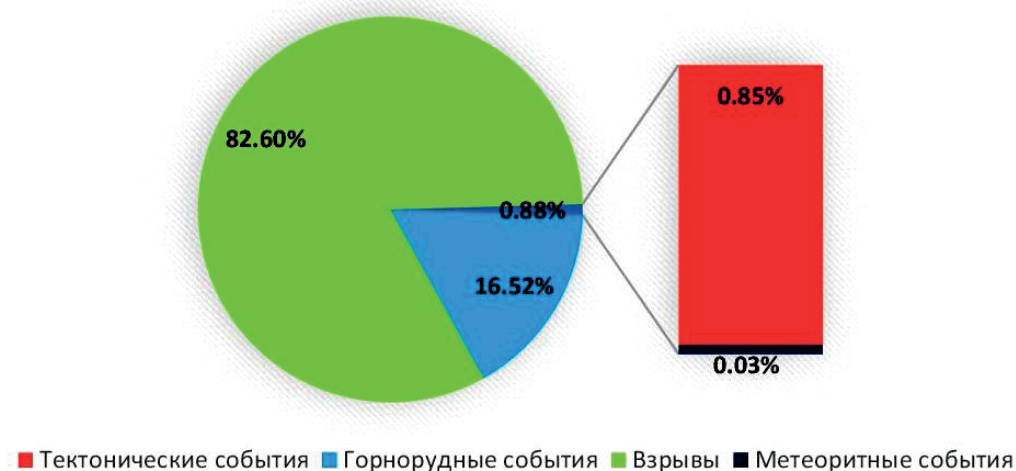


Рисунок 1. Диаграмма сейсмических событий, зарегистрированных на территории Свердловской области за период 1788–2022 гг.
Figure 1. Diagram of seismic events recorded in the territory of the Sverdlovsk region for the period 1788–2022

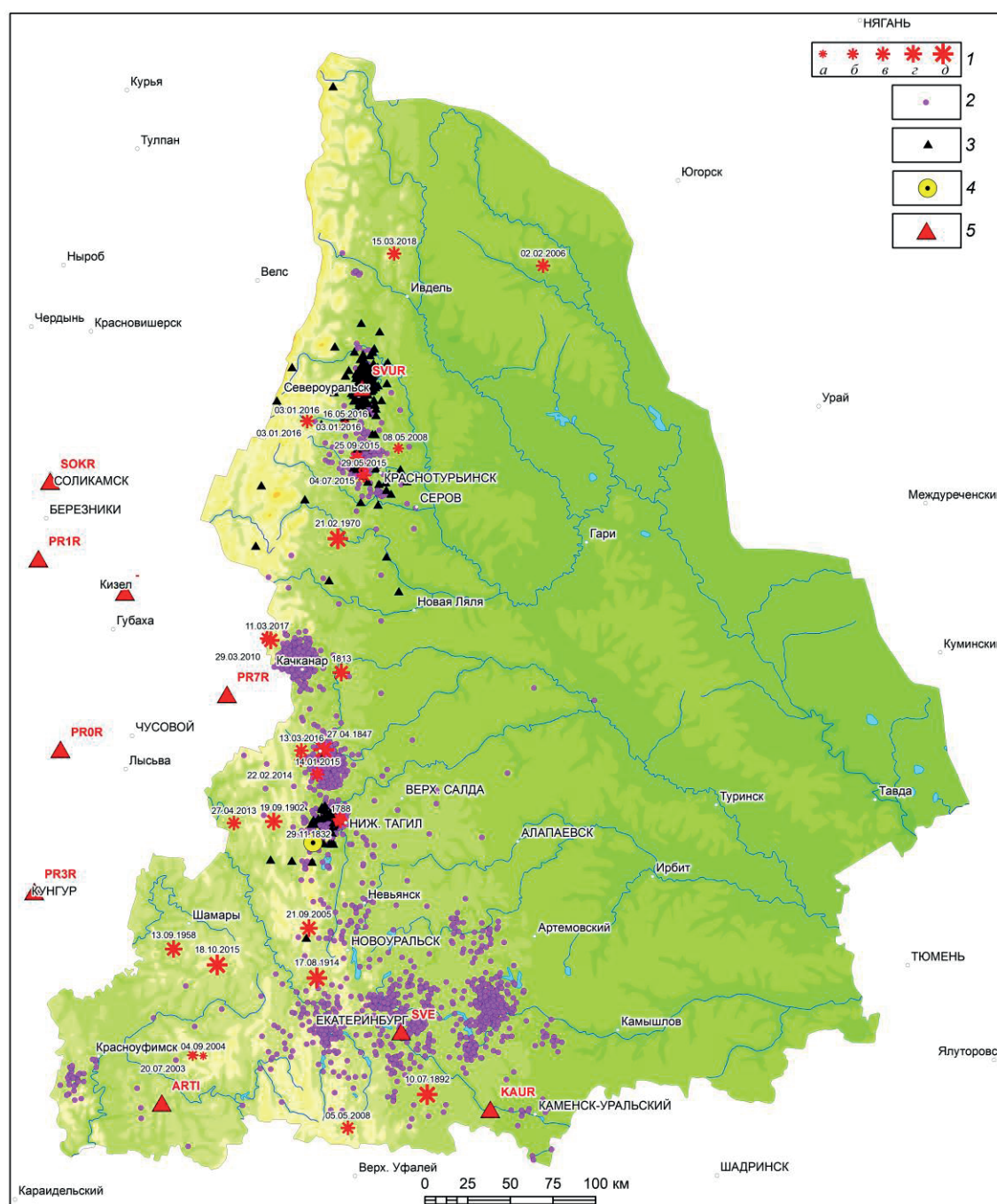


Рисунок 2. Схема расположения эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных за период 1788–2022 гг. на территории Свердловской области: 1 – эпицентры тектонических событий магнитудой: а – $M \leq 1,0$; б – $1,0 < M \leq 2,0$; в – $2,0 < M \leq 3,0$; г – $3,0 < M \leq 4,0$; д – $4,0 < M \leq 5,0$; 2 – эпицентры взрывов; 3 – эпицентры горнорудных событий; 4 – эпицентр метеоритного события; 5 – станции сейсмического мониторинга

Figure 2. Scheme of the location of the epicenters of seismic events recorded for the period 1788–2022 in the territory of the Sverdlovsk region: 1 – epicenters of tectonic events, magnitude: а – $M \leq 1,0$; б – $1,0 < M \leq 2,0$; в – $2,0 < M \leq 3,0$; г – $3,0 < M \leq 4,0$; д – $4,0 < M \leq 5,0$; 2 – epicenters of explosions; 3 – epicenters of mining events; 4 – epicenter of meteor event; 5 – seismic monitoring stations

Сила сотрясения в эпицентре составила 6,0 баллов по шкале MSK-64. Свое название землетрясение получило от Билимбаевского завода, где оно произвело наибольшие разрушения. Эпицентр находился приблизительно в 30 км к северо-востоку от завода. Во время этого события ощутимыми сотрясениями был охвачен Средний Урал и прилегающие части Северного и Южного Урала [3–8, 10, 12]. На большей части территории Свердловской области оно ощущалось как 4–5-балльное. Данное землетрясение и по настоящий

день остается самым сильным инструментально зарегистрированным сейсмическим событием Среднего Урала.

В последние годы наиболее сильные землетрясения в данном регионе были зарегистрированы 29.03.2010 ($M_s = 3,9$; координаты эпицентра 58.85° с. ш. и 59.17° в. д.) и 18.10.2015 ($M_s = 4,4$; координаты эпицентра 57.13° с. ш., 58.83° в. д.) [2, 9].

Событие 29 марта 2010 г. произошло в 21 ч 2 м 11 с по Гринвичу (30 марта примерно в 3 ч ночи по местно-

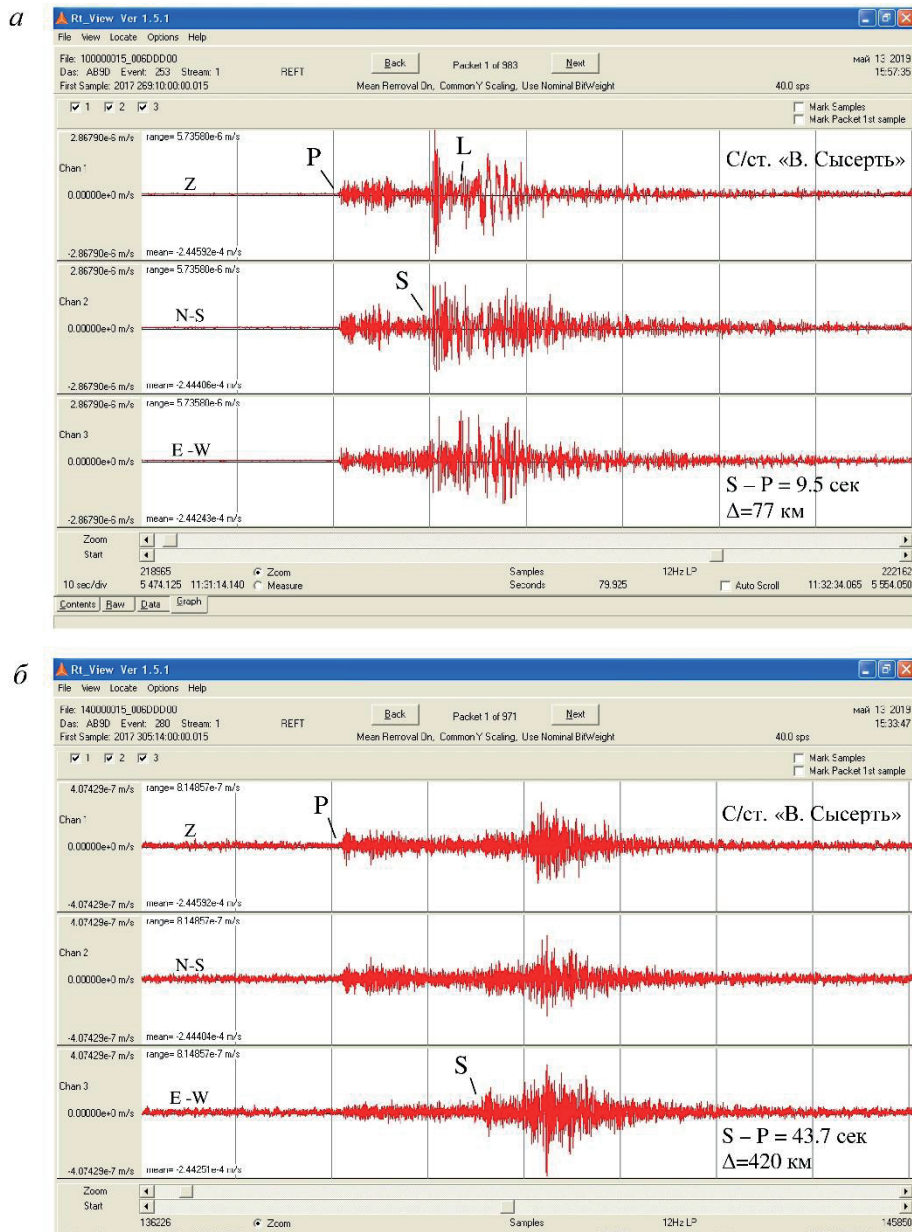


Рисунок 3. Сейсмограммы: а – промышленного взрыва, произведенного в карьере в районе г. Асбеста Свердловской области. Время в очаге по Гринвичу – 2017-09-26, 11:31:22, широта 57.0° N, долгота 61.5° E, магнитуда по длительности записи $M_d = 2,5$; б – микроземлетрясения (горного удара), произошедшего в районе г. Североуральска Свердловской области. Время в очаге по Гринвичу – 2017-11-01, 14:56:48, широта 60.2° N, долгота 60.0° E, магнитуда по длительности записи $M_d = 2,4$. Сейсмограммы получены на временном пункте наблюдения «В. Сысерть»: широта 56.44° N, долгота 60.72° E (запись скорости смещений). Компоненты записи: Z – вертикальная, N–S и E–W – горизонтальные север–юг и восток–запад. P, S, L – первые вступления продольных, поперечных и поверхностных волн
Figure 3. Seismograms: a – an industrial explosion produced in a quarry near the city of Asbest, Sverdlovsk region. Time in the source according to GMT – 2017-09-26, 11:31:22, latitude 57.0° N, longitude 61.5° E, magnitude according to the duration of the record $M_d = 2,5$; b – micro-earthquake (rock burst) that occurred in the area of the city of Severouralsk, Sverdlovsk region. The time in the source according to GMT is 2017-11-01, 14:56:48, latitude 60.2° N, longitude 60.0° E, duration magnitude $M_d = 2,4$. Seismograms were obtained at the temporary observation point “V. Sysert”: latitude 56.44° N, longitude 60.72° E (displacement rate record). Recording components: Z – vertical, N–S and E–W – horizontal north-south and east-west. P, S, L are the first arrivals of P, S and surface waves

му времени). Эпицентр землетрясения находился в 25 км к северо-западу от г. Качканара. Магнитуда землетрясения составила $M_L = 4,4$ ($M_S = 3,9$), глубина очага $h = 10$ км, интенсивность в эпицентре 4–5 баллов по шкале MSK-64. Землетрясение ощущалось в нескольких ближайших населенных пунктах в радиусе 40–50 км. Согласно результатам опроса жителей, выполненного сотрудниками ГИ УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН, данное событие вызвало большой обществен-

ный резонанс и тревогу среди населения. Все люди, ощущавшие землетрясение, сначала чувствовали прохождение звуковой волны – «раскат грома», «как от взрыва», затем задрезбужали стекла, «пошла нарастающая вибрация», произошло несколько толчков, после которых вибрация стала убывать [13, 14]. Через 10 дней после землетрясения в данном районе имело место еще одно микроземлетрясение с магнитудой $M_L = 2,1$ ($M_S = 1,6$), которое в силу своей пространственно-

Таблица 1. Сводный каталог тектонических землетрясений, зарегистрированных на территории Свердловской области за период 1788–2022 г.**Table 1. Consolidated catalog of tectonic earthquakes recorded in the territory of the Sverdlovsk region for the period 1788–2022**

Дата	Время (GMT)	Широта, с. ш.	Долгота, в. д.	Глубина, км	Магнитуда M_s	Источник
1788	–	57.92	59.96	15	3,0	[4, 10]
1813	–	58.70	59.90	15	3,7	[1, 3–5, 7, 10]
29.11.1832	06:00:00	57.93	59.95	10	3,0	[1, 3–5, 7, 10]
27.04.1847	08:00:00	58.29	59.76	23	4,5	[1, 3–5, 7, 10]
10.07.1892	09:52:00	56.50	60.90	15	4,7	[1, 4, 5, 7, 10]
19.09.1902	17:03:00	57.90	59.30	16	3,5	[1, 3, 5, 7, 10]
17.08.1914	04:57:10	57.09	59.80	26	5,0	[1, 3–8, 10]
13.09.1958	04:39:50	57.20	58.40	35	3,9	[1, 3, 5, 6–8, 10]
21.02.1970	07:09:15	59.40	59.80	14	4,2	[1, 3, 5, 6–8, 10]
20.07.2003	20:33:23.5	56.65	58.65	24	2,0	[2, 6, 8]
04.09.2004	06:25:13	56.65	58.75	10	~ 1,0	[6]
21.09.2005	20:40:21.5	57.35	59.70	10	3,3	[2, 6, 8]
02.02.2006	11:30:21	60.87	61.87	10	2,6	[2]
05.05.2008	14:59:20	56.31	60.16	10	2,3	[8]
08.05.2008	04:42:32	59.89	60.39	10	2,0	[8]
29.03.2010	21:02:11	58.85	59.17	10	3,9	[2, 8]
08.04.2010	17:59:05	58,91	59.04	10	1,6	[2, 9]
27.04.2013	11:32:34	57.88	58.91	23	2,4	[2, 9]
22.02.2014	09:56:11	58.23	59.54	5	2,7	[2, 9]
14.01.2015	20:50:48	58.16	59.71	10	2,4	[2, 9]
29.05.2015	18:41:19	59.74	60.04	1	2,8	[2, 9]
04.07.2015	00:33:35	59.79	60.03	10	2,3	[2, 9]
25.09.2015	18:24:47	59.83	59.96	10	2,1	[2, 9]
18.10.2015	21:44:51	57.13	58.83	12	4,4	[2, 9]
03.01.2016	13:48:53	60.01	59.42	10	2,6	[2, 9]
13.03.2016	02:17:00	58.28	59.54	2	2,3	[2, 9]
16.05.2016	17:19:08	60.00	59.82	10	1,6	[2, 9]
11.03.2017	03:12:42	58.89	59.13	10	2,4	[2, 9]
15.03.2018	22:53:22	60.91	60.26	10	2,4	[2, 9]

временной близости к Качканарскому землетрясению было признано его единственным афтершоком [2, 14].

Событие 18 октября 2015 г. произошло в 21 ч 44 м 51 с по Гринвичу (19 октября, примерно в 4 ч ночи по местному времени). На рис. 4 приведена сейсмограмма этого землетрясения. Эпицентр землетрясения находился в пос. Сабик Шалинского района Свердловской области, приблизительно в 40 км к западу–северо-западу от эпицентра самого сильного на Среднем Урале Билимбаевского землетрясения. Магнитуда землетрясения составила $M_L = 4,7$ ($M_S = 4,4$), глубина очага $h=12$ км, интенсивность в эпицентре 5,0 баллов по шкале MSK-64. Землетрясение ощущалось достаточно отчетливо не только в ближних населенных пунктах, но и на расстоянии более 100 км от эпицентра [2, 15, 16]. Специалистами ГИ УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН был проведен сбор макросейсмических данных [16].

В радиусе 10–20 км от инструментального эпицентра отмечались сильные толчки, звон посуды, тряска стекол в окнах, раскачивание легких предметов, шатание крупной бытовой техники. Многие очевидцы просыпались, выбегали на улицу. Прохождение сейсмических волн сопровождалось шумовыми эффектами. Люди описывали свои ощущения, как «толчок, вибрация, будто снег упал с крыши», «гул, грохот, будто в угол дома въехал грузовик». Граница зоны осязаемости данного землетрясения проходила на удалении около 130 км от эпицентра, где были либо слабые, еле ощутимые толчки, либо ничего не ощущалось. На северо-запад от очага ощутимые колебания распространялись заметно дальше, чем в других направлениях. Повреждения зданий и сооружений не выявлены ни в одном из обследованных населенных пунктов. Поскольку сотрясения охватили большинство населенных пунктов Среднего Урала, землетрясение получило название Среднеуральского [15–17].

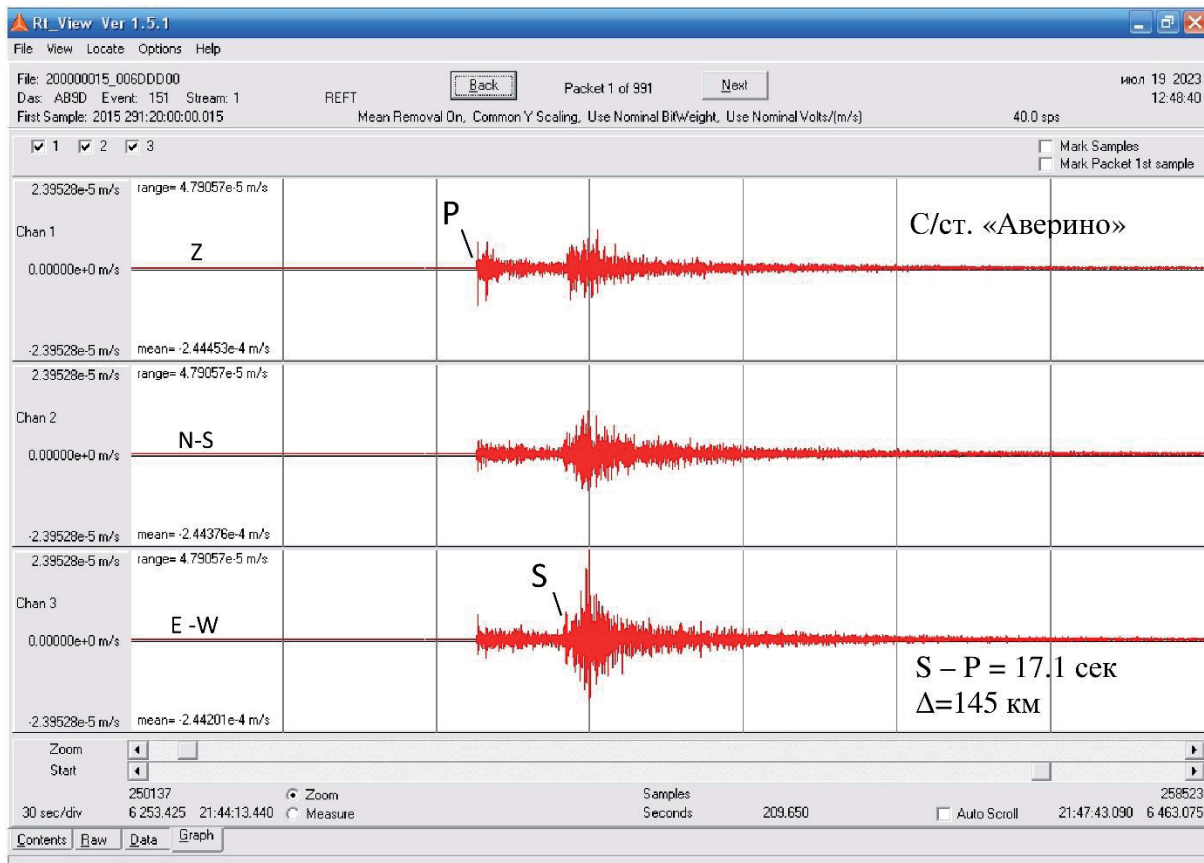


Рисунок 4. Сейсмограмма Среднеуральского землетрясения, произошедшего вблизи пос. Сабик Шалинского района Свердловской области, полученная на временном пункте наблюдения «Аверино»: широта 56.33° N, долгота 61.04° E (запись скорости смещений). Время в очаге по Гринвичу – 2015-10-18, 21:44:51, широта 57.13° N, долгота 58.83° E, магнитуда $M_d = 3,1$ ($M_s = 4,4$) Компоненты записи: Z – вертикальная, N–S и E–W – горизонтальные север–юг и восток–запад. P, S – первые вступления продольных, поперечных волн
Figure 4. Seismogram of the Middle Urals earthquake that occurred near the village. Sabik, Shalinsky district, Sverdlovsk region, obtained at the temporary observation point “Averino”: latitude 56.33° N, longitude 61.04° E (displacement velocity record). Time in the source GMT – 2015-10-18, 21:44:51, latitude 57.13° N, longitude 58.83° E, magnitude $M_d = 3.1$ ($M_s = 4.4$) Record components: Z – vertical, N–S and E–W – horizontal north–south and east–west. P, S – first arrivals of longitudinal, transverse waves

Отдельного внимания заслуживают землетрясения на севере области, в районе городов Ивделя, Красногубинска, Карпинска. Здесь наблюдается увеличение регистрируемых событий, вероятно, тектонической природы. Эпицентры этих, а также многих других землетрясений Свердловской области, располагаются близко к горнодобывающим предприятиям, осуществляющим разработку месторождений полезных ископаемых наземным и подземным способами. Практически везде разработка месторождений ведется буровзрывным способом, что накладывает определенные трудности при определении типа сейсмических явлений в данном районе.

Сравнительный анализ инструментальных записей местных сейсмических событий, зарегистрированных стационарными сейсмическими станциями «Арти», «Свердловск», а также временными передвижными станциями ИГФ УрО РАН, позволил установить преобладание сдвиговых волн и отсутствие поверхностных на записях местных землетрясений. Отношение A_s/A_p на сейсмограммах тектонических событий может достигать 10, в то время как у взрывов это отношение не более 3, у горных ударов – 3–5. Эти характерные особенности позволяют оценивать природу регистрируемых событий [6]. В качестве примера в работе приведены записи сейсмических

событий на пунктах наблюдения «Аверино» и «В. Сысерть» Свердловской области (рис. 3, 4). Сейсмостанции были оснащены регистраторами модели REF ТЕК 130-1 и трехкомпонентными велосиметрами СК-1П и LE-3Dlite Mk III с собственной частотой 1 Гц.

Согласно данным, приведенным в работе [2], анализ волновых форм станций Уральской сети позволил событиям с эпицентрами на территории севера области, указанным в табл. 1, присвоить тектоническую природу. Данных о макросейсмических проявлениях этих землетрясений не имеется.

На диаграмме (рис. 1) видно, что наименьший процентный вклад вносят события метеоритного (импактного) происхождения. За период с 1788 по 2022 г. на исследуемой территории было зафиксировано одно такое событие. Оно произошло 11.09.1841 ($M = 4,1$, координаты эпицентра 57.8° с. ш., 59.7° в. д.) в районе г. Нижнего Тагила (рис. 2). Согласно свидетельствам, опубликованным в местных газетах того времени, ночью жители слышали подземный шум, подобный отдаленному грому, за которым следовал удар землетрясения. Мебель и другие комнатные вещи испытывали легкое сотрясение. Утром небо озарилось ярким розовым светом с отблеском наподобие искр, далее красноватый цвет воздуха переходил в жел-

тый, оранжевый и палевый, сгущавшийся до такой степени, что нельзя было различить близкие предметы. Это явление наблюдали в течение всего дня. Вероятнее всего, наисильнейшие макросейсмические проявления могли быть связаны со взрывом метеорита в воздухе [5, 10].

Кроме разнообразия природы сейсмических событий на рассматриваемой площади данная территория характеризуется сложным геолого-тектоническим строением и геодинамикой, имеющей свои особенности. Вопросы сеймотектоники региона освещены в работах А. Н. Гуляева, В. С. Дружинина, С. Н. Кашубина [7, 18–20]. Ими на основании анализа геолого-геофизических данных выделена Среднеуральская зона повышенной сейсмичности, в пределах которой расположена вся западная часть территории Свердловской области. Восточная граница этой зоны проходит субмеридионально вблизи г. Заречного, г. Алапаевска, с. Романово; западная, северная и южная – за пределами области. Среднеуральская зона повышенной сейсмичности является наиболее сейсмически активным участком Уральского орогена. Ни севернее, ни южнее подобной области концентрации эпицентров ощутимых землетрясений на Урале не имеется.

Наиболее значительной особенностью, которая может оказывать влияние на сейсмическую активность региона, является то, что Восточно-Европейская платформа образует выступ, далеко выдающийся на восток. Уральское горно-складчатое сооружение на данном участке, выгибаясь на восток, охватывает этот выступ, образуя Уфимский амфитеатр, сокращая горизонтальные размеры основных геолого-тектонических подразделений, изменяя свою ориентировку на северо-северо-западное направление по азимуту около 320–330° по сравнению со смежными участками [18]. Эта область сужения была названа в работе [21] областью Центрально-Уральского перережима. В морфологии поверхности мантии в области перережима Южно-Уральский сектор Уральского мантийного трога выглядит смещенным на юго-восток относительно Средне-Северо-Уральского сектора на расстояние около 150 км. Возможно, это связано со сдвиговыми деформациями земной коры [7].

Авторы выражают благодарность В. В. Колмогоровой за консультационную помощь при анализе архивных и инструментальных каталогов сейсмических событий.

Также значительной особенностью территории является существование глубинных разломов, которые проявляют активность и динамическое воздействие в разной степени на всех этапах развития [7, 19, 22–24]. В частности, основная часть наиболее сильных землетрясений приурочена к осевым зонам и ближним зонам геодинамического влияния Главного Уральского и Салатимского разломов, ограничивающих Центрально-Уральское поднятие с востока и запада соответственно.

Выводы

На территории Свердловской области ежегодно регистрируется примерно 400 сейсмических событий. Их анализ показывает, что преобладающими по количеству являются техногенные события – взрывы и горнорудные землетрясения. Они оказывают значительное техногенное воздействие на геологическую среду. Эпицентры техногенных землетрясений сосредоточены вблизи горнодобывающих предприятий. Ощущаются они, как правило, жителями близрасположенных городов и других населенных пунктов в радиусе около первых десятков километров.

Тектонические землетрясения на рассматриваемой территории происходят относительно редко, и их интенсивность не превышает 6 баллов по шкале MSK-64. Большая часть из них не ощущается людьми, но ряд событий, магнитуда которых более 4,0, имеют макросейсмические проявления. Данные землетрясения свидетельствуют об активности современных тектонических процессов в регионе.

В связи с изложенным о наблюдаемой сейсмичности исследуемой территории, об особенностях геолого-тектонических и геодинамических условий региона, а также в соответствии с нормативными требованиями СП 14.13330.2018 и картами Общего сейсмического районирования (ОСР–2015) [25] необходимо учитывать сейсмичность при строительстве объектов повышенной ответственности и особо ответственных объектов на большей части области. Поэтому полученные результаты данной работы послужат основой для определения параметров сейсмического режима, являющегося частью работ по детальному сейсмическому районированию территории Свердловской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьин И. В. Сейсмологические данные по регионам. XIV. Европейская часть СССР, Урал и Западная Сибирь // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен до 1975 г.) М.: Наука, 1977. С. 465–470.
2. База данных «Землетрясения России». URL: <http://eqru.gsras.ru>
3. Блинова Т. С. Прогноз геодинамически неустойчивых зон. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 162 с.
4. Вейс-Ксенофонтова З. Г., Попов В. В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала // Труды Сейсмологич. ин-та АН СССР. Вып. 104. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 12 с.
5. Годзиковская А. А. Каталог сейсмических событий Уральского региона с древнейших времен по 2002 г. (сопутствующие первичные материалы). М.: ИФЗ РАН, 2016. 258 с.
6. Дружинин В. С., Колмогорова В. В., Парыгин Г. И., Гуляев А. Н., Никитин С. Н., Пустовалов Н. А., Осипов В. Ю. Глава 3.2. Сейсмичность Урала // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн. 1. Землетрясения / под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. С. 263–276.
7. Кашубин С. Н., Дружинин В. С., Гуляев А. Н., Кусонский О. А., Ломакин В. С., Маловичко А. А., Никитин С. Н., Парыгин Г. Н., Рыжий Б. П., Уткин В. И. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 124 с.
8. Кусонский О. А. Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 280 с.
9. Сейсмологический мониторинг Западного Урала. URL: http://pts.mi-perm.ru/mlp/?page_id=727&php=tcат
10. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы / В. В. Степанов [и др.]. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
11. Адушкин В. В. Тектонические землетрясения техногенного происхождения // Физика Земли. 2016. № 2. С. 22–44.

12. Маловичко А. А., Морозов А. Н., Ваганова Н. В., Асминг В. Э., Дягилев Р. А., Евтюгина З. А. Билимбаевское землетрясение 17 августа 1914 г.: параметры гипоцентра по инструментальным данным // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 1. С. 40–47. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.04>
13. Верховланцев Ф. Г., Дягилев Р. А. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. Макросейсмические проявления // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы V Междунар. сейсмологич. школы. Обнинск: ГС РАН, 2010. С. 46–55.
14. Дягилев Р. А., Голубева И. В. Параметры Качканарского землетрясения 29 марта 2010 г. по инструментальным данным // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы V Междунар. сейсмологич. школы. Обнинск: ГС РАН, 2010. С. 89–93.
15. Верховланцев Ф. Г., Габсатарова И. П., Гусева Н. С., Дягилев Р. А. Среднеуральское землетрясение 18 октября 2015 г. $M_L = 4.7$, $I_0 = 6$ баллов // Землетрясения Северной Евразии. 2021. Вып. 24 (2015 г.). С. 314–323. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.30>
16. Гусева Н. С., Дягилев Р. А., Верховланцев Ф. Г. Макросейсмическое поле Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы XI Междунар. сейсмологич. школы. Обнинск: ГС РАН, 2016. С. 125–129.
17. Дягилев Р. А., Гусева Н. С., Верховланцев Ф. Г. Анизотропия макросейсмического поля Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 года // Геофизика. 2016. № 5. С. 42–46.
18. Гуляев А. Н. К вопросу о сейсмостектонике центральной части Уральского региона // Архитектон: известия вузов. 2010. № 1(29). URL: http://archvuz.ru/2010_1/12/
19. Дружинин В. С., Осипов В. Ю. Сейсмостектоника Северного, Среднего Урала и прилегающих районов Восточно-Европейской платформы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2018. № 1. С. 21–34. <https://www.elibrary.ru/qvaqyg>
20. Guliaev A. N. Seismotectonics of the Urals // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. 2019. No. 1. P. 42–51. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-1-42-51>
21. Копп М. Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2005. 339 с.
22. Дружинин В. С., Каретин Ю. С., Дьяконова А. Г., Кашубин С. Н., Кашубина Т. В., Колмогорова В. В., Кухмазов С. У., Парыгин Г. И., Осипов В. Ю. Комплексные геофизические исследования литосферы Среднего Урала по Артинскому профилю // Отечественная геология. 2003. № 1. С. 65–73.
23. Friberg M., Juhlin S., Beckholmen M., Petrov G. A., Green A. G. Palaeozoic tectonic evolution of the Middle Urals in the light of the ESRU seismic experiments // Journal of the Geological Society, London. 2002. Vol. 159. P. 295–306. <https://doi.org/10.1144/0016-764900-189>
24. Ryzhiy B. P., Druzhinin V. S., Yunusov F. F., Ananyin I. V. Deep structure of the Urals region and its seismicity // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1992. Vol. 75. Issue 1–3. P. 185–191. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(92\)90129-J](https://doi.org/10.1016/0031-9201(92)90129-J)
25. Свод правил СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмичных районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: Минстрой России. Дата введения 2018-11-25.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2023 года

Seismic events in the Sverdlovsk region for the period 1788–2022

Anastasiya Yur'evna OSIPOVA*
Vyacheslav Yur'evich OSIPOV**
Gennadiy Ivanovich PARYGIN***

Bulashevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Introduction. Sverdlovsk region is a major industrial center. There are mining enterprises, chemical plants, reservoirs, and high-capacity power plants. These objects are located close to large settlements. Currently, about 400 seismic events are recorded annually in the region. To ensure the seismic safety of objects of increased responsibility and especially important construction objects, it is necessary to carry out studies on detailed seismic zoning of the territory under consideration. The results of this work are the first stage of these studies.

Research theory. For the first time, a consolidated unified catalog of seismic events that occurred on the territory of the Sverdlovsk region was compiled. Historical and instrumental catalog data for the period 1788–2022 and data from instrumental records of local seismic events recorded by temporary, mobile stations of the Institute of Geophysics Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IGF UB RAS) served as the basis.

Results. Most of the recorded events are technogenic. Mostly these are industrial explosions and rock burst. These seismic events are recorded in the area of the following cities: Asbest, Ekaterinburg, Revda, Nizhny Tagil, Kushva, Kachkanar, Karpinsk, Severouralsk. Tectonic earthquakes have also been repeatedly recorded in the Sverdlovsk region. Most of them are not felt by people. Earthquakes with a magnitude greater than 4.0 have macroseismic manifestations. The strongest earthquake is 08.17.1914 ($M_s = 5.0$, epicenter coordinates 57.09° N, 59.8° E). The intensity of the earthquake at the epicenter was 6.0 on the MSK-64 scale. The results of this work will serve as a basis for further determination of the parameters of the seismic regime of the study area.

Keywords: catalog of seismic events, Sverdlovsk region, seismicity, earthquakes, detailed seismic zoning

The authors express their gratitude to V. V. Kolmogorova for her consulting assistance in the analysis of archival and instrumental catalogs of seismic events.

REFERENCES

- Ananyin I. V. 1977, Seismological data by region. XIV. The European part of the USSR, the Urals and Western Siberia. New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR. Moscow, pp. 465–470. (In Russ.)
- Russian Earthquakes Database. (In Russ.) URL: <http://eqru.gsras.ru>
- Blinova T. S. 2003, Forecast of geodynamically unstable zones. Yekaterinburg, 162 p. (In Russ.)
- Weiss-Ksenofontova Z. G., Popov V. V. 1940, On the issue of seismic characteristics of the Urals. *Trudy Seismologicheskogo instituta Akademii Nauk SSSR* [Proceedings of the Seismological Institute of the USSR Academy of Sciences], issue 104. Moscow, 12 p. (In Russ.)
- Godzikovskaya A. A. 2016, Catalog of seismic events in the Ural region from ancient times to 2002. Moscow, 258 p. (In Russ.)
- Druzhinin V. S., Kolmogorova V. V., Parygin G. I., Gulyaev A. N., Nikitin S. N., Pustovalov N. A., Osipov V. Yu. 2007, Chapter 3.2. Seismicity of the Urals. Earthquakes and microseismicity in problems of modern geodynamics of the East European Platform. Book 1. Earthquakes. Petrozavodsk, pp. 263–276. (In Russ.)
- Kashubin S. N., Druzhinin V. S., Gulyaev A. N., Kusonsky O. A., Lomakin V. S., Malovichko A. A., Nikitin S. N., Parygin G. N., Ryzhy B. P., Utkin V. I. 2001, Seismicity and seismic zoning of the Ural region. Yekaterinburg, pp. 124 c. (In Russ.)
- Kusonsky O. A. 2012, Geophysical observatory research in the Urals. Yekaterinburg, pp. 280 c. (In Russ.)
- Seismological monitoring of the Western Urals. (In Russ.) URL: http://pts.mi-perm.ru/mlp/?page_id=727&php=tcac
- Stepanov V. V. [et al.]. 2002, Earthquakes of the Urals and the strongest earthquakes of the adjacent territories of Western Siberia and the East European Platform. Moscow, 135 p. (In Russ.)
- Adushkin V. V. 2016, Tectonic earthquakes of technogenic origin. *Fizika Zemli* [Physics of the Earth], no. 2, pp. 22–44. (In Russ.)
- Malovichko A. A., Morozov A. N., Vaganova N. V., Asming V. E., Dyagilev R. A., Evtyugina Z. A. 2020, Bilimbaev earthquake of August 17, 1914: hypocenter parameters according to instrumental data. *Rossiyskiy seismologicheskii zhurnal* [Russian Seismological Journal], vol. 2, no. 1, pp. 40–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.04>
- Verkholantsev F. G., Dyagilev R. A. 2010, Kachkanar earthquake of March 29, 2010 Macroseismic manifestations. Modern methods of processing and interpretation of seismological data: materials of the V International seismological school. Obninsk, pp. 46–55. (In Russ.)
- Dyagilev R. A., Golubeva I. V. Parameters of the Kachkanar earthquake of March 29, 2010 according to instrumental data. Modern methods of processing and interpretation of seismological data: materials of the V International seismological school. Obninsk, pp. 89–93. (In Russ.)
- Verkholantsev F. G., Gabsatarova I. P., Guseva N. S., Dyagilev R. A. 2021, Mid-Ural earthquake of October 18, 2015. $M_L = 4.7$, $I_0 = 6$ points. *Zemletryaseniya Severnoy Yevrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], issue 24, pp. 314–323. (In Russ.) <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.30>

✉ seismolab@mail.ru

**igf_us@mail.ru

***usc_gena@mail.ru

16. Guseva N. S., Dyagilev R. A., Verkholtantsev F. G. 2016, Macroseismic field of the Middle Urals earthquake of October 18, 2015. Modern methods of processing and interpretation of seismological data: materials of the XI International seismological school. Obninsk, pp. 125–129. (*In Russ.*)
17. Dyagilev R. A., Guseva N. S., Verkholtantsev F. G. 2016, Anisotropy of the macroseismic field of the Middle Urals earthquake of October 18, 2015. *Geofizika* [Geophysics], no. 5, pp. 42–46. (*In Russ.*)
18. Gulyaev A. N. 2010, To the question of seismotectonics of the central part of the Ural region. *Arkhitekton* [Architecton], no. 1 (29). (*In Russ.*) URL: http://archvuz.ru/2010_1/12/
19. Druzhinin V. S., Osipov V. Yu. 2018, Seismotectonics of the Northern, Middle Urals and adjacent areas of the East European Platform. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], no. 1, pp. 21–34. (*In Russ.*) <https://www.elibrary.ru/qvaqyg>
20. Guliaev A. N. 2019, Seismotectonics of the Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the higher educational institutions. Mining journal], no. 1, pp. 42–51. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-1-42-51>
21. Kopp M. L. 2005, Mobilistic neotectonics of the platforms of South-Eastern Europe. Moscow, 339 p. (*In Russ.*)
22. Druzhinin V. S., Karetin Yu. S., Dyakonova A. G., Kashubin S. N., Kashubina T. V., Kolmogorova V. V., Kukhmazov S. U., Parygin G. I., Osipov V. Yu. 2003, Complex geophysical studies of the lithosphere of the Middle Urals along the Artinsky profile. *Otechestvennaya geologiya* [Domestic geology], no. 1, pp. 65–73. (*In Russ.*)
23. Friberg M., Juhlin C., Beckholmen M., Petrov G. A., Green A. G. 2002, Palaeozoic tectonic evolution of the Middle Urals in the light of the ESRU seismic experiments. *Journal of the Geological Society*, London, vol. 159, pp. 295–306. <https://doi.org/10.1144/0016-764900-189>
24. Ryzhiy B. P., Druzhinin V. S., Yunusov F. F., Ananyin I. V. 1992, Deep structure of the Urals region and its seismicity. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, vol. 75, issue 1–3, pp. 185–191. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(92\)90129-J](https://doi.org/10.1016/0031-9201(92)90129-J)
25. Set of rules SR 14.13330.2018. Construction in seismic areas. Updated version of Construction Norms and Regulations II-7-81*. Moscow. (*In Russ.*)

The article was received on June 20, 2023