

УДК 550.348.098.64 (470.53+470.531)

## СЕЙСМИЧНОСТЬ УРАЛА и ЗАПАДНОЙ СИБИРИ в 2021 году

Ф.Г. Верхованцев<sup>1</sup>, Т.В. Злобина<sup>3</sup>, Р.А. Дягилев<sup>2</sup>, Д.Ю. Шулаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь, Россия, [sombra@mail.ru](mailto:sombra@mail.ru)

<sup>2</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия, [dra@gsras.ru](mailto:dra@gsras.ru)

<sup>3</sup>Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия, [tati.verkholantseva@gmail.com](mailto:tati.verkholantseva@gmail.com)

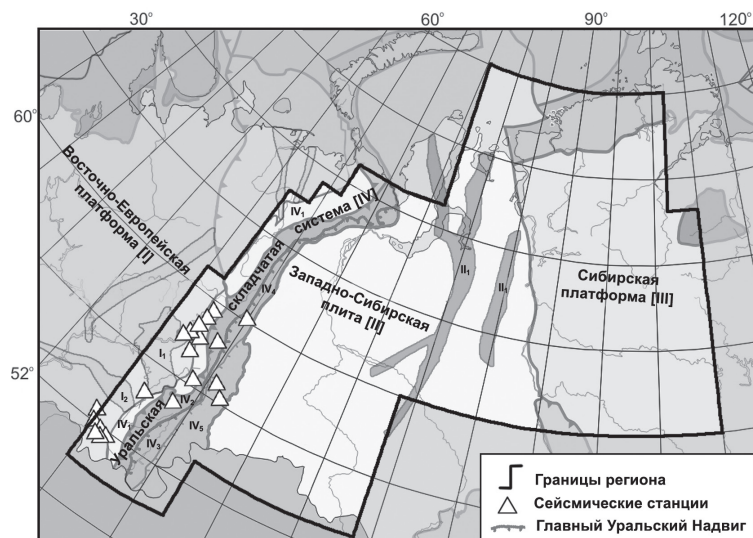
**Аннотация.** В работе представлены данные о действующей на территории Урала и Западной Сибири сети сейсмических станций, регистрационных возможностях сети для всей исследуемой территории, методике обработки данных и сейсмической активности региона в 2021 г. Показано, что из 491 зарегистрированного события 86% приходится на технологические взрывы на горнодобывающих предприятиях, 25 событий имеют отношение к природной, а 45 – к природно-техногенной сейсмичности. Для наиболее сильных событий последней группы приведены варианты решения параметров очага, полученные разными агентствами. Одно событие имело макросейсмические проявления.

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

**Для цитирования:** Верхованцев Ф.Г., Злобина Т.В., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025 – Вып. 28 (2021). – С. 206–219. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.19> EDN: RGDIPW

**Введение.** Объединенный регион «Урал и Западная Сибирь» согласно схеме сейсмогеодинамической регионализации территории Северной Евразии [1] включает в себя следующие регионы: 1.5 – «Урал» полностью, большую часть региона 3.2 – «Западная Сибирь» и восточный край региона 1.4 – «Восточно-Европейский». Сейсмический режим данных регионов существенным образом отличается.

С тектонической точки зрения вся исследуемая территория располагается внутри Евразийской литосферной плиты. На рис. 1 показаны границы региона «Урал и Западная Сибирь» и входящие в его состав крупные тектонические элементы.



**Рис. 1.** Сейсмические станции и тектоническое районирование региона исследований

I–IV – тектонические структуры первого порядка; I<sub>1</sub> – Камско-Бельский авлакоген, I<sub>2</sub> – Серноводско-Абдулинский авлакоген; II – рифтовая система Западно-Сибирской плиты; IV<sub>1</sub> – Предуральский краевой прогиб; IV<sub>2</sub> – западная внешняя мегазона, IV<sub>3</sub> – Магнитогорская мегазона, IV<sub>4</sub> – Тагильская мегазона, IV<sub>5</sub> – Восточно-Уральская мегазона.

Фактически 90% площади региона занимают крупные платформы разного возраста, с относительно низкой рассеянной сейсмической активностью. На востоке это Сибирская платформа,

в основе которой лежит блоковый кристаллический фундамент добайкальского возраста. Данных о сейсмичности этой тектонической структуры крайне мало [2]. Запад представленного в работе региона включает часть Волго-Уральской антеклизы Восточно-Европейской платформы (ВЕП) с фундаментом архейского возраста. Здесь известны как ощутимые исторические [3], так и инструментально зарегистрированные землетрясения, эпицентры которых тяготеют к авлакогенам [4, 5]. Центр региона занимает Западно-Сибирская Плита (ЗСП) с гетерогенным палеозойским фундаментом, в пределах которой отмечены слабые исторические землетрясения [6]. В период с 2004 г. на территории ЗСП на региональных расстояниях инструментально зарегистрировано шесть сейсмических событий [7], природу которых еще предстоит достоверно определить. Восточно-Европейскую платформу и Западно-Сибирскую плиту разделяет Уральский хребет – четко выраженная субмеридиональная складчатая система, которая по современным представлениям является покровно-складчатым сооружением сложного геологического строения, прошедшим полный цикл геодинамического развития [8]. В настоящее время Урал переживает неотектоническую активизацию [9], что отражается в сейсмичности. Детальный тектонический обзор исследуемой территории ранее был представлен в работе [10].

Сейсмический режим Урала имеет комплексный характер. Развитая горнодобывающая промышленность генерирует большое количество сейсмических сигналов, связанных с производством технологических и массовых взрывов на действующих предприятиях. Изменение напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, обусловленное извлечением полезных ископаемых и перемещением больших объемов руды в шахтах и карьерах, провоцирует горно-тектонические удары (ГТУ). Природные землетрясения, вызванные сложным геологическим строением и современными движениями земной коры, помимо тектонических, представлены также обвальными (оползневыми и карстовыми) и даже импактными событиями. Несмотря на то, что положение горнодобывающих предприятий известно, их очевидная приуроченность к основным геологическим структурам Урала затрудняет определение типа сейсмических событий. Помимо этого, в целом дифференциация событий на природные и техногенные имеет известные сложности [11]. Для решения данной задачи в исследуемом регионе с 1999 г. начала создаваться Уральская региональная сейсмологическая сеть, которая охватила непрерывным инструментальным сейсмологическим мониторингом сначала территорию Пермского края [12], а впоследствии – Свердловскую область, Республику Башкортостан и Челябинскую область. К текущему моменту в состав сети входит 19 цифровых сейсмических станций [Приложение 1]. Это позволяет регистрировать события и идентифицировать их природу [13, 14] не только в пределах собственно Урала и востока Европейской части России, но и в Западной Сибири.

**Сеть сейсмических станций.** В 2021 г. в составе региональной сейсмологической сети произошел ряд изменений. 19 августа 2021 г. в Пермском крае была вновь запущена в работу стационарная сейсмическая станция «Добрянка» (PR2R) (рис. 2 а), работа которой была приостановлена в июне 2012 г. [Приложение 1]. Трехкомпонентный комплект короткопериодных сейсмометров CM-3KB(П) был размещен на прежнем месте в заглубленном бункере (рис. 2 б). Для записи сейсмических сигналов используется современный 24-битный регистратор «Ермак-5», ведущий непрерывную запись по трем каналам с частотой 40 Гц. Передача данных осуществляется в реальном времени в региональный обрабатывающий центр (РИОЦ), г. Пермь, с использованием LTE GSM-модема. Сбор данных осуществляется с использованием программного обеспечения SeisComp3. В связи с возобновлением работы станции на прежнем месте, ранее присвоенный Международным сейсмологическим центром (ISC) код станции PR2R остался неизменным [15]. На рис. 3 представлены спектры мощности смещений микросейсмических шумов, осредненные за сутки 21 августа 2021 г.

На сейсмической станции «Уфа» (BA1R) в октябре 2021 г. был заменен вышедший из строя регистратор «Угра» на «Ермак-5». Частота регистрации была снижена с 50 до 40 Гц.

В декабре 2021 г. на сейсмической станции «Североуральск» вместо трехкомпонентного короткопериодного сейсмометра Sercel L4C-3D был установлен широкополосный велосиметр Guralp CMG-6T. Частота регистрации была повышена с 40 до 100 Гц.

Исчерпывающие сведения о сейсмических станциях региональной сети и их аппаратурном оснащении приведены в приложении к настоящему выпуску журнала [Приложение 1]. Действующая сеть станций обеспечивает уверенную регистрацию сейсмических событий на большей части Пермского края с  $ML \geq 2.0$ , в Свердловской области, Республике Башкортостан и Челябинской области с  $ML \geq 2.4$ , в Оренбургской области с  $ML \geq 2.6$ , в Тюменской и Курганской областях с  $ML \geq 3.0$ , а на остальной территории – с  $ML \geq 3.4$  (рис. 4).

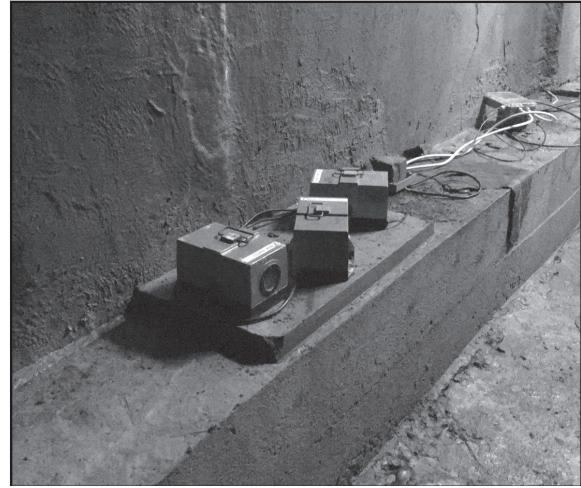


Рис. 2 а. Общий вид сейсмической станции «Добрянка» (PR2R)

Рис. 2 б. Бункер с сейсмометрами сейсмической станции «Добрянка» (PR2R)

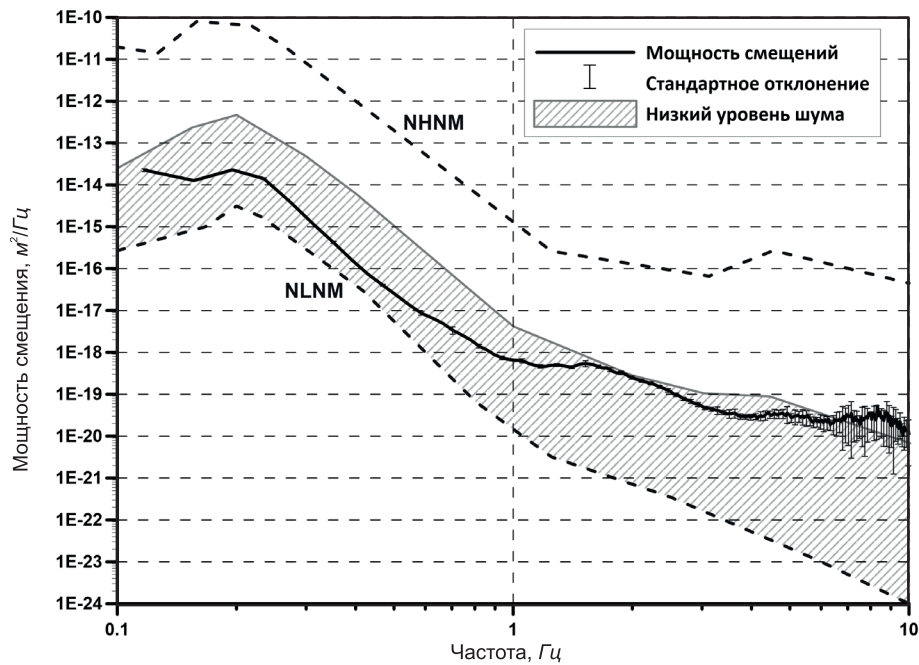


Рис. 3. Уровень микросейсмического шума в месте установки сейсмической станции «Добрянка» (PR2R), осреднение за сутки 21 августа 2021 г.

**Методика обработки данных.** Все сейсмические станции, за исключением «Власы» (PR41R), передают данные в РИОЦ непрерывно в режиме, близком к реальному времени. Для расчета локальной магнитуды  $ML$  используется максимальная амплитуда колебаний на горизонтальных компонентах записи в симуляции сейсмографа Вуда-Андерсона. Используемая в обработке магнитудная шкала  $ML$  учитывает региональные особенности распространения сейсмических волн, выявленные ранее для Среднего Урала и прилегающих территорий [16]. Кинематические параметры сейсмических волн определяются на основе годографа IASPEI [17]. Помимо определения локальной магнитуды, начиная с 2016 г. производится расчет энергетического класса  $K_p$  по шкале Т. Г. Раутиан [18] с использованием алгоритма, реализованного в программном комплексе WSG. При энергетической оценке событий, зарегистрированных до 2016 г., используется полученная нами для условий Урала зависимость между магнитудой и энергетическим классом сейсмических событий [19]:

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

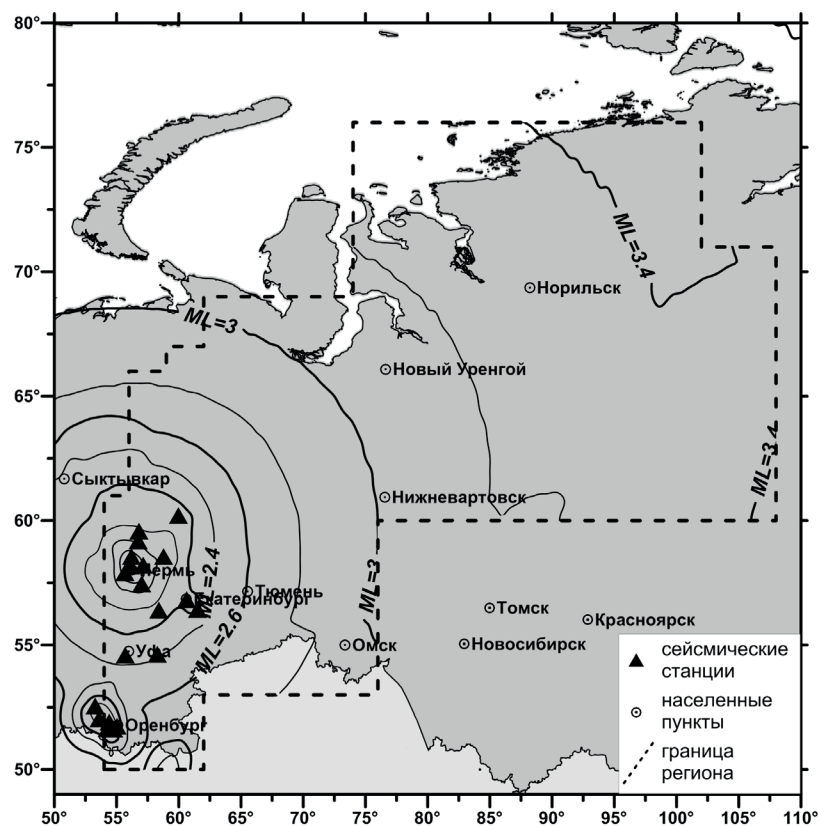


Рис. 4. Карта магнитудной представительности  $ML_{\min}$  регистрации сейсмических событий Уральской сетью в 2021 г.

С целью сравнительного анализа результатов локации сейсмических событий региональной сетью привлекаются данные других сейсмологических центров [20, 21].

Оценка интенсивности проявления ощутимых сейсмических событий – землетрясений и горно-тектонических ударов – производится в соответствии с ГОСТ Р 57546-2017 (ШСИ-2017) [22]. Данная шкала позволяет получать количественные оценки интенсивности сотрясений  $I$  и рассчитывать величины ошибки ее определения  $\sigma I$  с использованием статистического подхода. При этом шкала ШСИ-2017 обратно совместима с MSK-64.

**Сейсмичность территории.** Уральской сейсмологической сетью в 2021 г. было зарегистрировано 491 сейсмическое событие, для которых были определены необходимые параметры. Большая часть из зарегистрированных событий (421) традиционно приходится на массовые и технологические взрывы, производимые на горнодобывающих предприятиях исследуемого региона. Тектонических землетрясений в 2021 г. было зарегистрировано 25, и 45 сейсмических событий являются горно-тектоническими ударами (ГТУ).

Как видно из рис. 5 а, на долю **природных землетрясений** приходится 5% от числа всех зарегистрированных событий, и их доля в суммарной выделенной сейсмической энергии в 2021 г. так же мала – всего 8% (рис. 5 б). На горно-тектонические удары за рассматриваемый период приходится чуть более 9% от общего числа событий, при этом они преобладают в части суммарной выделенной энергии как над землетрясениями, так и над взрывами – порядка 63%. На взрывы приходится 29% от общей выделенной сейсмической энергии, при этом в количественном отношении они доминируют среди всех зарегистрированных событий – почти 86%.

**Взрывы.** В течение 2021 г., как и ранее, велась активная промышленная разработка природных ресурсов исследуемого региона. Добыча рудных и нерудных полезных ископаемых производится как открытым, так и подземным способом. Порядка 80% от общего количества эксплуатируемых месторождений разрабатывается открытым способом – карьерами и разрезами с использованием массовых взрывов. Наиболее крупные взрывы производят на территории Свердловской области – на Асбестовском, Высокогорском и Качканарском горно-обогатительных комбинатах (ГОК) с величиной заряда 100 т взрывчатых веществ (ВВ) и более, на территории Пермского края максимальная масса ВВ не превышает 50 т.

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 [13]. В региональный каталог взрывов включено 421 событие, для которых удалось определить магнитуду и координаты эпицентра не менее чем по трем сейсмическим станциям. Диапазон зарегистрированных магнитуд составил  $1.3 \leq ML \leq 2.9$ . Распределение числа взрывов по месяцам в течение года показано на рис. 6.

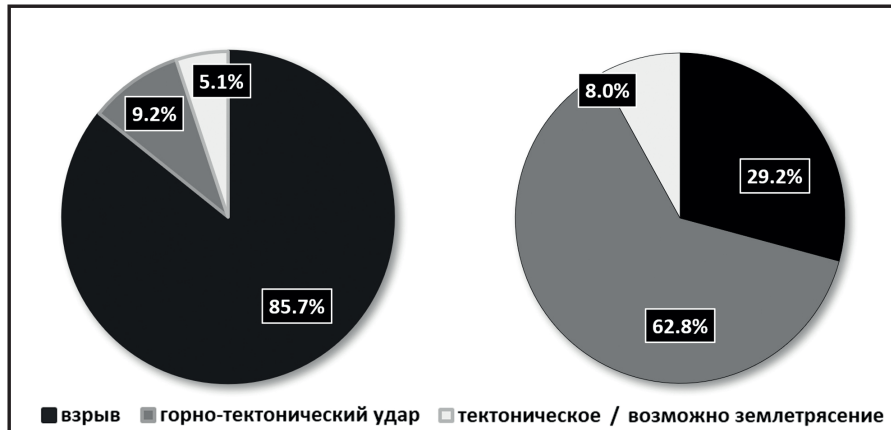


Рис. 5 а. Доли сейсмических событий разных типов в общем числе зарегистрированных событий

Рис. 5 б. Процентное соотношение выделившейся энергии сейсмических событий разных типов

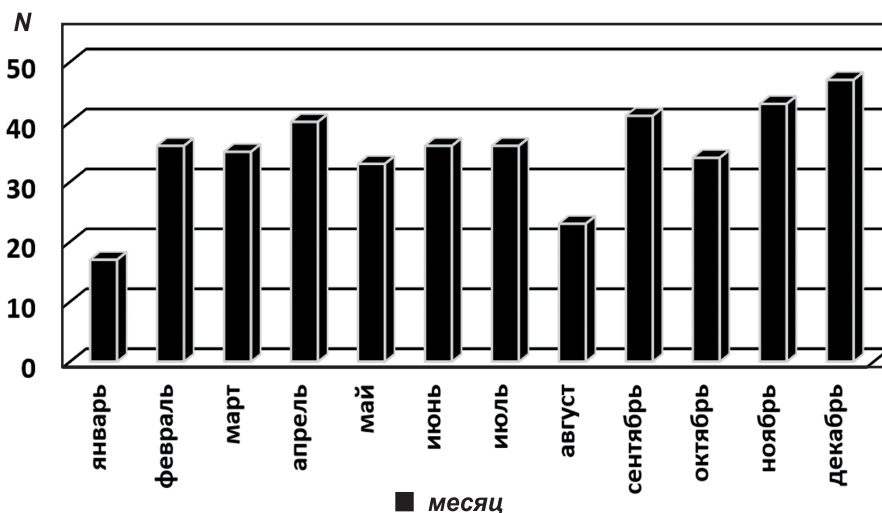


Рис. 6. Распределение числа взрывов по месяцам в 2021 г.

Согласно рис. 6, за представленный на нем период времени распределение количества взрывов по месяцам довольно стабильно. Однако, в отличие от предыдущих лет периода 2018–2020 гг. [19, 23], когда наибольшее количество взрывов приходилось на март, в 2021 г. больше всего взрывов ( $N=47$ ) было произведено в декабре. Месяцы с минимальным количеством взрывов – январь ( $N=17$ ) и август ( $N=23$ ).

На рис. 7 представлены сейсмограммы массового взрыва (171 т ВВ), произведенного 9 мая 2021 г. в 02<sup>h</sup>00<sup>m</sup> на шахте «Южная» ОАО «Высокогорский ГОК» (Гороблагодатское железорудное месторождение), его магнитуда составила  $ML=2.9$ . Суммарная выделенная сейсмическая энергия зарегистрированных в 2021 г. взрывов составила  $E_{\Sigma}=9.43 \cdot 10^9$  Дж.

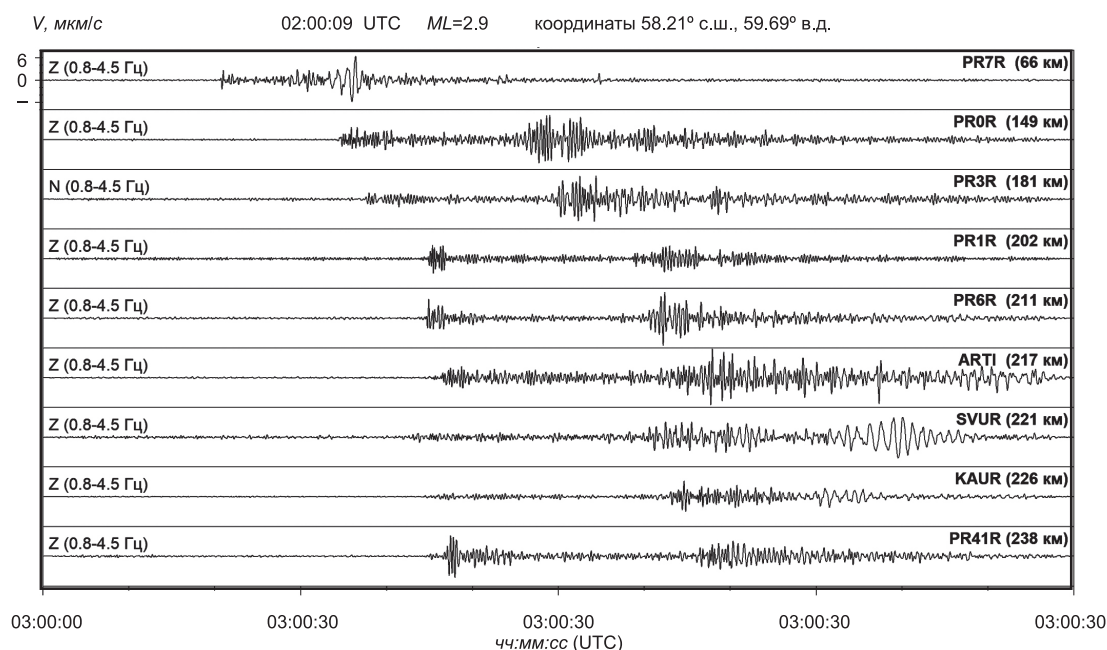


Рис. 7. Сейсмограммы массового взрыва (171 т ВВ) с  $ML=2.9$ , произведенного ОАО «Высокогорский ГОК» 9 мая 2021 г.

**Горно-тектонические удары (ГТУ).** Большую часть таких событий представляют горные и горно-тектонические удары на шахтах Североуральского бокситового месторождения (ОАО «СУБР»). За 2021 г. здесь было зарегистрировано 190 ГТУ с энергией более  $10^5$  Дж, однако большинство из них фиксировались только одной сейсмической станцией – «Североуральск» (SVUR), расположенной непосредственно в горных выработках шахты «Красная шапочка». По записям станций Уральской сейсмологической сети параметры очагов были определены для 43 событий в диапазоне магнитуд  $1.8 \leq ML \leq 3.6$ .

Один ГТУ зарегистрирован на шахте «Естюнинская» (АО «Высокогорский» ГОК) г. Нижнего Тагила. Он произошел 11 января 2021 г. в  $11^{\text{h}}39^{\text{m}}$  и имел магнитуду  $ML=2.5$ . Данные о макросейсмических проявлениях отсутствуют.

Достаточно редкое событие было зарегистрировано 16 декабря 2021 г. в  $20^{\text{h}}53^{\text{m}}$  с  $ML=1.6$  на шахте Учалинского ГОКа (г. Учалы, Республика Башкортостан). Горно-тектонический удар сопровождался обрушением горных выработок на отметке  $-870$  м, на поверхности макросейсмические проявления не отмечены.

Самым сильным за рассматриваемый период стал горно-тектонический удар на шахте «Черемуховская» (ОАО «СУБР») 3 декабря 2021 г. в  $18^{\text{h}}45^{\text{m}}$  с  $ML=3.6$  (рис. 8). Сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН при участии службы прогнозирования и предотвращения горных ударов (СППГУ) ОАО «СУБР» был выполнен сбор макросейсмических сведений по данному событию. Событие ощущалось в п. Черемухово с интенсивностью  $3.7 \pm 0.3$  балла и в г. Североуральске с интенсивностью  $1.5 \pm 0.1$  балла по шкале ШСИ-2017 [22]. В поселке Калья событие не ощущалось [Приложение 4, 5]. Для параметров очага данного события имеются альтернативные варианты решений, полученные другими агентствами (табл. 1).

Таблица 1. Разные решения параметров горно-тектонического удара 3 декабря 2021 г. на шахте «Черемуховская» ОАО «СУБР» по данным Уральской региональной сети (MIRAS) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	$t_0$ , ч.мин:с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр			Магнитуда/количество станций	Ссылка
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км		
MIRAS	18:45:22	–	60.31	60.04	1f	$ML=3.6 \pm 0.2/9$ , $K_p=9.9$	[Приложение 2]
ISC	18:45:17	1.48	60.55	60.37	8.3	–	[20]
IDC	18:45:20	1.18	60.38	59.92	0f	$mb=3.2 \pm 0.3/1$ , $ML=3.4 \pm 0.1/11$	[21]

Примечание. MIRAS – Ги УО РАН, Пермь, Россия; ISC – International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom [20]; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, Vienna, Austria [21]; f – фиксированная глубина.

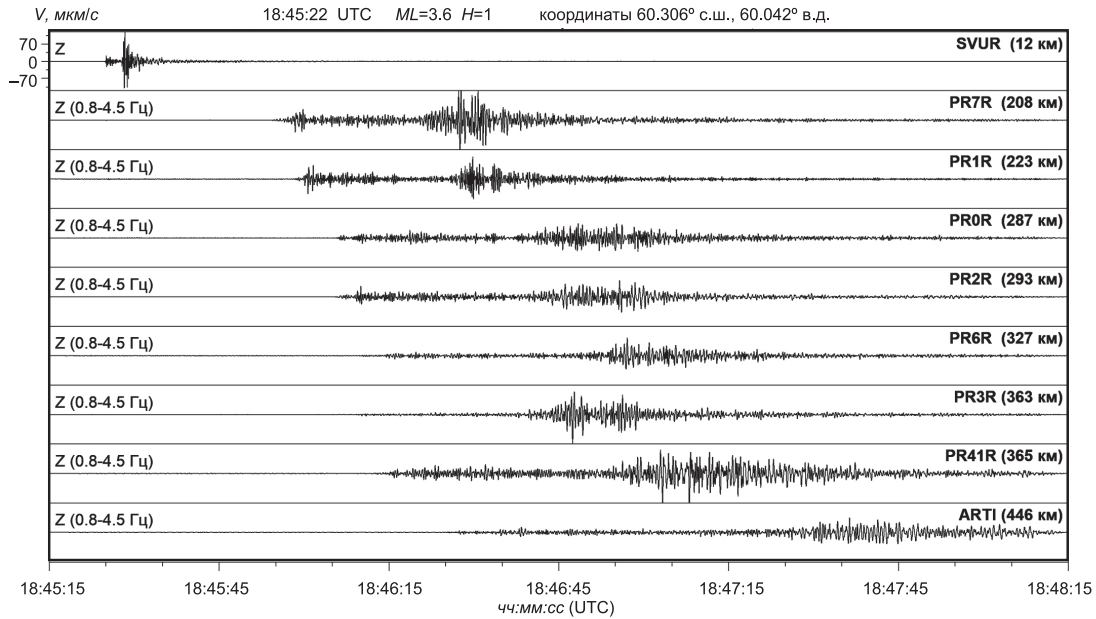


Рис. 8. Сейсмограммы горно-тектонического удара, произошедшего на шахте «Ново-Калынинская» (АО «СУБР») 3 декабря 2021 г. в 18<sup>h</sup>45<sup>m</sup>

Сведения о параметрах ГТУ, зарегистрированных в 2021 г. в регионе «Урал и Западная Сибирь», приведены в [Приложение 2] к настоящему выпуску журнала. Суммарная выделенная сейсмическая энергия всех ГТУ за 2021 г. составила  $E_{\Sigma}=2.03 \cdot 10^{10}$  Дж. Их техногенная природа не подвергается сомнению.

**Землетрясения.** Сведения о параметрах всех землетрясений, зарегистрированных в 2021 г. в регионе «Урал и Западная Сибирь», приведены в [Приложение 2] к данной работе. Карта их эпицентров, включая также эпицентры горно-тектонических ударов, представлена на рис. 9.

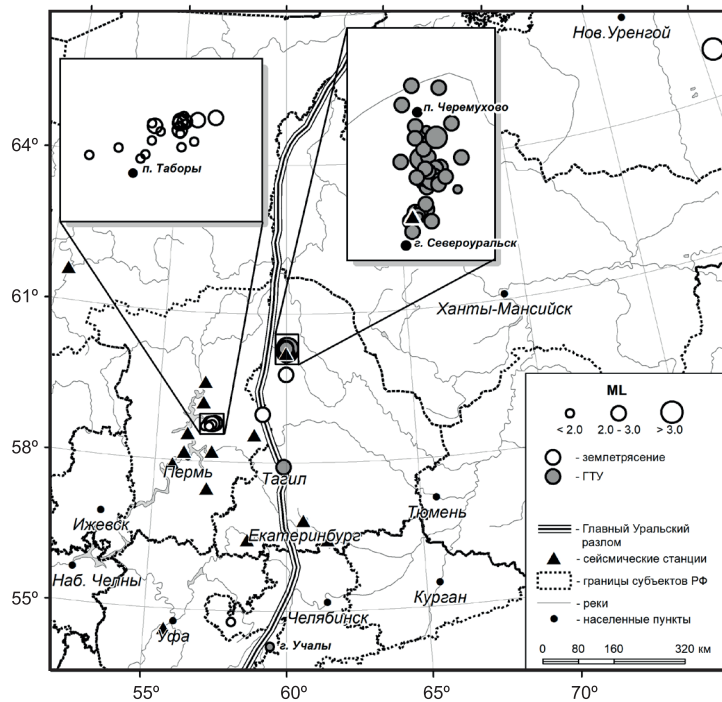


Рис. 9. Карта эпицентров сейсмических событий Урала и Западной Сибири в 2021 г.

В пределах Пермского края в 2021 г. было зарегистрировано 21 землетрясение, 20 из которых произошли в сейсмически активной зоне «Таборы» – в районе п. Таборы Добрянского муниципального округа Пермского края (рис. 9).

На рис. 10 представлена временная динамика землетрясений в данной зоне за период с 2006 по 2021 гг. Видно, что в 2021 г. продолжился рост сейсмической активности, отмеченный в предыдущей работе [23], начавшийся в апреле 2019 г. В 2021 г. зарегистрировано такое же количество событий, как и в 2020 г. –  $N=20$ , а уровень суммарной выделенной сейсмической энергии несколько снизился –  $E_{\Sigma}=7.22 \cdot 10^8$  Дж против  $E_{\Sigma}=1.27 \cdot 10^9$  Дж в 2020 г.

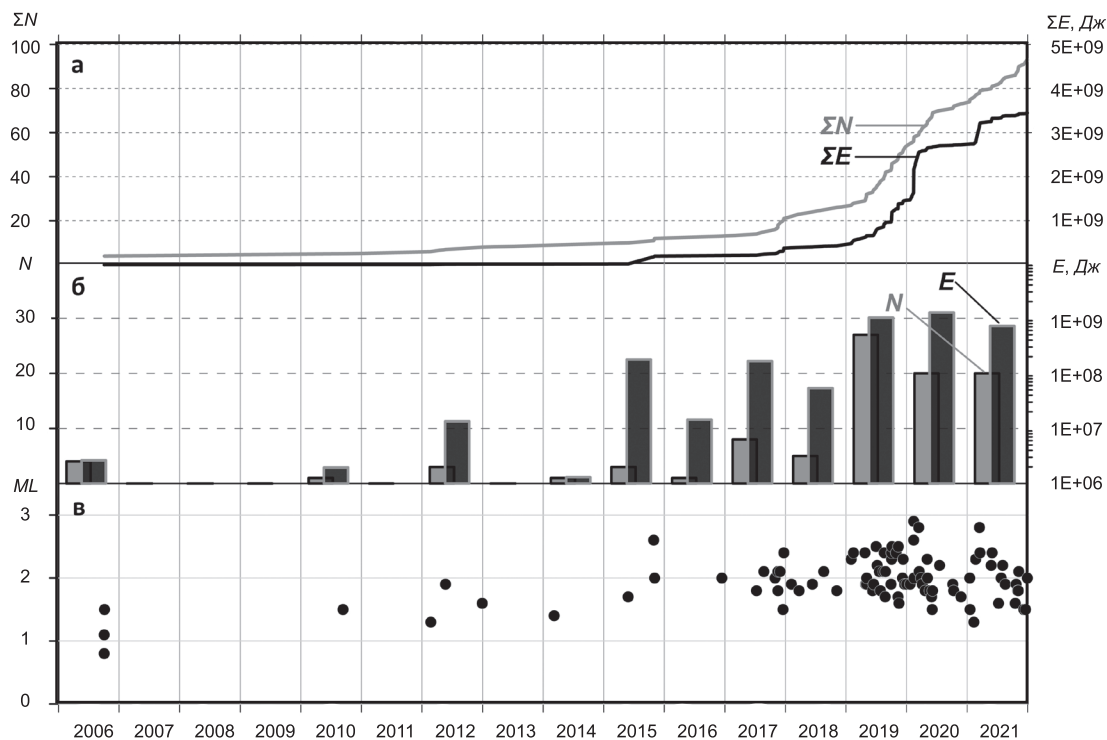


Рис. 10. Временная динамика развития сейсмического процесса в сейсмически активной зоне «Таборы» в период 2006–2021 гг.

а) кумулятивные графики числа событий  $\Sigma N$  и энергии  $\Sigma E$  землетрясений в зависимости от времени; б) гистограммы годового количества событий  $N$  и выделенной энергии  $E$ ; в) распределение событий по магнитуде  $ML$  во времени.

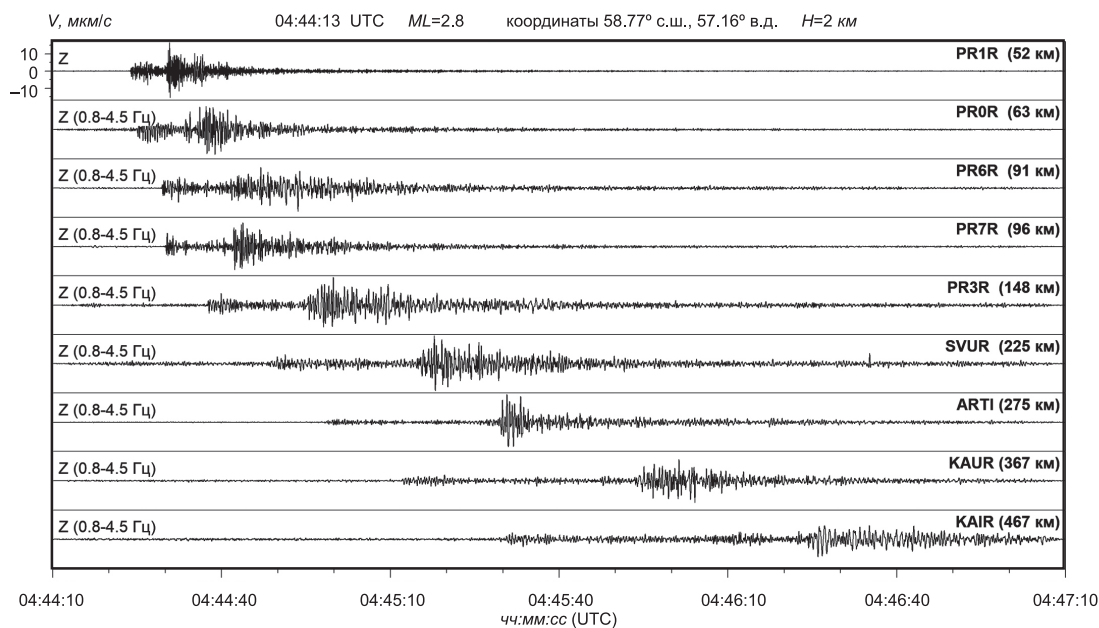


Рис. 11. Сейсмограммы тектонического землетрясения, произошедшего в сейсмически активной зоне «Таборы» (Добрянский городской округ, Пермский край) 16 марта 2021 г. в  $04^{h}44^{m}$

Самым сильным землетрясением в данной зоне стало событие 16 марта 04<sup>h</sup>44<sup>m</sup> с  $ML=2.8$ , его сейсмограммы представлены на рис. 11. Данные о макросейсмических проявлениях данного землетрясения отсутствуют.

Общее количество сейсмических событий, которые были зарегистрированы в сейсмически активной зоне «Таборы» за период с 2006 г. до конца 2021 г., составило 93, что позволяет достаточно обосновано подойти к определению параметров закона Гутенберга-Рихтера [24]. На рис. 12 представлен кумулятивный график повторяемости землетрясений, зарегистрированных станциями Уральской региональной сейсмологической сети в сейсмически активной зоне «Таборы» за период 2006–2021 гг., уровень представительной регистрации составляет  $ML \geq 1.8$ .

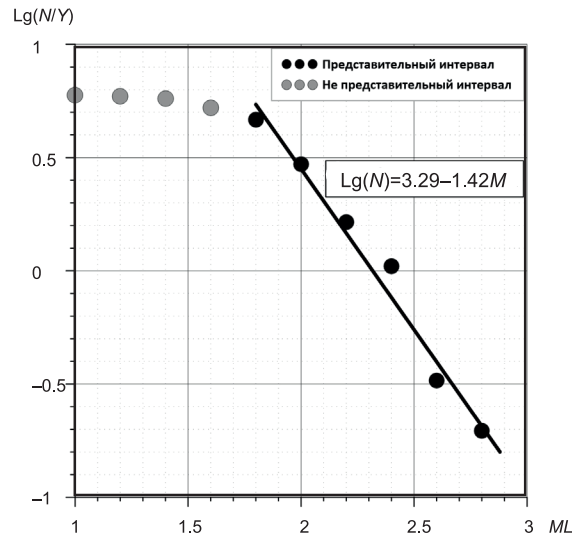


Рис. 12. Кумулятивный график повторяемости землетрясений для сейсмически активной зоны «Таборы» по данным инструментальных наблюдений за период 2006–2021 гг.

В аналитическом виде данный закон повторяемости можно записать следующим образом:

$$\lg N = 3.29(\pm 0.39) - 1.42(\pm 0.17) \cdot ML. \quad (2)$$

Ранее нами, по данным инструментальных наблюдений для Уральского региона за более чем 20-летний период, получен закон повторяемости землетрясений в широком интервале представительных магнитуд  $-2.0 \div 5.5$  — следующего вида [25]:

$$\lg N = 2.15(\pm 0.18) - 0.69(\pm 0.06) \cdot ML. \quad (3)$$

Из представленных уравнений (2) и (3) видно, что величины коэффициента **b-value** для приведенных законов повторяемости землетрясений статистически значимо различаются между собой. Величина **b-value** = 1.42, полученная для сейсмически активной зоны «Таборы», характерна скорее для континентальных рифтов, чем для платформенных территорий. Глубины событий 3–8 км, надежно определенные по данным локальных наблюдений 2019–2020 гг., исключают приповерхностную природу очагов и однозначно определяют их как тектонические. Гипоцентры событий лежат ниже кровли кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы в данном районе и соответствуют его разломно-блоковой структуре [9]. Вместе с тем, согласно той же Государственной геологической карте Российской Федерации третьего поколения (лист О-40 Пермь) и тектонической схеме к ней, в данном районе отсутствуют какие-либо достоверно известные тектонические структуры, с которыми можно было бы ассоциировать эту уникальную сейсмическую активизацию.

В Горнозаводском городском округе недалеко от п. Средняя Усьва 26 сентября в 05<sup>h</sup>49<sup>m</sup> произошло землетрясение с магнитудой  $ML=2.3$ . Его эпицентр расположен в пределах Главного Уральского Надвига [9] и на расстоянии порядка 13 км от инструментального эпицентра Качкарского землетрясения 29.03.2010 г. с  $ML=3.9$  и  $I_0=5$  [26].

В эпицентральной области Катав-Ивановского землетрясения [27] в 2021 г. было зарегистрировано два слабых землетрясения 28 января 2021 г. в 11<sup>h</sup>02<sup>m</sup> и 25 мая 2021 г. в 07<sup>h</sup>45<sup>m</sup> с магнитудами  $ML=1.0$  и  $ML=1.4$  соответственно [Приложение 2].

В пределах Свердловской области в районе г. Карпинска 9 октября 2021 г. в 02<sup>h</sup>55<sup>m</sup> было зарегистрировано сейсмическое событие с магнитудой  $ML=2.3$ . Волновые формы данного собы-

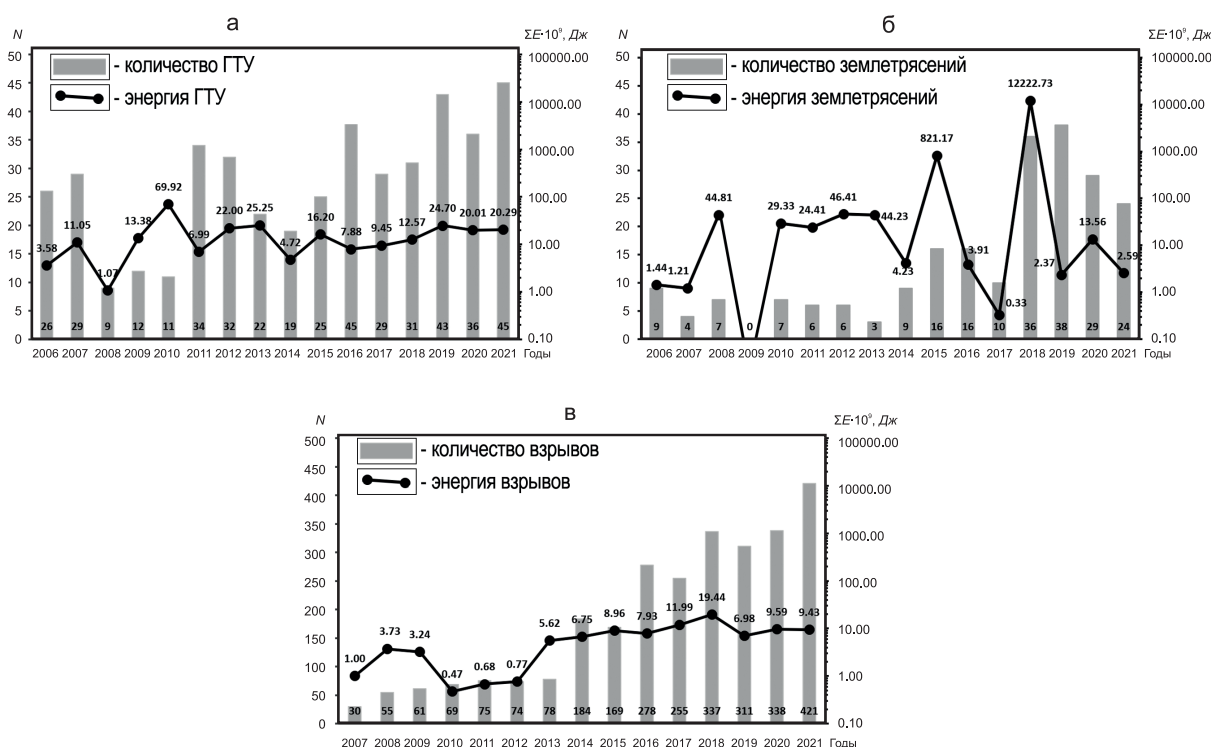
тия соответствуют тектоническому землетрясению согласно принятым критериям распознавания [13]. Вместе с тем, как мы указывали ранее [23], это событие, возможно, имеет индуцированный характер, поскольку его эпицентр совпадает с положением затопленного Карпинского угольного разреза, и оно может быть связано с процессом затопления разреза.

На северо-востоке Западной Сибири, по данным агентства IDC, на расстоянии порядка 140 км от г. Новый Уренгой, 6 ноября 2021 г. в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> было зарегистрировано землетрясение с магнитудой  $ML=3.2\pm 0.2$ ,  $mb=3.7\pm 0.2$ . На записях станций Уральской региональной сейсмологической сети данное землетрясение отсутствует, за исключением с/с «Арти» (ARTI), где при внимательном рассмотрении можно выделить слабые вступления фаз  $Pn$  и  $Sn$ . В связи с этим данное событие включено в дополнительный список [Приложение 3] к настоящей статье с параметрами, полученными агентством IDC. Необходимо отметить, что это первое землетрясение, зарегистрированное в данном районе исследуемого региона.

Распределение количества  $N$  событий разных типов по магнитудам  $ML$  и их суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в пределах исследуемого региона в 2021 г. представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Распределение числа сейсмических событий  $N$  за 2021 г. в различных интервалах магнитуд  $ML$  и суммарная выделившаяся сейсмическая энергия  $\Sigma E$ , Дж

Тип события	$ML$			$N_{\Sigma}$	$\Sigma E$ , Дж
	1.0–2.0	2.0–3.0	3.0–4.0		
Тектоническое, возможно индуцированное	15	9	1	25	2.59E+09
ГТУ	6	36	3	45	2.03E+10
Взрывы	255	166	0	421	9.43E+09
Всего	276	211	4	491	3.23E+10



**Рис. 13.** Сводные данные о годовом количестве и суммарной выделенной сейсмической энергии зарегистрированных землетрясений (а), горно-тектонических ударов (б) за 2006–2021 гг. и взрывов (в) за 2007–2021 гг.

Подводя итоги, рассмотрим параметры сейсмичности Урала и Западной Сибири  $N$  и  $\Sigma E$  в 2021 г. в сравнении с ежегодными значениями, начиная с 2006 г. (рис. 13). Данные по взрывам представлены, начиная с 2007 г., с того момента, когда их стали включать в региональный каталог по таким же критериям, как и другие события – локация не менее, чем по трем станциям. До этого момента учитывались взрывы, зарегистрированные одной или двумя станциями, в том случае, если о них были данные от организаций, производящих взрывные работы. Отметим, что в каталоги,

представленные в электронных приложениях журнала «Землетрясения Северной Евразии», взрывы не включаются, тем не менее, общие сведения о них приводятся в тексте статьи для детального представления о потоке сейсмических событий в пределах исследуемого региона в целом.

Как видно из рис. 13 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  $ML=4.7$  и Катав-Ивановское 04.09.2018 г. с  $ML=5.4$ . В этом отношении 2021 г. характеризуется низким значением выделенной сейсмической энергии природных землетрясений – на уровне 2019 г.

Поток сейсмической энергии, генерируемый горно-тектоническими ударами (рис. 13 б), имеет в целом достаточно стабильный уровень. Его 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.,  $ML=4.1$ . Это был сильнейший ГТУ за весь период наблюдений Уральской региональной сейсмологической сетью. В 2021 г., как и ранее после 2010 г., магнитуда регистрируемых ГТУ не превышает  $ML=3.6$ . Взрывы (рис. 13 в) в количественном отношении существенным образом превалируют над другими типами регистрируемых событий, однако в энергетическом плане они сопоставимы с ГТУ.

**Заключение.** Сейсмичность региона в 2021 г., по сравнению с таковой в ранее рассмотренные периоды 2018–2020 гг., была, можно сказать, «фоновой». Крупных событий как природного, так и техногенного характера не зарегистрировано. Редкое, фактически единственное за весь период наблюдений землетрясение было зарегистрировано на севере Западной-Сибири. Все выделенные ранее сейсмически активные зоны подтверждены новыми сейсмическими событиями, преобладающая природа которых в их пределах сохраняется. Продолжилось развитие роевого процесса в сейсмически активной зоне «Таборы». Сейсмический процесс в данном районе требует дальнейших исследований с целью уточнения природы и установления динамики такого уникального для Уральского региона проявления сейсмичности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и 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 Белевская М.А., Варлашова Ю.В., Верховланцев 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\_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Сейсмические станции региона Урал и Западная Сибирь, работавшие в 2021 г.; 2 – Каталог землетрясений, горных и горно-тектонических ударов на территории Урала и Западной Сибири в 2021 г.; 3 – Дополнительный список землетрясений на территории Западной Сибири по данным ISC в 2021 г.; 4 – Макросейсмический эффект осязаемых землетрясений в населенных пунктах Урала в 2021 г.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях осязаемых событий Урала в 2021 г.

## Л и т е р а т у р а

1. Ulomov V.I. Update of normative seismic zoning in the framework of the integrated information system for the seismic safety of Russia // *Seismic Instruments*. – 2013. – V. 49. – P. 87–114. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923913020047>
2. Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации / Под ред. В.И. Уломова, Н.С. Медведевой. (2025). [Site]. – URL: <http://seismos-ufz.ru/documents/Eartquake-Catalog-%D0%A1%D0%9A%D0%97.pdf>
3. Носкова Н.Н., Верховланцев Ф.Г., Дягилев Р.А. Вятское землетрясение 13/25 августа 1897 г. // *Вопросы инженерной сейсмологии*. – 2024. – Т. 51, № 2. – С. 5–19. DOI: <https://doi.org/10.21455/VIS2024.2-1>
4. 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.
5. 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>
6. 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.
7. Носкова Н.Н., Верховланцев Ф.Г. Современная сейсмическая активизация в центральной части Западно-Сибирской плиты (территория ХМАО) // *Геофизические исследования*. – 2025. – Т. 26, № 4. – С. 75–86. DOI: <https://doi.org/10.21455/gr2025.4-1>

8. Пучков В.Н. Важнейшие закономерные и индивидуальные черты геологической эволюции Урала и сопредельных территорий. // Литосфера. – 2001. – № 1. – С. 15–31.
9. 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.
10. Верхоланцев 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
11. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Под ред. В.В. Адушкина, А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с.
12. 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.
13. 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.
14. 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/10.35540/1818-6254.2020.23.32>
15. International Registry of Seismograph Stations (IR). ISC & WDC. (2025). [Site]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/stations?stacode=PR2R>
16. 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.
17. Kennett B.L.N. IASPEI 1991 Seismological Tables // Bibliotech. – Canberra, Australia, 1991. – 167 p.
18. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
19. Верхоланцев 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
20. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
21. International Data Centre. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. (2025). [Site]. – URL: <https://www.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre>
22. ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
23. Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Злобина Т.В. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 205–222. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.1> EDN: IXPMMM
24. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena. – Princeton Univ. Press, Princeton, 1954. – 310 p.
25. Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В. Сейсмичность Уральского региона за период с 2002 по 2022 г. по данным инструментальных наблюдений Уральской сейсмологической сетью // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. Ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 28.
26. Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. с  $K_p=12.1$ ,  $M_w=4.4$ ,  $I_0=5$  (Средний Урал) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 336–346.
27. 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. 26 (2018–2019 гг.). – С. 323–339. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.29> EDN: FALSTN

**SEISMICITY of the URALS and WESTERN SIBERIA in 2021****F.G. Verkholtantsev<sup>1</sup>, T.V. Zlobina<sup>3</sup>, R.A. Dyagilev<sup>2</sup>, D.Yu. Shulakov<sup>3</sup>**<sup>1</sup>*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia, sombra@mail.ru*<sup>2</sup>*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, dra@gstras.ru*<sup>3</sup>*Mining Institute, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia, 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 2021. Seismic network capability is shown for whole territory under control. It was found that about 86% of registered events are explosions in mines and open pits, 25 events are natural and 45 are induced ones. For the strongest induced events, variants of source parameters obtained by different agencies are shown. One event had a significant macroseismic effect.

**Keywords:** seismicity, seismic network, magnitude, seismic regime, rockburst, earthquake, explosion, Main Ural Fault.

**For citation:** Verkholtantsev, F.G., Zlobina, T.V., Dyagilev, R.A., & Shulakov, D.Yu. (2025). [Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 206–219. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.19> EDN: RGDIPW

**References**

1. Ulomov, V.I. (2013). Update of normative seismic zoning in the framework of the integrated information system for the seismic safety of Russia. *Seismic Instruments*, 49, 87–114. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923913020047>
2. Ulomov, V.I., & Medvedeva, N.S. (2019). *Spetsializirovannyi katalog zemletryasenyi dlya zadach obshchego seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii* [Specialized catalog of earthquakes for the tasks of general seismic zoning of the territory of the Russian Federation]. (2025). Retrieved from <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-%D0%A1%D0%9A%D0%97.pdf> (In Russ.).
3. Noskova, N.N., Verkholtantsev, F.G., & Dyagilev, R.A. (2024). [Vyatka earthquake of August 13, 1897]. *Voprosy inzhenernoy seysmologii* [Issues in engineering seismology], 51(2), 5–19. DOI: <https://doi.org/10.21455/VIS2024.2-1> (In Russ.).
4. 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.
5. 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>
6. Godzikovskaya, A.A., & Pribylova, N.E. (2014). [Seismic events in the European part of the former. USSR, Urals and Western Siberia]. *Voprosy inzhenernoy seysmologii* [Seismic Instruments], 41(2), 5–22. (In Russ.).
7. Noskova, N.N., & Verkholtantsev, F.G. (2025). [Modern seismic activation in the central part of the West Siberian plate (KhMAO territory)]. *Geofizicheskiye issledovaniya* [Geophysical Research], 26(4), 75–86. DOI: <https://doi.org/10.21455/gr2025.4-1> (In Russ.).
8. 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.).
9. 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.).
10. 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
11. 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.).
12. 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.).
13. 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.).

14. Verkholtantsev, F.G., Dyagilev, R.A., Golubeva, I.V., & Guseva, N.S. (2020). [Earthquake on May 20, 2014,  $ML=2.8$ ,  $I_0=4-5$  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>
15. International Registry of Seismograph Stations (IR). ISC & WDC. (2025). Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/stations?stacode=PR2R>
16. Dyagilev, R.A. (2015). [ML scale for the Middle Urals]. In *Materialy X Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [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.).
17. Kennett, B.L.N. (1991). *IASPEI 1991 Seismological Tables*. Bibliotech, Canberra, Australia, 167 p.
18. 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.).
19. 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
20. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
21. International Data Centre. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. (2025). Retrieved from <https://www.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre>
22. GOST R 57546-2017. (2017). [Earthquakes. Seismic Intensity Scale]. Moscow, Russia: Standardinform Publ., 28 p. (In Russ.).
23. Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., Dyagilev, R.A., & Zlobina, T.V. (2024). [Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 205–222. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.1> EDN: IXPMMM
24. Gutenberg, B., & Richter, C.F. (1954). Seismicity of the Earth and associated phenomena. *Princeton Univ. Press, Princeton*, 310 p.
25. Verkholtantsev, F.G., & Golubeva, I.V. (2022). [Seismicity of the Ural region for the period from 2002 to 2022. According to instrumental observations of the Ural seismological network]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh: Materialy Sed'moi Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly* [Modern Methods of Processing and Interpreting Seismological Data: Proceedings of the Seventh International Seismological Workshop] (P. 28). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
26. Dyagilev, R.A., Verkholtantsev, F.G., & Golubeva, I.V. (2016). [Kachkanar earthquake on March 29, 2010 with  $K_R=12.1$ ,  $M_W=4.4$ ,  $I_0=5$  (Middle Ural)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2010 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 336–346). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
27. 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