

УДК 550.348.098.64 (470.53+470.531)

СЕЙСМИЧНОСТЬ УРАЛА и ЗАПАДНОЙ СИБИРИ в 2018–2019 гг.**Ф.Г. Верхованцев¹, И.В. Голубева¹, Р.А. Дягилев², Т.В. Злобина³**¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь, sombra@mail.ru,²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, dra@gsras.ru,³ГИ УрО РАН, г. Пермь, tati.verkholantseva@gmail.com

Аннотация. В статье приведены сведения о действующей на территории Урала и Западной Сибири сети сейсмических станций и методике обработки данных, дан краткий анализ сейсмической активности в регионе в 2018–2019 гг. Представлены регистрационные возможности региональной сети для все исследуемой территории. Показано, что 82 % зарегистрированных сетью событий приходится на технологические взрывы на горнодобывающих предприятиях, 74 события имеют отношение к природной, 76 – к природно-техногенной сейсмичности. Для наиболее сильных событий последней группы приведены варианты очаговых параметров, полученные другими агентствами.

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

Для цитирования: Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Злобина Т.В. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 225–238. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.19> EDN: UCPMTP

Введение. Регион «Урал и Западная Сибирь» охватывает огромную территорию континентальной части Евразийской литосферной плиты (рис. 1).

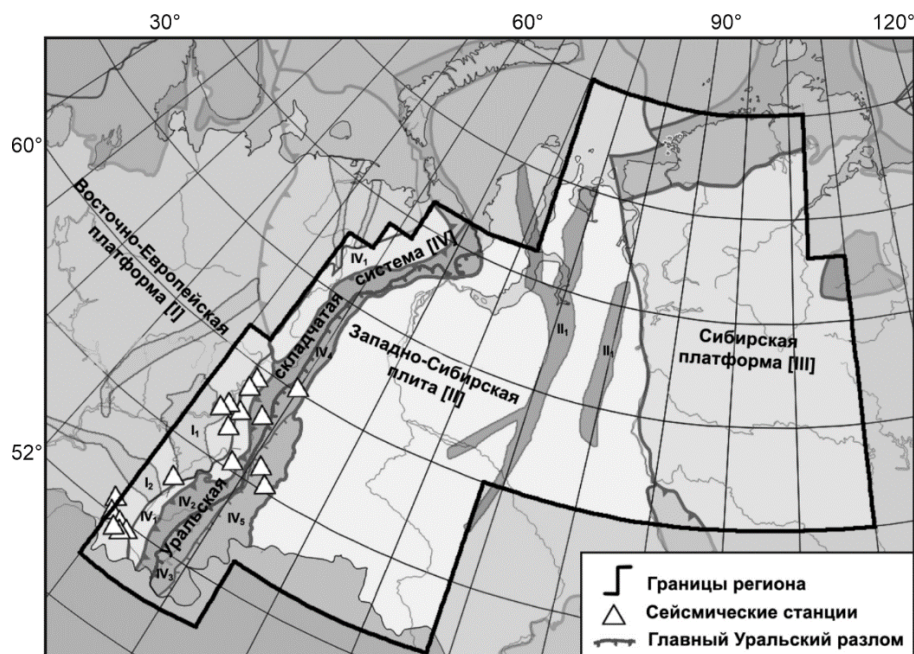


Рис. 1. Тектоническое районирование региона исследований и сейсмические станции

I–IV – тектонические структуры первого порядка; I₁ – Камско-Бельский авлакоген, I₂ – Серноводско-Абдулинский авлакоген; II₁ – рифтовая система Западно-Сибирской плиты; IV₁ – Предуральский краевой прогиб; IV₂ – западная внешняя мегазона, IV₃ – Магнитогорская мегазона, IV₄ – Тагильская мегазона, IV₅ – Восточно-Уральская мегазона.

Большую часть исследуемого района занимают платформенные территории, что отражается в особенностях сейсмического режима. На востоке – Сибирская платформа с добайкальским фундаментом преимущественно блокового строения, сведения о сейсмичности которой крайне скудны, в центре – более молодая Западно-Сибирская Плита (ЗСП) с гетерогенным палеозойским фундаментом, характеризующаяся слабой рассеянной сейсмичностью [1, 2]. В западной части –

восточная часть Восточно-Европейской платформы (ВЕП) с добайкальским фундаментом, представленная Волго-Уральской антеклизой, состоящей из архейских блоков. В пределах этого района известны ощутимые, в том числе инструментально зафиксированные, землетрясения, приуроченные к авлакогенам [3, 4]. Разделяют ВЕП и ЗСП Уральские горы, представляющие собой четко выраженную субмеридиональную линейную складчатую систему. По современным представлениям, Урал является покровно-складчатым сооружением сложного геологического строения и истории, прошедшим полный цикл геодинамического развития [5]. Более подробный тектонический обзор исследуемой территории приведен нами в работе [6].

Сейсмичность Урала имеет комплексный характер. Основной вклад в сейсмический поток вносит развитая горнодобывающая промышленность Уральского региона. Главным образом, это технологические и массовые взрывы на рудниках и карьерах, горно-тектонические удары (ГТУ) в шахтах. Природные землетрясения, обусловленные сложным геологическим строением и современными движениями земной коры, помимо тектонических, представлены, в том числе, оползневыми и карстовыми, а также импактными событиями. И хотя положение горнодобывающих предприятий хорошо известно, их приуроченность к основным тектоническим структурам Урала затрудняет однозначное определение природы событий, и в целом разделение сейсмических событий на природные и техногенные в принципе имеет известные сложности [7]. Уральская региональная сейсмологическая сеть, развивающаяся с 1999 г. сначала в пределах Пермского края [8], а затем на территории Свердловской области и Республики Башкортостан, позволяет регистрировать и дифференцировать природу событий [9, 10] не только в пределах Урала и Европейской части России, но и на части территории Западной Сибири.

Сеть сейсмических станций. В 2018–2019 гг. в конфигурации региональной сети произошли изменения по сравнению с ее состоянием на конец 2017 года. Сейсмическая станция «Арти» (ARU), открытая в 1974 г. [11], перенесена на новое место, на расстояние ~12 км от прежнего, с заменой аппаратуры с сохранением названия «Арти», но с изменением кода станции на ARTI. Сейсмические приборы установлены в специальном бункере на глубине порядка шести метров (рис. 2 а). Регистрирующая аппаратура IRIS/IDA была заменена на регистраторы Quantega Q-330HR [12], а набор установленных сейсмометров был расширен. Помимо комплекта из трех широкополосных велосиметров STS-1 [13], были установлены трехкомпонентный широкополосный велосиметр STS-2 [14] и трехкомпонентный прибор сильных движений FBA-23 [15] (рис. 2 б).



Рис. 2 а. Бункер сейсмической станции «Арти-2»

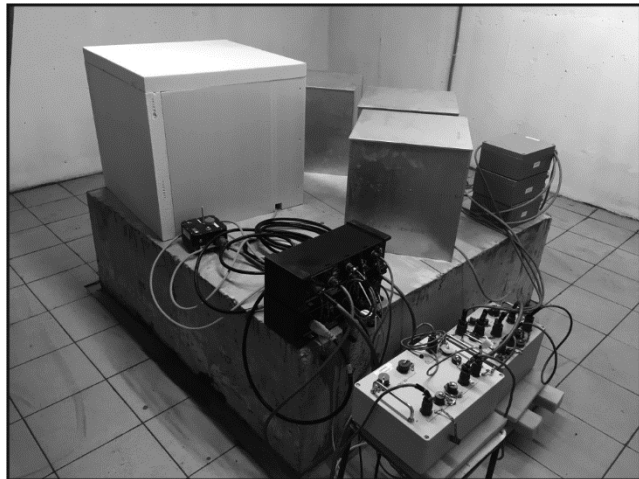


Рис. 2 б. Оборудование сейсмической станции «Арти-2»

На сейсмической станции «Каменск-Уральский» (KAUR) в октябре 2018 г. вместо устаревшего 16-разрядного регистратора SDAS был установлен 24-разрядный регистратор «Ермак-5» [16]. Частота регистрации осталась прежней – 40 Гц.

В апреле 2019 г. на сейсмической станции «Североуральск» вышедший из строя регистратор «Угра» был заменен на «Ермак-5». Частота регистрации была понижена с 50 до 40 Гц. Комплект из трех короткопериодных сейсмометров CM-3KB был заменен на трехкомпонентный короткопериодный (собственная частота 1 Гц) сейсмометр Sercel L4C-3D [17].

Исчерпывающие сведения о сейсмических станциях региональной сети и их аппаратурном оснащении приведены в приложении к настоящему выпуску журнала [Прил. 1]. Действующая сеть станций обеспечивает уверенную регистрацию сейсмических событий на большей части Пермского края с $ML \geq 2.0$, в Свердловской области с $ML \geq 2.4$, в республике Башкортостан, Челябинской и Оренбургской областях с $ML \geq 2.6$, в Тюменской и Курганской областях с $ML \geq 3.2$, на остальной территории с $ML \geq 3.6$ (рис. 3).

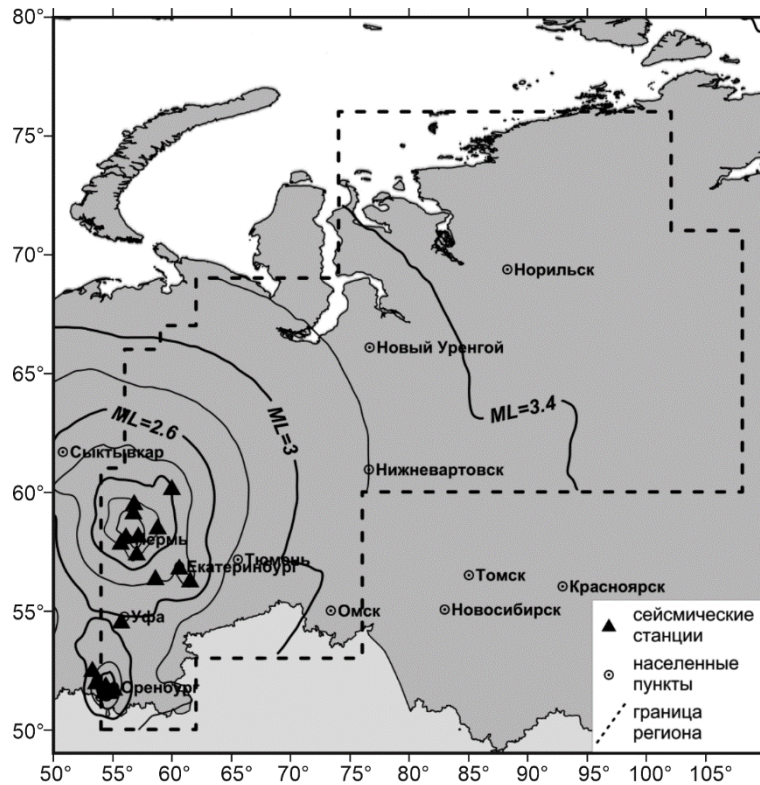


Рис. 3. Карта магнитудной представительности ML_{\min} регистрации сейсмических событий Уральской сетью в 2018–2019 гг.

Методика обработки данных. С большинства станций передача данных в обрабатывающий центр происходит непрерывно в режиме, близком к реальному времени. В качестве динамической характеристики сейсмических волн используется максимальная амплитуда колебаний на горизонтальных компонентах движения в симуляции сейсмографа Вуда-Андерсона для оценки локальной магнитуды. В регионе принята своя магнитудная шкала ML , учитывающая закономерности распространения сейсмических волн для территории Среднего Урала и прилегающих территорий [18]. Кинематические параметры определяются на основе годографа IASPEI [19]. С 2016 г. в методику обработки цифровых записей землетрясений были внесены изменения [6]: помимо расчета локальной магнитуды также стал производиться расчет энергетического класса по шкале Т.Г. Раутиан [20] с использованием алгоритма, реализованного в программном комплексе WSG. Была получена своя локальная (для условий Урала) зависимость между энергией сейсмических событий и магнитудой, которая теперь используется для энергетических оценок событий:

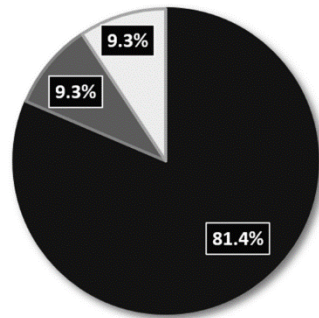
$$\lg E = 1.74 \cdot ML + 3.68. \quad (1)$$

Для сравнительного анализа результатов региональной локации сейсмических событий привлекались данные других сейсмологических центров [21–24].

Оценка интенсивности ощутимых сейсмических событий – землетрясений и горно-тектонических ударов – с 2018 г. производится в соответствии с ШСИ-2017 [25]. Данная шкала позволяет получать более объективные (по сравнению с MSK-64) оценки сейсмической интенсивности в населенных пунктах по ощущениям людей, реакции предметов быта и повреждениям зданий. При этом ШСИ-2017 обратно совместима с MSK-64.

Сейсмичность территории. В общей сложности сейсмическими станциями региона за 2018–2019 гг. было зарегистрировано 798 сейсмических событий, для которых определены все необходимые параметры. Большинство из них (648) приходится на долю массовых и технологических взрывов, проводимых на горнодобывающих предприятиях Пермского края, Свердловской, Челябинской областей и Республики Башкортостан. К категории «тектоническое землетрясение» и «возможно землетрясение» отнесено 74 события. Также 74 сейсмических события являются горно-тектоническими ударами на шахтах Североуральска (71) и Нижнего Тагила (3). Два события, имеющие обвально-карстовую природу, связаны с развитием процессов соляного карста в пределах аварийной зоны на руднике СКРУ-2 (ОАО «Уралкалий») и отнесены к категории «техногенные землетрясения».

Как видно из рис. 4 а, на долю *природных землетрясений* приходится чуть более 9 % от числа всех зарегистрированных событий, при этом их доля в суммарной выделенной сейсмической энергии в 2018–2019 гг. достигает 99.5 %. Это связано с сильнейшим инструментально зарегистрированным Катав-Ивановским землетрясением 4 сентября 2018 г. в 22:58:19 UTC с $ML=5.4$, которому посвящена отдельная статья в настоящем выпуске журнала [26]. Энергия главного толчка этого землетрясения составила $E=1.19 \cdot 10^{13}$ Дж, что на два порядка превышает суммарную выделенную сейсмическую энергию взрывов и ГТУ. Данное землетрясение сопровождалось интенсивной афтершоковой последовательностью, что внесло значительный вклад в количество тектонических событий – всего на региональных расстояниях было зарегистрировано 33 афтершока. С энергетической точки зрения вклад афтершоков не так незначителен по сравнению с основным толчком – $E_{\Sigma}=3.10 \cdot 10^{11}$ Дж, что в два раза больше, чем суммарная энергия взрывов и ГТУ за представленный период.



■ взрыв ■ горно-тектонический удар ■ тектоническое / возможно землетрясение

Рис. 4 а. Процентное содержание сейсмических событий разных типов в общем числе зарегистрированных событий

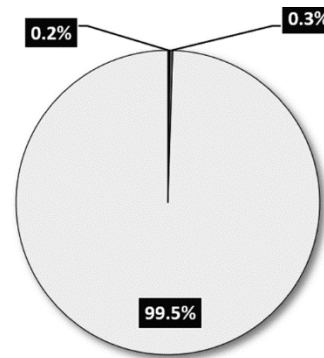


Рис. 4 б. Процентное распределение сейсмических событий разных типов по энергии

Взрывы. Отработка месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых на территории региона проводится как открытым, так и подземным способом. На долю открытого способа разработки (карьеры и разрезы) приходится порядка 80 % от общего количества действующих горнодобывающих предприятий. Наиболее крупные массовые взрывы производят Асбестовский, Высокогорский и Качканарский горно-обогатительные комбинаты (ГОК), расположенные на территории Свердловской области. Величины зарядов достигают ста и более тонн взрывчатых веществ (ВВ).

Организации, осуществляющие взрывные работы на территории Пермского края, регулярно предоставляют информацию о параметрах производимых ими взрывов. С предприятий других регионов поступает неполная информация, поэтому интерпретация ведется, исходя из близости горнодобывающих предприятий и согласно известным критериям распознавания волновых форм [9].

На территории Пермского края в 2018–2019 гг. при проведении промышленных взрывов максимальная масса ВВ не превышала 27 тонн. Для взрывов с $ML \geq 1.5$, регистрируемых не менее чем тремя станциями, традиционно определяются магнитуда и параметры эпицентра. В региональный каталог взрывов включены 648 событий, для которых удалось определить все необходимые параметры. На рис. 5 показано распределение числа взрывов по месяцам 2018 и 2019 гг.

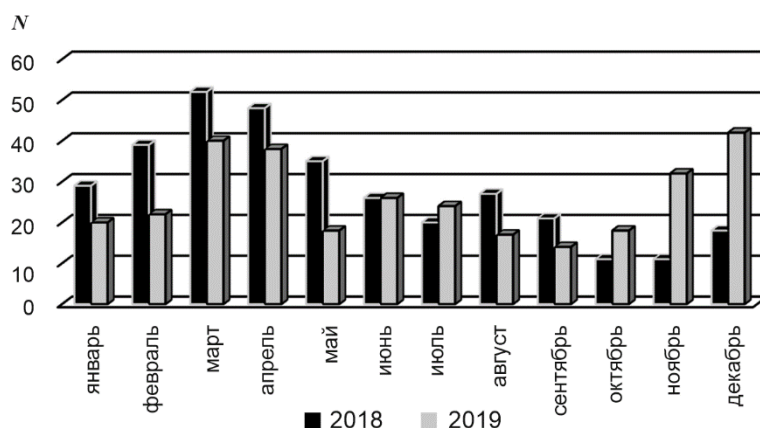


Рис. 5. Распределение числа взрывов по месяцам в 2018 и 2019 гг.

Как видно из рис. 5, за представленный на нем период распределение количества взрывов по месяцам в течение каждого года варьирует не сильно. Наибольшее число взрывов было зарегистрировано в марте и апреле 2018 г. ($N=52$ и $N=48$), диапазон магнитуд составил $1.4 \leq ML \leq 3.3$. Отметим, что в 2019 г. из трех месяцев с максимальным числом взрывов два также приходится на март и апрель.

На рис. 6 представлены сейсмограммы массового взрыва, произведенного 13 апреля 2018 г. в 11^h32^m на карьере ПАО «Ураласбест» (Баженовское месторождение хризотил-асбеста), его магнитуда составила $ML=3.3$. Данный взрыв является крупнейшим за период 2007–2019 гг. Обычно максимальные магнитуды регистрируемых взрывов не превышают $ML=2.8$. Суммарная выделенная сейсмическая энергия всех взрывов составила $E_{\Sigma}=1.94 \cdot 10^{10}$ Дж за 2018 г. и $E_{\Sigma}=6.98 \cdot 10^9$ Дж за 2019 год.

Горно-тектонические удары (ГТУ) за анализируемый период составляют чуть больше 9 % от общего числа зарегистрированных событий. На исследуемой территории почти все они регистрируются на двух горнодобывающих предприятиях – ОАО «СУБР», разрабатывающем Североуральское бокситовое месторождение, и ОАО «Высокогорский ГОК», разрабатывающем Тагильскую группу железорудных месторождений.

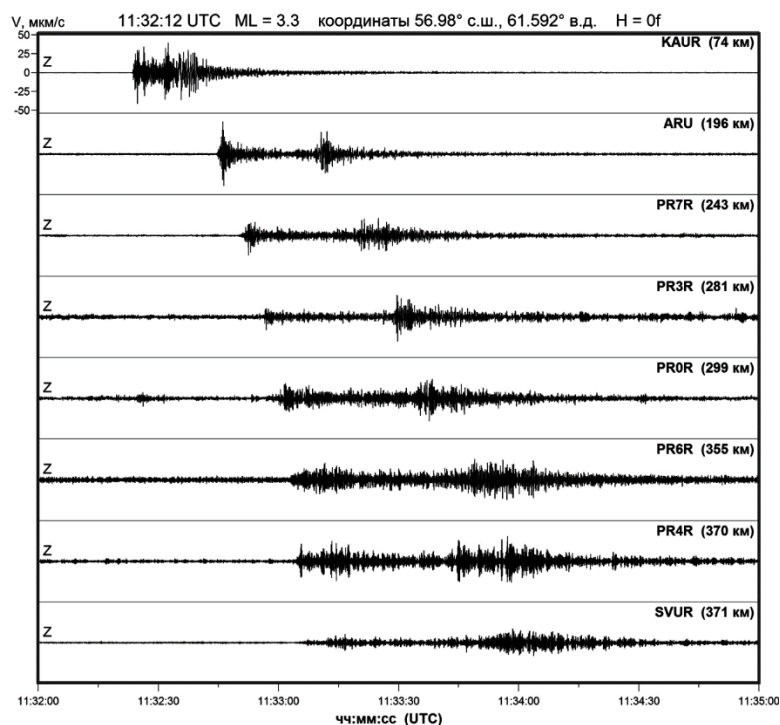


Рис. 6. Сейсмограммы массового взрыва с $ML=3.3$, произведенного ПАО «Ураласбест» 13 апреля 2018 г.

В пределах шахтных полей ОАО «СУБР» за два года удалось зарегистрировать и определить параметры 71 ГТУ с магнитудами в диапазоне $1.6 \leq ML \leq 3.5$ [Прил. 2]. Остальные ГТУ были зарегистрированы одной сейсмической станцией «Североуральск» (SVUR), расположенной непосредственно в горных выработках шахты «Красная шапочка», выведенной на текущий момент из эксплуатации. Одним из наиболее сильных стал горно-тектонический удар на шахте «Кальинская» 7 декабря 2019 г. в 18^h37^m с $ML=3.5$, $I_0=5.4 \pm 1.0$ по шкале ШСИ-2017 (рис. 7). Для его основных параметров имеются альтернативные варианты решений, полученные другими агентствами (табл. 1).

Таблица 1. Разные решения параметров горно-тектонического удара 7 декабря 2019 г. на шахте «Кальинская» ОАО «СУБР» по данным Уральской региональной сети (MIRAS) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр			Магнитуда/количество станций	Ссылка
			φ° , N	λ° , E	h , км		
MIRAS	18 37 16	–	60.24	60.01	1f	$ML=3.5 \pm 0.2/8$, $K_p=9.9$	[Прил. 2]
NEIC	18 37 13	2.93	60.37	60.22	10f	$mb=4.5 \pm 0.2/7$	[21]
IDC	18 37 16	0.99	60.18	59.93	0f	$mb=3.6 \pm 0.2/2$, $ML=3.3 \pm 0.1/11$	[22]

Примечание. MIRAS – ГИ УрО РАН, Пермь, Россия; NEIC – National Earthquake Information Center, Golden, Colorado, USA [21]; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, Vienna, Austria [22]; f – фиксированная глубина.

Сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН при участии службы прогнозирования и предотвращения горных ударов (СППГУ) ОАО «СУБР» был выполнен сбор макросейсмических сведений по данному событию. В ближайшем к очагу п. Калья оно ощущалось с интенсивностью 5.4 ± 1.0 балла (ШСИ-2017), в п. Черемуховский – 4.6 ± 1.2 балла, в г. Североуральске – 4.1 ± 1.3 балла и в пос. Северный-2 – 3 ± 1.0 балла [Прил. 4, 5]. Еще один ощутимый горно-тектонический удар произошел 30 апреля 2019 г. в 16^h49^m также на шахте «Кальинская» с магнитудой $ML=3.4$. Событие в п. Калья ощущалось с интенсивностью 5 (± 1.0) баллов, в пос. Северный-2 – $4.0 (\pm 1.0)$ балла и в г. Североуральске – $3.4 (\pm 1.0)$ балла [Прил. 4, 5].

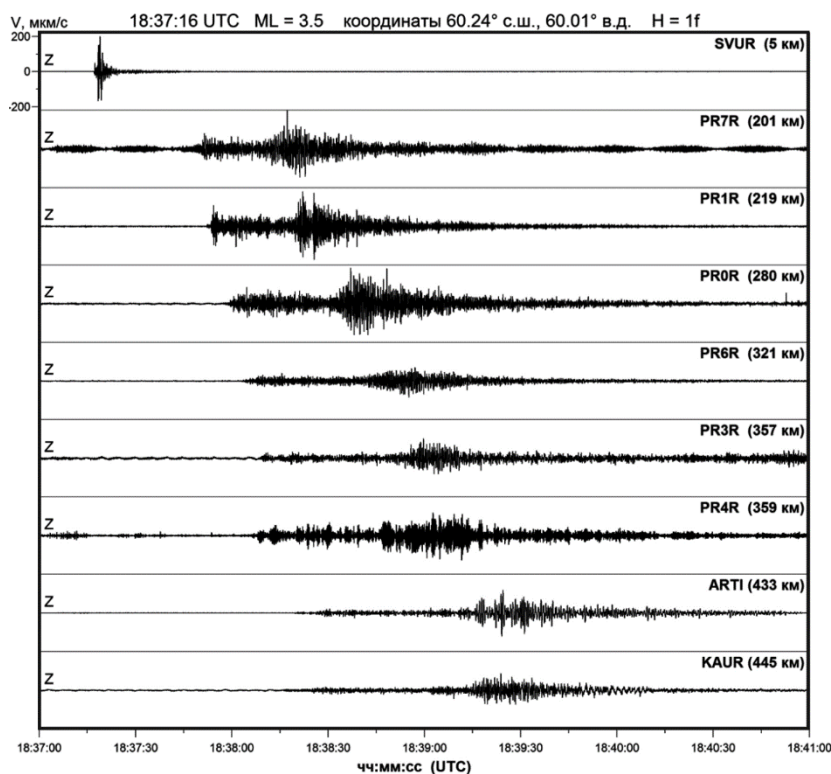


Рис. 7. Сейсмограммы горно-тектонического удара, произошедшего на шахте «Кальинская» (ОАО «СУБР») 7 декабря 2019 г. в 18^h37^m

На шахтах Высокогорского ГОКа (г. Нижний Тагил) за 2018–2019 гг. было зарегистрировано три ГТУ с магнитудой ML от 2.2 до 3.0 [Прил. 2]. Самый сильный из них произошел в шахте «Естюнинская» 27 июля 2019 г. в 19^h51^m с $ML=3.0$ (рис. 8), он был зарегистрирован всеми сейсмостанциями региона. Данное сейсмическое событие сопровождалось ощутимым сотрясением массива горных пород в шахте. Разрушений не отмечено. Макросейсмическая интенсивность в районе шахты «Естюнинская» составила 3 ± 1.0 балла по шкале ШСИ-2017. Также получены сведения о его ощутимости в пос. Евстюниха и пос. Песчаный – 3 ± 1.0 балла по шкале ШСИ-2017 [Прил. 4, 5]. Для его параметров имеются альтернативные варианты решений, полученные другими агентствами (табл. 2).

Таблица 2. Разные решения параметров горно-тектонического удара на шахте «Естюнинская» ОАО «Высокогорский ГОК» 27 июля 2019 г. по данным Уральской региональной сети (MIRAS) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр			Магнитуда/количество станций	Ссылка
			φ° , N	λ° , E	h , км		
MIRAS	19 51 09	–	57.94	59.77	0f	$ML=3.0\pm 0.2/8$, $K_p=8.9$	[Прил. 2]
IDC	19 51 08	0.95	58.00	59.65	0f	$mb=3.2\pm 0.1/3$, $ML=3.1\pm 0.2/9$	[22]
ISC	19 51 08	1.22	58.02	59.95	0f	$mb=3.2\pm 0.1/3$	[23]
NNC	19 51 08	2.77	58.02	59.95	9.5	$mb=3.7$, $m_{pv}=3.4$, $K_p=8.48$	[24]

Примечание. ISC – International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom [21]; NNC (KNDC) – National Nuclear Centre, Almaty, Kazakhstan [22]; f – фиксированная глубина.

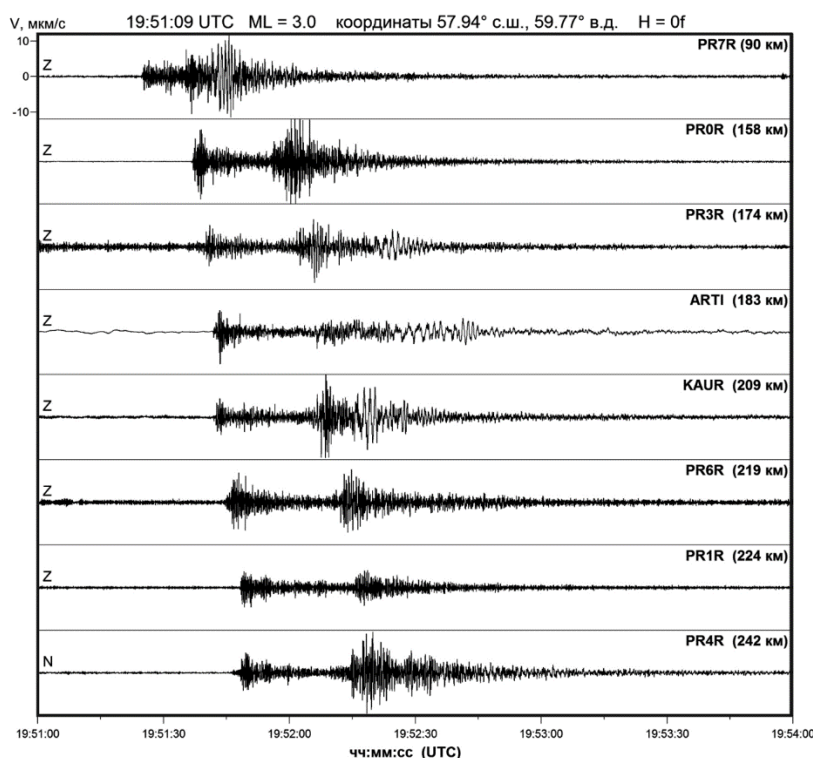


Рис. 8. Сейсмограммы горно-тектонического удара, произошедшего на шахте «Естюнинская» (ОАО «Высокогорский ГОК») 27 июля 2019 г. 19^h51^m

Суммарная сейсмическая энергия всех ГТУ составила $E_{\Sigma}=1.26\cdot 10^{10}$ Дж за 2018 г. и $E_{\Sigma}=2.47\cdot 10^{10}$ Дж за 2019 год. Их техногенная природа не подвергается сомнению.

Землетрясения. Самое сильное землетрясение за период 2018–2019 гг. произошло 4 сентября 2018 г. в 22^h58^m вблизи г. Катав-Ивановска в Челябинской области. Оно имело магнитуду $ML=5.4\pm 0.2$ и интенсивность в эпицентре $I_0=6.4\pm 0.3$ балла (ШСИ-2017). Данное землетрясение было зарегистрировано более чем 600 станциями по всему миру и стало сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением для Урала. Землетрясение сопровождалось значительным количеством афтершоков, что является первым известным случаем для тектонических

событий в пределах Урала. Наиболее сильные афтершоки были зарегистрированы: 5 сентября 2018 г. в 07^h27^m с $ML=3.8$, $I_0=5.5\pm 0.0$ балла (ШСИ-2017), 29 сентября 2018 г. в 09^h06^m с $ML=4.1$, $I_0=4.6\pm 2.3$ балла и 15 ноября 2018 г. в 07^h48^m с $ML=4.4$, $I_0=5.2\pm 0.2$ балла. Всего в эпицентральной зоне Катав-Ивановского землетрясения в 2018–2019 гг. станциями региональной сети было зарегистрировано 33 афтершока в диапазоне магнитуд $1.6\leq ML\leq 4.4$ [Прил. 2]. Данное уникальное землетрясение рассмотрено в отдельной статье настоящего выпуска журнала [26].

Пять сейсмических событий тектонической природы было зарегистрировано в пределах Свердловской области.

Первое произошло в районе г. Ивдель 15 марта в 22^h53^m с $ML=2.8$, оно было зарегистрировано практически всеми станциями сети, волновые формы соответствуют типичному тектоническому землетрясению. С тектонической точки зрения оно приурочено к Талицкой синклинали Ивдельского синклинория Центрально-Тагильская зоны Тагильского мегаблока. Талицкая синклиналь представляет собой сложно построенную, сильно нарушенную разрывными нарушениями седловидную синформную структуру, в ядре которой присутствуют средне-верхнедевонские, а на крыльях – ниже-среднедевонские отложения. Южное крыло синклинали, куда попадает эпицентр, дополнительно осложнено серией надвигов с пластинами серпентинитового меланжа [27].

В районе г. Карпинска 19 мая 2018 г. в 02^h32^m было зарегистрировано событие из категории «возможно землетрясение» с $ML=2.4$. Волновые формы события соответствуют тектоническому землетрясению, однако его эпицентр попадает непосредственно в затопленный Карпинский угольный разрез, и, возможно, событие носит индуцированный характер, связанный с процессом затопления.

Два события были зарегистрированы в районе г. Краснотурьинска 26 октября в 18^h57^m 2018 г. с $ML=2.4$ и 25 апреля 2019 г. в 20^h44^m с $ML=2.2$. С тектонической точки зрения события, с учетом глубины, приурочены к Волчанско-Шайтанскому надвигу, разделяющему структуры Западно-Тагильского и Восточно-Тагильского блоков Тагильского синклинория. По характеру смещений надвиг является левым взбросо-сдвигом с восточным падением сместителя под углами 40–60° [28].

Последнее из событий в пределах Свердловской области зарегистрировано примерно в 20 километрах на юг от горы Косьвинский камень (п. Кытлым). Оно произошло 17 октября 2019 г. в 21^h43^m и имело магнитуду $ML=2.1$. В тектоническом плане для Уральского складчатого пояса данное землетрясение связано с зоной влияния Главного Уральского Надвига.

Информация о макросейсмических проявлениях этих пяти землетрясений отсутствует.

В Пермском крае зарегистрирована активизация сейсмического процесса в Добрянском районе (район д. Таборы). Если за предыдущий период 2016–2017 гг. здесь было зарегистрировано восемь событий [6], то в 2018–2019 гг. – уже 33 события. Резкий рост сейсмической активности начался в апреле 2019 г. (рис. 9). При этом выросло как общее количество сейсмических событий, так и количество относительно крупных ($ML\geq 2.0$).

В период с 26 августа 2019 г. по 8 октября 2019 г. специалистами «ГИ УрО РАН» (MIRAS) в данном районе были уставлены две автономные полевые сейсмические станции, результаты наблюдений которых обрабатывались совместно с данными станций Уральской региональной сети. Данные работы позволили уточнить положение эпицентров и глубины землетрясений в этом районе. Всего совместно было зарегистрировано шесть событий с магнитудами $1.7\leq ML\leq 2.5$, для которых были точно определены глубины. Они составили от 3 до 6 км, что ниже залегания кровли кристаллического фундамента ВЕП в данном районе [29]. В настоящее время нет обоснованного объяснения такой необычной для Урала «роевой» сейсмической активности, однако надежно определенные глубины свидетельствуют в пользу тектонической природы очагов.

В пределах Республики Коми Уральской региональной сетью в исследуемый период было зарегистрировано одно землетрясение в Троицко-Печерском районе, которое произошло 5 сентября 2019 г. в 01^h42^m. Магнитуда землетрясения, рассчитанная по полученным записям, составила $ML=3.1$. Данное событие имело макросейсмические проявления интенсивностью 4 балла (ШСИ-2017) в вахтовом поселке Нефтепечорск, само землетрясение детально рассмотрено в работе [30]. Обобщенные данные по этому событию представлены в статье настоящего выпуска журнала, посвященной сейсмичности Российской части Восточно-Европейской платформы [31].

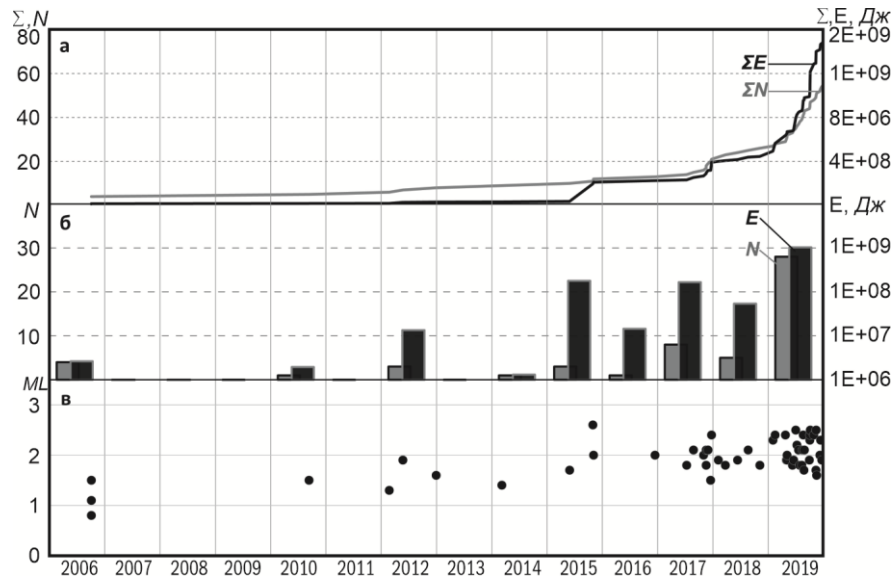


Рис. 9. Сейсмическая активность в районе пос. Таборы (Добрянский район, Пермский край) в период 2006–2019 гг.: а) кумулятивные графики числа событий ΣN и энергии ΣE землетрясений в зависимости от времени; б) гистограммы годового количества событий – N и выделенной энергии – E ; в) распределение событий по магнитуде ML во времени

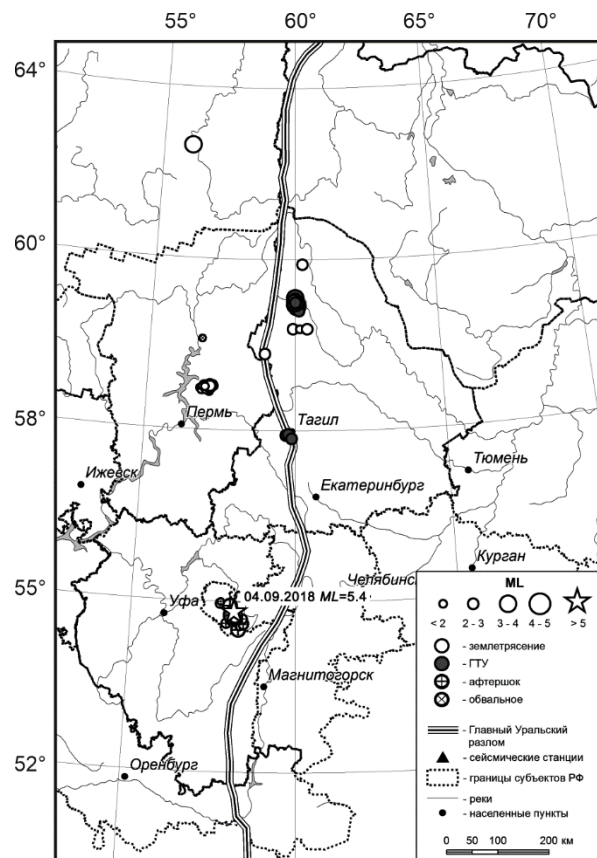


Рис. 10. Карта эпицентров сейсмических событий Урала и Западной Сибири в 2018–2019 гг.

Сведения о параметрах всех землетрясений, зарегистрированных в 2018–2019 гг. в регионе «Урал и Западная Сибирь», приведены в Прил. 2 к данной работе, карта их эпицентров представлена на рис. 10.

Итоговое распределение количества событий N разных типов по магнитудам ML и суммарное распределение сейсмической энергии ΣE на территории исследуемого региона представлено отдельно для 2018 г. (табл. 4) и 2019 г. (табл. 5). Энергия событий рассчитывалась по формуле (1).

Подводя итоги, рассмотрим параметры сейсмичности Урала и Западной Сибири в 2018–2019 гг. в сравнении с ежегодными значениями N и ΣE , начиная с 2006 г. (рис. 11). В настоящей работе к землетрясениям и ГТУ для создания полной картины о сейсмическом потоке в регионе мы добавили также и взрывы. Данные по взрывам представлены начиная с 2007 г., когда их стали помещать в региональный каталог по таким же критериям, как и другие события – локация не менее, чем по трём станциям. До этого времени учитывались взрывы, зарегистрированные одной или двумя станциями, в том случае, если о них были данные от организаций, производящих взрывные работы.

Таблица 4. Распределение числа сейсмических событий N за 2018 г. в различных интервалах магнитуд ML и суммарная выделившаяся сейсмическая энергия ΣE , Дж

Тип события	ML					N_{Σ}	ΣE , Дж
	1.0–2.0	2.0–3.0	3.0–4.0	4.0–5.0	5.0–6.0		
Тектоническое, афтершок, возможно землетрясение, обвальное	14	18	3	2	1	38	$1.22 \cdot 10^{13}$
ГТУ	3	25	3	–	–	31	$1.26 \cdot 10^{10}$
Взрывы	124	212	1	–	–	337	$1.94 \cdot 10^{10}$
Всего	139	255	7	2	1	406	$1.23 \cdot 10^{13}$

Таблица 5. Распределение числа сейсмических событий N за 2019 г. в различных интервалах магнитуд ML и суммарная выделившаяся сейсмическая энергия ΣE , Дж

Тип события	ML					N_{Σ}	ΣE , Дж
	1.0–2.0	2.0–3.0	3.0–4.0	4.0–5.0	5.0–6.0		
Тектоническое, афтершок, возможно землетрясение	19	18	1	0	0	38	$2.37 \cdot 10^9$
ГТУ	2	36	5	–	–	43	$2.47 \cdot 10^{10}$
Взрывы	175	136	0	–	–	311	$6.98 \cdot 10^9$
Всего	196	190	6	–	–	392	$3.41 \cdot 10^{10}$

Как видно из рис. 11 а, для землетрясений сейсмический поток сильно меняется год от года, и эти изменения связаны, прежде всего, с реализацией крупных землетрясений, таких, как Среднеуральское 18.10.2015 г. с $ML=4.7$ [30] и Катав-Ивановское 04.09.2018 г. с $ML=5.4$.

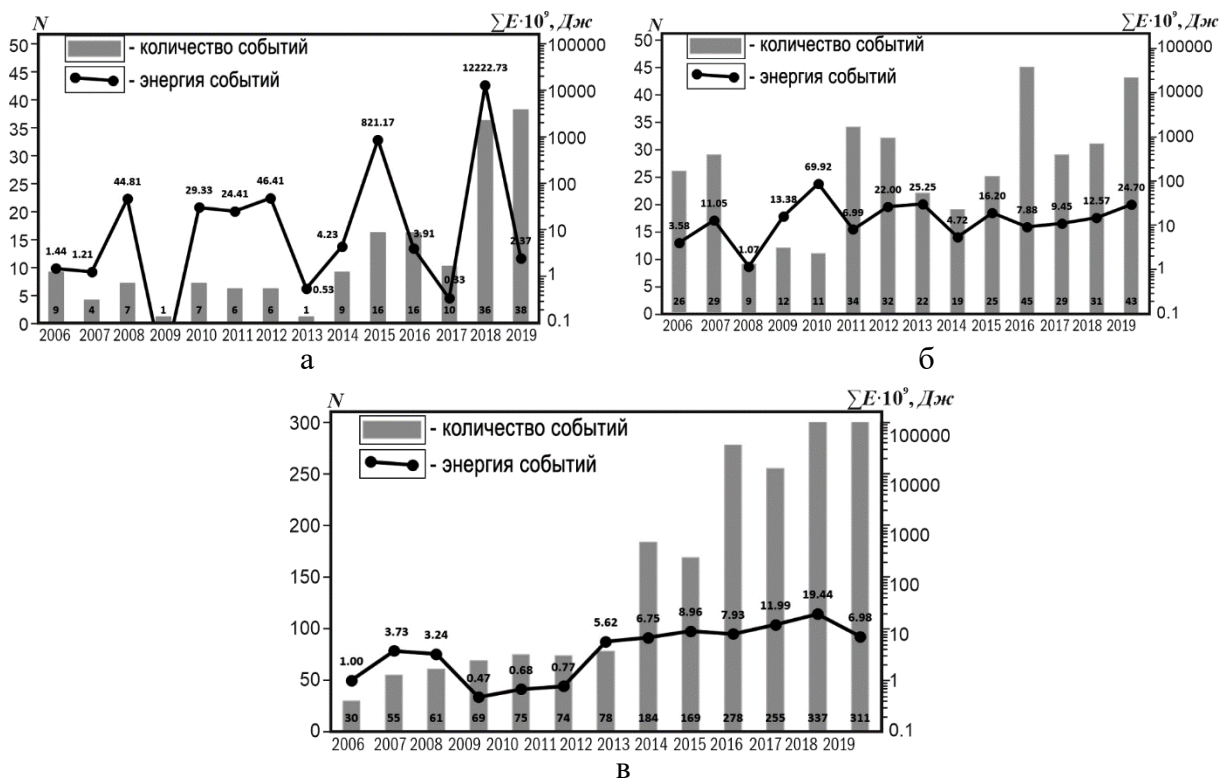


Рис. 11. Сводные данные о годовом количестве и суммарной энергии землетрясений (а), горно-тектонических ударов (б) за 2006–2019 гг. и взрывов (в) за 2007–2019 гг.

В случае горно-тектонических ударов (рис. 11 б) сейсмический поток в целом имеет постоянный уровень. Снижение в 2008 г. явным образом коррелирует с экономическим кризисом, а пик в 2010 г. связан с крупным горно-тектоническим ударом 13.02.2010 г., $M_L=4.1$. Это был сильнейший ГТУ за весь период наблюдений Уральской сейсмологической сетью. В дальнейшем магнитуда регистрируемых ГТУ не превышала $M_L=3.6$.

Впервые в обзоре представлены обобщенные данные по взрывам (рис. 11 в). Из рисунка видно, что в количественном отношении взрывы преобладают над другими типами регистрируемых событий, но в энергетическом плане они сопоставимы с ГТУ.

Заключение. В целом можно отметить, что период 2018–2019 гг. для региона в сейсмическом отношении оказался уникальным. Произошло сильнейшее инструментально зарегистрированное на Урале Катав-Ивановское землетрясение, которое продемонстрировало, что природный сейсмический потенциал Урала на порядки превышает техногенную составляющую. Впервые на Урале зарегистрирована и детально изучена афтершоковая последовательность после тектонического землетрясения. К ранее выделенным сейсмически активным зонам добавлена еще одна, связанная с Южным Уралом, который ранее считался слабосейсмичным. Зарегистрирована активизация сейсмического процесса в ранее выделенной активной зоне в районе пос. Таборы (Добрянский район, Пермский край). Развитие сейсмического процесса в данной зоне требует дальнейших исследований с целью установления природы необычного роевого проявления сейсмичности в районе, где к этому нет никаких (по современным данным) тектонических предпосылок.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Бахтиярова Г.М., Белевская М.А., Варлашова Ю.В., Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В., Гусева Н.С., Дягилев Р.А., Злобина Т.В., Лукаш Н.А., Малянова Л.С., Нестеренко М.Ю., Пойгина С.Г., Старикович Е.Н.

Электронное приложение App15_Ural_West_Siberia_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции региона Урал и Западная Сибирь в 2018–2019 гг.; 2 – Сводный каталог землетрясений, горных и горно-тектонических ударов на территории Урала и Западной Сибири в 2018–2019 гг.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Урала и Западной Сибири за 2018–2019 гг.; 4 – Макросейсмический эффект землетрясений, ощутимых в населенных пунктах Урала в 2018–2019 гг.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях сейсмических событий Урала в 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

1. Блинова Т.С., Удоратин В.В., Дягилев Р.А., Баранов Ю.В., Носкова Н.Н., Конанова Н.В. Сейсмичность и сейсмическое районирование слабоактивных территорий. Горный институт УрО РАН, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН. – Пермь, 2015. – 178 с.
2. Годзиковская А.А., Прибылова Н.Е. Сейсмические события Европейской части бывш. СССР, Урала и Западной Сибири // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2014. – Т. 41, № 2. – С. 5–22.
3. Verkholantsev F.G., Golubeva I.V. On seismic activity in the South-East part of Russian plate in accordance with instrumental data in 2011–2012 // Book of abstracts 33rd General Assembly of European Seismological Commission. – Moscow-Obninsk, 2012.
4. Noskova N.N. The Earthquake of September 16, 2020 in the Kirov–Kazhim Aulacogen // Seismic Instruments. – 2021. – V. 57, N 3. – P. 360–367. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923921030105>
5. Пучков В.Н. Важнейшие закономерные и индивидуальные черты геологической эволюции Урала и сопредельных территорий. // Литосфера. – 2001. – № 1. – С. 15–31.
6. Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Злобина Т.В. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 222–234. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.20>. EDN: CFBNRE
7. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Под ред. В.В. Адушкина, А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с.

8. Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Верхоланцев А.В. Пермский край 2000–2005 гг. // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 269–289.
9. Дягилев Р.А., Голубева И.В. Оценка эффективности критерия распознавания сейсмических событий A_s/A_r для станций Уральского региона с применением статистических подходов // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы международной конференции. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 78–80.
10. Верхоланцев Ф.Г., Дягилев Р.А., Голубева И.В., Гусева Н.С. Землетрясение 20 мая 2014 г. $M_L=2.8$, $I_0=4-5$ в центральной части Республики Башкортостан // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 317–322. DOI: <https://doi.org/10.355540/1818-6254.2020.23.32>
11. International Registry of Seismograph Stations (IR). ISC & WDC. (2023). [Site]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/stations?stacode=ARU>
12. Q330HR Ultra-high-resolution network-aware seismic system, Kinematics, 2017. (2023). [Site]. – URL: <https://kinematics.com/wp-content/uploads/2017/04/datasheet-q330hr-broadband-seismic-system-quanterra.pdf>
13. Very-broad-band feedback seismometers STS-1V/VBB / STS-1H/VBB, G. Streckeisen, AG. (2023). [Site]. – URL: https://streckeisen.swiss/assets/downloads/sts-1_brochure.pdf
14. Portable very-broad-band triaxial seismometer STS-2, G. Streckeisen, AG. (2023). [Site]. – URL: <https://streckeisen.swiss/assets/downloads/sts-2-datasheet.pdf>
15. Kinematics FBA 23. IRIS, 2010. (2023). [Site]. – URL: <https://www.iris.edu/gallery3/inst/sensors/FBA-23>
16. Butyrin P.G., Verkholantsev F.G., Verkholantsev A.V., Shulakov D.Y. Digital Seismic Logger “Ermak-5”. Experience of Development and Implementation // Seismic Instruments. – 2019. – V. 55, N 2. – P. 117–128. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923919020051>
17. Analog Seismic Sensors. Sercel, 2010. (2022). [Site]. – URL: [ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog Seismic Sensors Specifications.pdf](ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog%20Seismic%20Sensors%20Specifications.pdf)
18. 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. 118–122.
19. Kennett, B.L.N. IASPEI 1991 Seismological Tables // Bibliotech. – Canberra, Australia, 1991. – 167 p.
20. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
21. National Earthquake Information Center and Data Center for Sismology, Denver. (2023). [Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
22. International Data Centre. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. (2023). [Site]. – URL: <https://www.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre>
23. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
24. National Nuclear Centre. (NNC). (2023). [Site]. – URL: <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
25. ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
26. Верхоланцев Ф.Г., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Варлашова Ю.В. Катав-Ивановское землетрясение 4 сентября 2018 г. с $M_L=5.4$, $m_b=5.5$, $I_0=6.4$ балла // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 25 (2018–2019 гг.). – С. 323–339 DOI: <https://doi.org/10.355540/1818-6254.2023.26.29> EDN: FALSTN
27. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Р-41 – Ивдель. Объяснительная записка. – СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2007. – 318 с.+17 вкл.
28. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41 – Екатеринбург. Объяснительная записка. – СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 492 с.+6 вкл.
29. Водолазская В.П., Тетерин И.П., Кириллов В.А., Лукьянова Л.И., Петров Г.А., Стефановский В.В., Морозов Г.Г., Жданов А.В., Жиганов А.В., Стряпунина Е.В., Еськин А.Г., Петрова Т.А., Вербицкий И.В., Вербицкая Н.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40. – Пермь. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 497 с. +6 вкл.

30. Носкова Н.Н. Землетрясение 5 сентября 2019 года в Сосногорском районе Республики Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2019. – № 4 (40). – С. 45–49. DOI: <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2019-4-45-49>. EDN: AMEJCE.
31. Габсатарова И.П., Ассиновская Б.А., Баранов С.В., Карпинский В.В., Конечная Я.В., Мунирова Л.М., Надёжка Л.И., Носкова Н.Н., Петров С.И., Пивоваров С.П., Санина И.А. Сейсмичность Российской части Восточно-Европейской платформы и ближайшего окружения в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 210–216. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.17> EDN: OQLBBZ
32. Верхоланцев 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. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.30>

SEISMICITY of the URALS and WESTERN SIBERIA in 2018–2019

F.G. Verkholtantsev¹, I.V. Golubeva¹, R.A. Dyagilev², T.V. Zlobina³

¹*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Perm, sombra@mail.ru,*

²*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, dra@gstras.ru,*

³*Mining Institute, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, tati.verkholtantseva@gmail.com*

Abstract. The article summarizes information about seismic network in the Urals and Western Siberia region, describes processing technique, presents short analysis of seismic activity for 2018–2019. Seismic network capability is shown for whole territory under control. It was found that about 82 % of registered events are explosions in mines and open pits, 74 events are natural and 76 are induced ones. For the strongest induced events, variants of source parameters obtained by different agencies are shown.

Key words: seismicity, seismic network, magnitude, seismic regime, rockburst, earthquake, explosion, Main Ural Fault.

For citation: Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., Dyagilev, R.A., & Zlobina, T.V. (2023). [Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 225–238. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.19> EDN: UCPMTP

R e f e r e n c e s

1. Blinova, T.S., Udoratin, V.V., Dyagilev, R.A., Baranov, Yu.V., Noskova, N.N., & Konanova, N.V. (2015). *Seismichnost' i seismicheskoe rajonirovanie slaboaktivnykh territorij* [Seismicity and seismic zoning of weakly active territories]. Perm, Russia: Mining Institute UB RAS, Institute of Geology Komi SC UB RAS Publ., 178 p. (In Russ.).
2. Godzikovskaya, A.A., & Pribylova, N.E. (2014). [Seismic events in the European part of the former. USSR, Urals and Western Siberia]. *Voprosy inzhenernoy seismologii* [Seismic Instruments], 41(2), 5–22. (In Russ.).
3. Verkholtantsev, F.G., & Golubeva, I.V. (2012). On seismic activity in the South-East part of Russian plate in accordance with instrumental data in 2011–2012. *Book of abstracts 33rd General Assembly of European Seismological Commission*. Moscow-Obninsk, Russia.
4. Noskova, N.N. (2021). The Earthquake of September 16, 2020 in the Kirov–Kazhim Aulacogen. *Seismic Instruments*, 57(3), 360–367. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923921030105>
5. Puchkov, V.N. (2001). [The most important natural and individual features of the geological evolution of the Urals and adjacent territories]. *Litosfera* [Lithosphere], 1, 15–31. (In Russ.).
6. Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., Dyagilev, R.A., & Zlobina, T.V. (2022). [Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 222–234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.20>. EDN: CFBNRE
7. Adushkin, V.V., & Malovichko, A.A. (2013). *Vzryvy i zemletryaseniya na territorii Evropeyskoy chasti Rossii* [Explosions and earthquakes in the European part of Russia]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 384 p. (In Russ.).
8. Malovichko, A.A., Malovichko, D.A., Dyagilev, R.A., Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., & Verkholtantsev, A.V. (2011). [Perm region 2000–2005]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2005 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 269–289). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
9. Dyagilev, R.A., & Golubeva, I.V. (2008). [Estimation of efficiency of As/AP discriminator of seismic events for Ural region using statistical approaches]. In *Seismichnost' Severnoi Evrazii. Materialy mezhdunarodnoi konferentsii* [Seismicity of the Northern Eurasia. Proceedings of international conference] (pp. 78–80). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
10. Verkholtantsev, F.G., Dyagilev, R.A., Golubeva, I.V., & Guseva, N.S. (2020). [Earthquake on May 20, 2014, $M_L=2.8$, $I_0=4-5$ in central part of Bashkortostan republic]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 317–322. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2020.23.32>

11. International Registry of Seismograph Stations (IR). ISC & WDC. (2023). Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/stations?stacode=ARU>
12. Q330HR Ultra-high-resolution network-aware seismic system, Kinemetrics, 2017. (2023). Retrieved from <https://kinemetrics.com/wp-content/uploads/2017/04/datasheet-q330hr-broadband-seismic-system-quanterra.pdf>
13. Very-broad-band feedback seismometers STS-1V/VBB / STS-1H/VBB, G. Streckeisen, AG. (2023). Retrieved from https://streckeisen.swiss/assets/downloads/sts-1_brochure.pdf
14. Portable very-broad-band triaxial seismometer STS-2, G. Streckeisen, AG. (2023). Retrieved from <https://streckeisen.swiss/assets/downloads/sts-2-datasheet.pdf>
15. Kinemetrics FBA 23. IRIS, 2010. (2023). Retrieved from <https://www.iris.edu/gallery3/inst/sensors/FBA-23>
16. Butyrin, P.G., Verkholtantsev, F.G., Verkholtantsev, A.V., & Shulakov, D.Y. (2019). Digital Seismic Logger "Ermak-5". Experience of Development and Implementation. *Seismic Instruments*, 55(2), 117–128. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923919020051>
17. Analog Seismic Sensors. Sercel, 2010. (2022). Retrieved from [ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog Seismic Sensors Specifications.pdf](ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog%20Seismic%20Sensors%20Specifications.pdf)
18. Dyagilev, R.A. (2015). [ML scale for the Middle Urals]. In *Materialy X Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannyykh"* [Proceedings of the X International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 118–122). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
19. Kennett, B.L.N. (1991). *IASPEI 1991 Seismological Tables*. Bibliotech, Canberra, Australia, 167 p.
20. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176))* [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
21. National Earthquake Information Center and Data Center for Seismology, Denver. (2023). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
22. International Data Centre. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. (2023). Retrieved from <https://www.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre>
23. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
24. National Nuclear Centre. (NNC). (2023). Retrieved from <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
25. GOST R 57546-2017. (2017). [Earthquakes. Seismic Intensity Scale]. Moscow, Russia: Standardinform Publ., 28 p. (In Russ.).
26. Verkholtantsev, F.G., Dyagilev, R.A., Shulakov, D.Yu., & Varlashova, Yu.V. (2023). [September 4, 2018 Katav-Ivanovsk earthquake with $ML=5.4$, $mb=5.5$, $I_0=6.4$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 323–339. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.29> EDN: FALSTN
27. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Ural'skaya. List P-41 – Ivdel. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Ural series. Sheet P-41. Ivdel. Explanatory letter]. (2007). Saint Petersburg, Russia: Kartfabrika VSEGEI Publ., 318 p. (In Russ.).
28. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Ural'skaya. List O-41. Ekaterinburg. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Ural series. Sheet O-41. Ekaterinburg. Explanatory letter]. (2011). Saint Petersburg, Russia: Kartfabrika VSEGEI Publ., 492 p. (In Russ.).
29. Vodolazskaya, V.P., Teterin, I.P., Kirillov, V.A., Luk'yanova, L.I., Petrov, G.A., Stefanovskij, V.V., Morozov, G.G., Zhdanov, A.V., Zhiganov, A.V., Stryapunina, E.V., Es'kin A.G., Petrova, T.A., Verbickij, I.V., & Verbickaya, N.V. (2015). *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Ural'skaya. List O-40. Perm'. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Ural series. Sheet O-40. Perm. Explanatory letter]. Saint Petersburg, Russia: Kartfabrika VSEGEI Publ., 497 p. (In Russ.).
30. Noskova, N.N. (2019). [Earthquake on September 5, 2019 in the Sosnogorsk region of the Republic of Komi]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 4(40), 45–49. DOI: <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2019-4-45-49>. EDN: AMEJCE.
31. Gabsatarova, I.P., Assinovskaya, B.A., Baranov, S.V., Karpinsky, V.V., Konechnaya, Ya.V., Munirova, L.M., Nadezhka, L.I., Noskova, N.N., Petrov, S.I., Pivovarov, S.P., & Sanina, I.A. (2023). [Seismicity of the Russian part of East European platform and adjacent territories in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 210–216. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.17> EDN: OQLBBZ
32. Verkholtantsev, F.G., Gabsatarova, I.P., Guseva, N.S., & Dyagilev, R.A. (2021). [Middle Ural earthquake on October 18, 2015, $ML=4.7$, $I_0=6$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 314–323. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.30>