



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.34.6(470.13)

DOI:10.19110/geov.2024.1.4

Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 году

Н. Н. Носкова¹, Ф. Г. Верхоланцев², В. Э. Асминг³, Н. В. Ваганова⁴, И. В. Попов⁵

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, noskova@geo.komisc.ru

² Горный институт УрО РАН, Пермь, sombra@mail.ru

³ КоФ ФИЦ ЕГС РАН, Апатиты, asmingve@mail.ru

⁴ ФИЦКИА УрО РАН, Архангельск, nvag@yandex.ru

⁵ Кожимское разведочно-добычное предприятие, Сыктывкар, ilyageo@yandex.ru

За 2023 г. в Воркутском углепромышленном районе Республики Коми региональными сейсмическими станциями инструментально зарегистрированы 25 сейсмических событий с локальной магнитудой M_L от 1.8 до 2.8. Весомый вклад в обнаружении слабых ($M_L \leq 2$) событий внесли данные, полученные с временной сейсмической станции ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленной в рамках экспедиционных работ летом 2023 г. на Полярном Урале.

Особый интерес представляет сейсмическое событие 1 августа 2023 г., имеющее макросейсмический эффект. Жители нескольких районов Воркуты почувствовали толчки, похожие на землетрясение. Обработаны сейсмические записи 5 станций с эпицентрными расстояниями от 40 до 1070 км. Получены следующие параметры эпицентра: $t_0 = 18:39:07$, $67.529N$, $64.001E$, $h = 0$ км, $R_{\text{minor}} = 3.9$ км, $R_{\text{major}} = 6.7$ км, $Az_{\text{Major}} = 90^\circ$, $Kp = 9.0$, $ML = 2.8$, $Ms = 2.35$. Инструментальный эпицентр события расположен в пределах шахтного поля шахты «Воркутинская». Сейсмическое событие классифицировано нами как горно-тектонический удар. Макросейсмическая интенсивность, рассчитанная в соответствии со шкалой ШСИ-2017 по 57 анкетам и 163 определениям категорий-сенсоров, составила $I_0 = 4.73 \pm 0.02$. Рассчитанное значение макросейсмической глубины очага составило $H = 0.5 \pm 0.4$ км, что соответствует инструментальному определению и диапазону глубин горных выработок Воркутского угольного месторождения.

Ключевые слова: сейсмическая станция, сейсмограмма, эпицентр, горно-тектонический удар, угольная шахта, Воркута.

Seismic events in the Vorkuta coal industrial district in 2023

N. N. Noskova¹, F. G. Verkholtantsev², V. E. Asming³, N. V. Vaganova⁴, I. V. Popov⁵

¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

² Mining Institute of UB RAS, Perm

³ Kola Branch of GS RAS, Apatity

⁴ FECIAR UB RAS, Arkhangelsk

⁵ Kozhim Exploration and Production Enterprise, Syktyvkar

In 2023, regional seismic stations recorded 25 seismic events in the Vorkuta coal industrial district of the Komi Republic, with a local magnitude M_L from 1.8 to 2.8. A significant contribution to the detection of weak, $M_L \leq 2$, events was made by data obtained from the temporary seismic station of the IG FRC Komi SC UB RAS, installed as part of expeditionary work in the summer of 2023 in the Polar Urals.

Among them the seismic event on August 1, 2023, which had a macroseismic effect, is of particular interest. Residents of several districts of Vorkuta felt tremors similar to an earthquake. Seismic records from 5 stations with epicentral distances from 40 to 1070 km were processed. The following parameters of the epicenter were obtained: $t_0 = 18:39:07$, $67.529N$, $64.001E$, $h = 0$ km, $R_{\text{minor}} = 3.9$ km, $R_{\text{major}} = 6.7$ km, $Az_{\text{Major}} = 90^\circ$, $Kp = 9.0$, $ML = 2.8$, $Ms = 2.35$. The instrumental epicenter of the event is located in Vorkuta, near the mine field of the Vorkuta mine. We classified the seismic event as a rock burst. Macroseismic intensity calculated in accordance with the Seismic intensity scale-2017 using 57 questionnaires and 163 definitions of sensor categories was $I_0 = 4.73 \pm 0.02$. The calculated value of the macroseismic depth of the source was $H = 0.5 \pm 0.4$ km, which corresponds to the instrumental definition and to the range of depths of mine workings of the Vorkuta coal deposit.

Keywords: seismic station, seismogram, epicenter, rock burst, coal mine, Vorkuta.

Для цитирования: Носкова Н. Н., Верхоланцев Ф. Г., Асминг В. Э., Ваганова Н. В., Попов И. В. Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 году // Вестник геонаук. 2024. 1 (349). С. 34–42. DOI: 10.19110/geov.2024.1.4

For citation: Noskova N. N., Verkholtantsev F. G., Asming V. E., Vaganova N. V., Popov I. V. Seismic events in the Vorkuta coal industrial district in 2023. Vestnik of Geosciences, 2024, 1 (349), pp. 34–42, doi: 10.19110/geov.2024.1.4



Введение

В Воркутском углепромышленном районе Республики Коми ведется разработка месторождений угля Печорского угольного бассейна. Изменение геодинамического состояния массива горных пород, вызванное добычей полезных ископаемых, сопровождается сбросом напряжений, проявляющимся в том числе в виде возникновения сейсмических событий. Подобные события можно квалифицировать как техногенно-тектонические (горно-тектонические). Имея в виду двойственную природу их происхождения, в их формировании участвуют как региональные поля тектонических напряжений, так и накладывающиеся на них дополнительные воздействия от ведения горных работ. До недавнего времени информация о них отсутствовала. Лишь с открытием вблизи Воркутинского горнодобывающего района сейсмических станций появились объективные данные инструментального сейсмического мониторинга о возникающей здесь сейсмической активности (Носкова, 2017; Носкова, Асминг, 2018).

В период с 1994 по 2004 г. региональный сейсмологический мониторинг, в том числе северных районов Республики Коми, осуществлял Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, с использованием сейсмической станции «Амдерма» в пос. Амдерма. Институтом динамики геосфер РАН в пределах шахтного поля шахты «Комсомольская» была развернута локальная система сейсмологического мониторинга геодинамических явлений (Беляева и др., 2009). С 2010 г. возобновлена работа сейсмической станции «Амдерма» уже в составе Архангельской сейсмической сети¹, которая также фиксирует сейсмические события северных районов Республики Коми. Сейсмостанция «Бованенково» ФИЦ ЕГС РАН, расположенная на п-ве Ямал, регистрирует наиболее крупные сейсмические события в пределах Воркутинского района. В 2021 г. была открыта сейсмическая станция «Инта» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Носкова и др., 2023). Благодаря этому удалось понизить порог представительности регистрируемых сейсмических событий на севере Республики Коми с $M_L = 4$ до $M_L = 2.5$ и появилась возможность регистрировать техногенную сейсмичность. Весомый вклад в обнаружении слабых ($M_L \leq 2$) событий 2023 г. в Воркутинском районе внесли данные, полученные с временной сейсмической станции «Полярный Урал» (POLU) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленной в рамках экспедиционных работ летом 2023 г. на Полярном Урале. Среди сейсмических событий 2023 г. выделяется событие 1 августа 2023 г. в Воркуте, которое особенно сильно ощущалось жителями города и ближайших посёлков. Оно зафиксировано сейсмическими станциями, расположенными на территории республики и соседних регионов.

Целью данной работы является анализ сейсмических данных, полученных региональными сейсмостанциями, определение основных параметров сейсмических событий, произошедших в Воркутском углепромышленном районе в 2023 г., и их каталогизация. Актуальность проведения постоянного мониторинга вызвана тем, что горные работы влияют на сейсмическую активность не только самой зоны ведения горных работ, но и более широких областей. Регулярные

техногенные воздействия могут ускорить процессы подготовки тектонических землетрясений даже в тех районах, где их возникновение маловероятно. Поэтому очень важно проводить непрерывные наблюдения за природной и техногенной сейсмичностью в районах разработок месторождений и вести паспортизацию (каталогизацию) сейсмических событий.

Материалы и методы исследования

Для анализа и определения параметров сейсмических событий использовались волновые формы станций: «Инта» (IN0) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, «Амдерма» (AMDE1) Архангельской сейсмической сети и «Бованенково» (BVNN) ФИЦ ЕГС РАН, а в некоторых случаях — временной сейсмической станции «Полярный Урал» (POLU) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленной в рамках экспедиционных работ летом 2023 г. на Полярном Урале. Для сейсмического события 1 августа 2023 г. в обработку также были включены данные сейсмической станции «Добрянка» (PR2R) ГИ УрО РАН.

Определение параметров гипоцентра по исходным цифровым сейсмическим записям производилось в программах WSG (Красилов и др., 2006) и LOS (Асминг и др., 2021) методом минимизации невязок, с использованием скоростной модели для Восточно-Европейской платформы (Schueller et al., 1997), дополненной глубокими слоями модели АК-135 (Kennett et al., 1995). Для вычисления локальной магнитуды M_L и магнитуды по поверхностным волнам M_s применялись реализованные в WSG способы расчета, основанные на осредненной по Северной Евразии калибровочной функции (Габсатарова, 2006) и рекомендации, указанных в работе И. П. Габсатаровой (2011).

Данные о макросейсмических проявлениях сейсмического события 1 августа 2023 г. собирались в анкеты, представляющие собой электронные таблицы, где макросейсмические сведения в формализованном виде представлялись в виде реакции различных категорий-сенсоров в соответствии с определениями Шкалы сейсмической интенсивности — 2017 (ШСИ-2017) (ГОСТ..., 2017). В дальнейшем при обработке нами использовался статистический подход, описанный в ГОСТ Р 57546–201, позволяющий получить итоговую сейсмическую интенсивность I , обобщенную по большому количеству категорий-сенсоров, и рассчитать величину ошибки её определения σI . Данный подход для территории Урала и европейской части России впервые был применен при обработке макросейсмических данных сильного Катав-Ивановского землетрясения $M_w = 5.0$, $I_0 = 6.4 \pm 0.3$ (Дягилев и др., 2020) и в настоящее время широко используется при расчетах макросейсмической интенсивности ощутимых горно-тектонических ударов в пределах Североуральского бокситового и Высокогорского железорудного месторождений на Урале (Верхоланцев и др., 2023). В настоящей работе методика определения макросейсмической интенсивности в соответствии с новой шкалой ШСИ-2107 была применена и на Воркутском угольном месторождении Печорского угольного бассейна, что позволит в дальнейшем при регистрации ощутимых горно-тектонических ударов получать ма-

¹ АН: Arkhangelsk Seismic Network. URL: <https://www.fdsn.org/networks/detail/AH/>. DOI:10.7914/SN/AH

кросейсмические оценки в соответствии с современной шкалой ШСИ-2017.

Инструментальная обработка

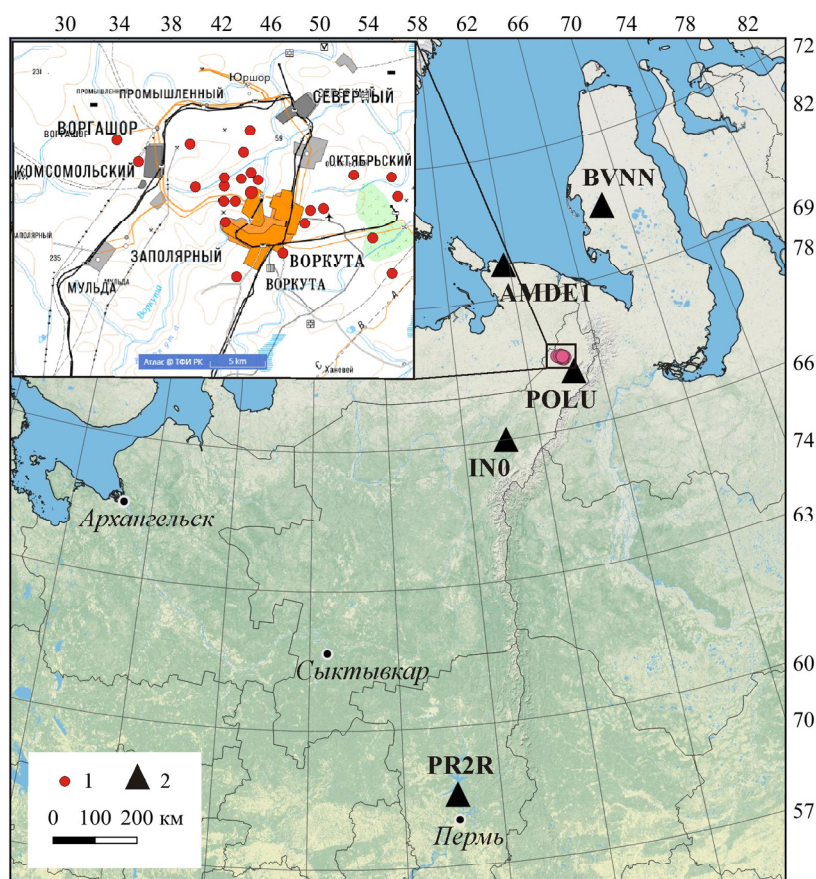
Благодаря открытию в Инте сейсмической станции «Инта» (IN0) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН появилась возможность регистрировать техногенную сейсмичность на территории Республики Коми (Носкова и др., 2023). За 2023 г. сейсмостанцией «Инта» зарегистрировано 25 сейсмических событий (табл. 1, рис. 1) в районе Воркуты, предположительно техногенного характера. Однако обработка по одиночной станции может приводить к неверному решению и некорректным выводам, как, например, по сейсмическому событию 21 февраля 2023 г. По времени возникновения первоначально оно было отнесено к взрыву на угольном разрезе. Как известно из сообщений Управления по делам ГО и ЧС Воркуты, взрывные работы проводятся в районе Юнь-Ягинского угольного разреза вблизи п. Советский с 09:00 до 18:00 по местному времени (Внимание..., 2023). После добавления в расчёты сейсмических записей станций «Амдерма» и «Бованенково» положение эпицентра удалось уточнить. Также были получены данные о том, что сейсмическое событие ощущалось жителями Воркуты (Подслушано..., 2023), поэтому, возможно, данное событие является горно-тектоническим ударом на шахте «Воркутинская».

Для обработки сейсмических записей, связанных предположительно с проявлениями техногенной сейсмичности в пределах угольных месторождений Воркутского угледоугольного района, зарегистрированными сейсмической станцией «Инта» (IN0), по возможности использовались данные сейсмических станций «Амдерма» и «Бованенково». Большой вклад в обнаружение и лоцирование событий с $M_L \leq 2$ внесла временная сейсмостанция «Полярный Урал» (POLU), работавшая летом на Полярном Урале.

Эпицентры событий расположены рядом с Воркутой и, соответственно, шахтными полями. Поэтому они классифицируются нами как горные, горно-тектонические удары или взрывы, если в эти дни было объявлено предупреждение о проведении взрывных работ в районе Юнь-Ягинского разреза вблизи п. Советский

Рис. 1. Эпицентры техногенных событий (1) в Воркутинском районе и станции, их зарегистрировавшие (2)

Fig. 1. Epicenters of induced events (1) in the Vorkuta region and the stations that registered them (2)



(Внимание..., 2023). На рис. 2, 3 приводятся примеры сейсмограмм ГУ и ГТУ. Их, несомненно, больше, но регистрационные возможности на региональных расстояниях не позволяют фиксировать все события.

Макросейсмические данные

Добыча угля на шахтах Воркутинского угленосного района ведется на больших глубинах и в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, что способствует возникновению интенсивных геодинамических явлений. Нередко они сопровождаются макросейсмическими проявлениями в Воркуте (Носкова, 2016; Носкова, Конечная, 2017; Носкова, Асминг, 2018; Носкова и др., 2018).

Сейсмическое событие 21 февраля 2023 г. обсуждалось воркутинцами в социальной сети «ВК» в группах «Подслушано Воркута» (запись от 21 февраля в 19:05 по местному времени) и «Хэлоу, Воркута!» (запись от 21 февраля в 20:45 по местному времени). Жителями города ощущались толчки на улицах Димитрова, Ленина, Шерстнёва, Суворова, Комарова, Гоголя, Пионерской, Гагарина, Ленинградской, Ломоносова, Чернова, Некрасова, а также во 2-м и 3-м районах (Подслушано..., 2023; Хэлоу, Воркута..., 2023).

Сейсмическое событие 22 июня 2023 г. также отмечилось воркутинцами в социальной сети «ВК» в группе «Привет! Сейчас в Воркуте!» (запись от 23 июня в 00:24 (Привет..., 2023). По данному событию информации существенно меньше, что, вероятно, связано с более поздним временем возникновения сейсмического события, возможно, многие в это время уже спали.

Сейсмическое событие 1 августа 2023 г. вызвало резонанс среди воркутинцев (В городе..., 2023). Явление, похожее на землетрясение, почувствовали



Таблица 1. Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 г.

Table 1. Seismic events in the Vorkuta coal industrial region in 2023

	Дата Date	Время Time	Координаты, ° Position, °		Магнитуда Magnitude	Эн. класс, Кр En. class, К	Станции Stations	Происхождение Origin	Макро- сейсмика Macro- seismics
			N	E					
1	21-02-2023	15:04:51	67.501	63.968	$ML = 2.8/2$ $Ms = 2.0$	8.9	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RTB	+
2	04-03-2023	23:12:52	67.535	63.889	$ML = 2.1$ $Ms = 1.6$	7.6	INO, BVNN	ГУ / RB	
3	20-03-2023	22:14:16	67.581	63.955	$ML = 2.5/2$	8.0	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
4	28-03-2023	15:17:44	67.546	64.000	$ML = 2.3/2$ $Ms = 1.7$	7.7	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
5	12-05-2023	17:19:19	67.482	64.074	$ML = 2.35/2$ $Ms = 1.6$	7.8	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
6	22-05-2023	22:58:31	67.557	63.764	$ML = 2.1/2$ $Ms = 1.8$	7.6	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
7	06-06-2023	21:35:22	67.534	63.947	$ML = 2.1/2$ $Ms = 1.6$	7.4	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
8	08-06-2023	19:59:41	67.517	64.160	$ML = 2.2/2$ $Ms = 1.8$	7.4	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
9	17-06-2023	20:25:13	67.543	63.987	$ML = 2.5/2$	8.1	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
10	22-06-2023	21:40:10	67.523	63.974	$ML = 2.6/2$ $Ms = 2.0$	8.6	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RTB	+
11	30-06-2023	01:05:08	67.523	63.953	$ML = 2.4/2$ $Ms = 1.8$	7.9	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
12	08-07-2023	20:31:28	67.576	63.725	$ML = 2.1/2$	7.3	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
13	11-07-2023	23:48:37	67.570	63.880	$ML = 2.1/2$	7.2	INO, AMDE1	ГУ / RB	
14	22-07-2023	11:00:12	67.577	63.996	$ML = 2.0/2$ $Ms = 1.1$	7.1	POLU, INO	ГУ/взрыв RB/explosion	
15	25-07-2023	11:19:41	67.493	64.273	$ML = 2.0/3$ $Ms = 1.2$	7.1	POLU, INO, AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	
16	01-08-2023	18:39:07	67.529	64.001	$ML = 2.8/3$ $Ms = 2.35$	9.0	POLU, INO, AMDE1, BVNN, PR2R	ГУ / RTB	+
17	02-08-2023	10:14:58	67.459	64.313	$ML = 2.2/2$ $Ms = 1.7$	7.6	POLU, INO	ГУ/взрыв RB/explosion	
18	05-08-2023	23:08:06	67.544	63.949	$ML = 1.9/3$ $Ms = 1.3$	7.1	POLU, INO, AMDE1	ГУ / RB	
19	07-08-2023	23:23:41	67.563	63.986	$ML = 2.0/3$ $Ms = 1.0$	7.3	POLU, INO, AMDE1	ГУ / RB	
20	12-08-2023	10:59:57	67.546	64.308	$ML = 1.8/3$ $Ms = 1.1$	6.9	POLU, INO, AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	
21	04-09-2023	00:03:30	67.542	64.022	$ML = 2.1/2$	7.3	INO, AMDE1	ГУ / RB	
22	26-10-2023	10:50:12	67.548	64.228	$ML = 2.4$	7.9	INO	ГУ/взрыв RB/explosion	
23	28-10-2023	10:30:12	67.516	64.328	$ML = 2.2$	7.3	INO, AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	
24	29-10-2023	19:58:56	67.461	63.978	$ML = 2.2$	7.5	INO	ГУ / RB	
25	14-11-2023	10:30:16	67.517	64.140	$ML = 2.3/2$	7.6	INO AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	

жители нескольких районов Воркуты. Макросейсмические сведения были собраны в первые дни после события через интерактивную форму на сайте ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Всего была получена 61 анкета, 6 из них исключены из расчётов, т. к. в них не был заполнен адрес. В социальных сетях спустя 7 минут от времени возникновения события в «VK» в группе «Привет! Сейчас в Воркуте!» жителями города была создана беседа «В городе трянуло. Почувствовали?».

По обсуждению в социальных сетях были добавлены ещё 2 анкеты, где кроме ощущений люди указали адрес и этаж. Жители почувствовали сотрясение всего дома, слышали гул, раскачивались светильники, дребезжала посуда, в некоторых случаях вибрировали тяжелые предметы, многие пугались, зачастую беспокоились животные. Все из опрошенных отчётливо ощутили довольно сильный толчок, как будто у соседней упало что-то тяжёлое. Макросейсмическая ин-

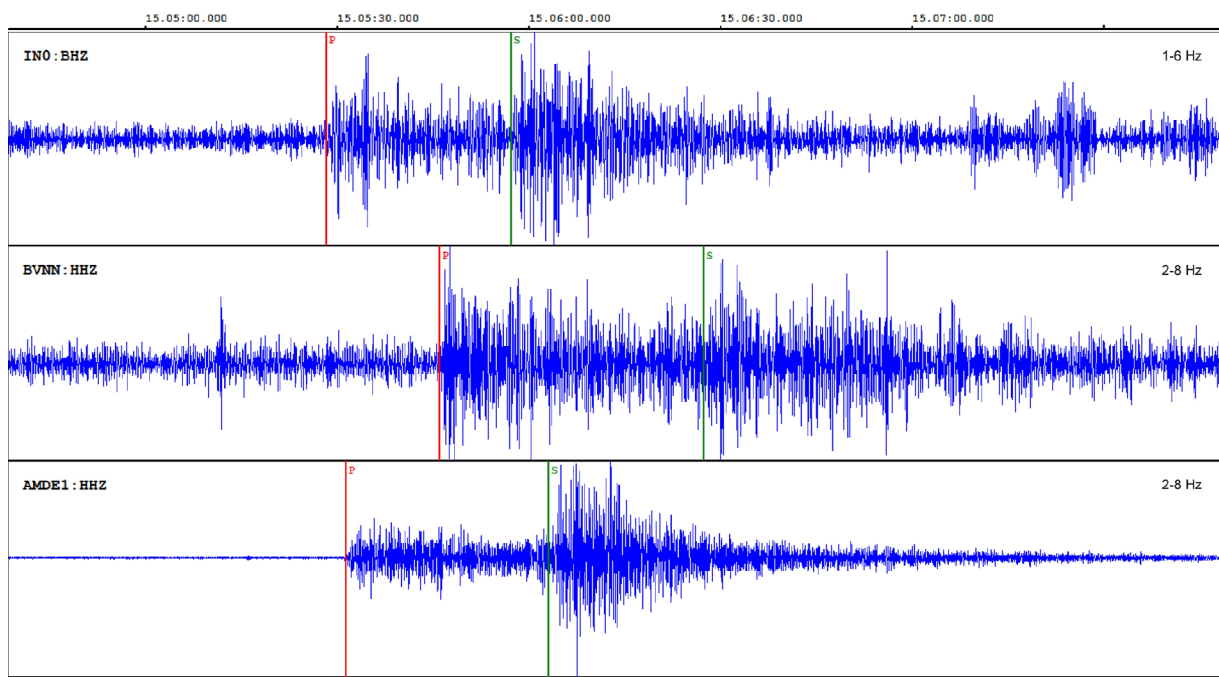


Рис. 2. Фрагменты записей вертикальной компоненты сейсмограмм станций «Инта», «Амдерма», «Бованенково» ГТУ 21 февраля 2023 г. на ш. «Воркутинская»

Fig. 2. Fragments of records of the vertical component of seismograms from the stations “Inta”, “Amderma”, “Bovanenkovo” rock burst on February 21, 2023 at mine “Vorkutinskaya”

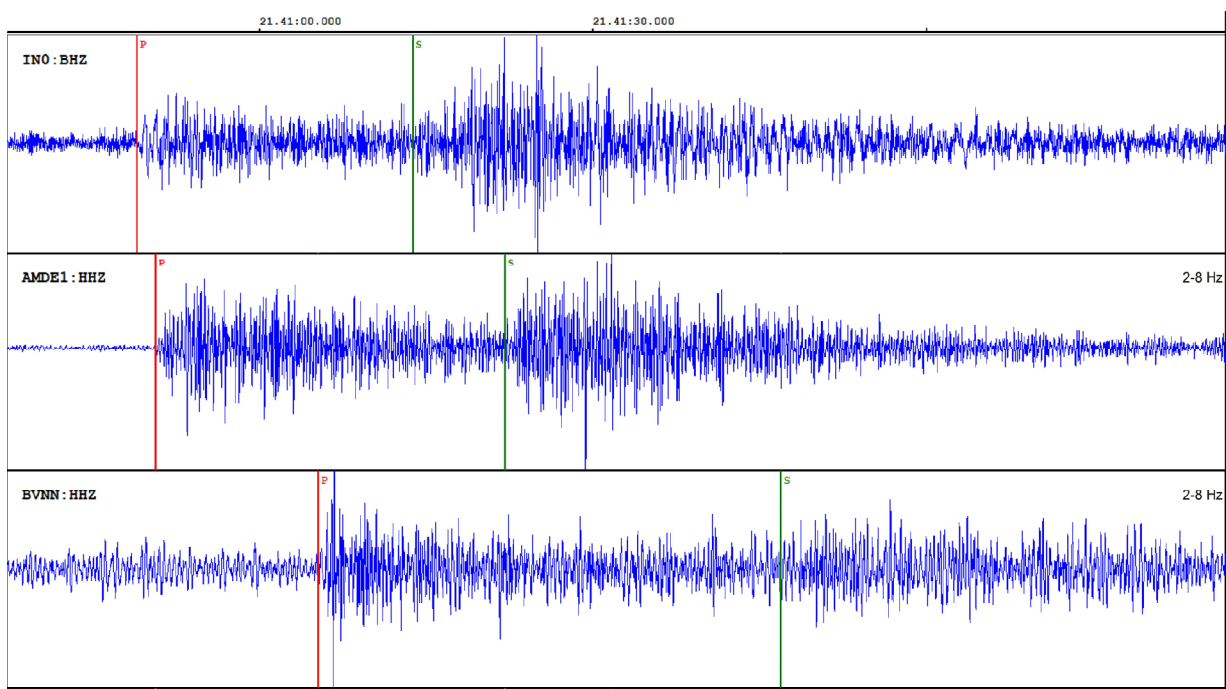


Рис. 3. Фрагменты записей вертикальной компоненты сейсмограмм сейсмостанций «Инта», «Амдерма», «Бованенково» ГТУ 22 июня 2023 г. на ш. «Воркутинская»

Fig. 3. Fragments of records of the vertical component of seismograms from the stations “Inta”, “Amderma”, “Bovanenkovo” rock burst on June 22, 2023 at mine “Vorkutinskaya”



Таблица 2. Определение глубины очага сейсмического события 1 августа 2023 г. по макросейсмическим данным
Table 2. Determination of the depth of the seismic source of the event on August 1, 2023 using macroseismic data

№	Зависимость Dependance	Глубина Н для магнитуды M_s , км Depth H for magnitude M_s , km	Глубина Н для магнитуды M_L , км Depth H for magnitude M_L , km
1	$I_0 = 1.5 * M - 2.43 * \lg H + 1.01$ (1)	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1
2	$I_0 = 2 * M - 2 * \lg H - 0.7$ (2)	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.2

тенсивность данного события, рассчитанная нами по 57 анкетам и 163 определениям категорий-сенсоров, составила $I_0 = 4.73 \pm 0.02$ по шкале ШСИ-2017. Такая высокая точность определения итоговой интенсивности обеспечена применением статистических подходов при использовании современной макросейсмической шкалы ШСИ-2017 на основе большого количества первичных макросейсмических данных.

Наличие макросейсмических данных позволило произвести оценку макросейсмической глубины (табл. 2) двумя способами: с помощью уравнения Н. В. Шебалина для условий Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири (Новый каталог, 1977) через интенсивность в эпицентре (1) и с использованием макросейсмической формулы В. Карника (2), полученной для Европы (Сейсмическое..., 1968).

$$I_0 = 1.5 * M - v * \lg H + c \quad (1)$$

$$I_0 = 2 * M - 2 * \lg H - 0.7 \quad (2)$$

При этом в уравнении Н. В. Шебалина нами использованы уточненные коэффициенты v и c , принятые в соответствии с работой Н. В. Петровой и др. (2020), где для условий Урала и Республики Коми впервые получены коэффициенты уравнений макросейсмического поля для близповерхностных очагов $H \leq 1$ км: $b = 1.5$, $v = 2.43$, $c = 1.01$.

Макросейсмическое уравнение использует магнитуду M_{LH} , которая примерно равна M_s . Согласно В. Gutenberg, С. Richter (1956), магнитуда по Рихтеру M_L и M_s связаны соотношением:

$$M_s = 1.27 * (M_L - 1) - 0.016 * M_L^2 \quad (3)$$

В соответствии с этим в табл. 2 приведены результаты расчета макросейсмической глубины как с использованием прямых оценок магнитуды M_s , так и пересчитанной из магнитуды M_L , которая имеет большую точность определения на региональных расстояниях.

Учитывая величину ошибок, глубины, полученные по разным формулам, близки и можно принять усредненное значение $H = 0.5 \pm 0.4$ км, что соответствует инструментальному определению и диапазону глубин горных выработок Воркутского угольного месторождения.

Сейсмическое событие 1 августа 2023 г.

Временная сейсмическая станция «Полярный Урал» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленная в рамках экспедиционных работ на тот момент на массиве Енганепэ, р. Левый Изъявож, первая зафиксировала

данное событие. Предварительные и оперативно рассчитанные параметры эпицентра были переданы по запросу в ГУ МЧС России по Республике Коми.

Событие также было зарегистрировано сейсмическими станциями Республики Коми, Архангельской области, Ямало-Ненецкого автономного округа и Пермского края. Позже расчет эпицентра сейсмического события производился по вступлениям сейсмических фаз Р- и S-волн региональных сейсмических станций: «Инта» (IN0), «Амдерма» (AMDE1), «Бованенково» (BVNN), «Добрянка» (PR2R). На рис. 4 приводятся волновые формы события 1 августа 2023 г.

Эпицентральные расстояния по 5 станциям составили от 40 (POLU) до 1070 км (PR2R). Расположение сейсмостанций относительно эпицентра показано на рис. 5. Азимутальное окружение — $26.8 - 339.9^\circ$, максимальная азимутальная тень GAP = 124° .

Определены следующие параметры рассматриваемого события: время в очаге $t_0 = 18:39:07$, координаты — $67.529N$, $64.001E$, глубина гипоцентра $h = 0$ км. Энергетический класс по Т. Г. Раутиан и локальная магнитуда составили $K_p = 9.0$, $M_L = 2.8/3$, $M_s = 2.35$ (табл. 1). Эллипс ошибок определения положения эпицентра: $R_{minor} = 3.9$ км, $R_{major} = 6.7$ км, $Az_{major} = 90^\circ$. Макросейсмические исследования показали, что инструментальная обработка оказалась довольно точной. Эпицентр события расположен в Воркуте, в шахтном поле шахты «Воркутинская» Воркутского угольного месторождения. В соответствии с классификацией, предложенной в работе А. Б. Макарова (2006), сейсмическое событие отнесено нами к категории горно-тектонических ударов.

Для события 1 августа 2023 г. также выполнено автоматическое определение параметров сейсмологическим центром NORSAR (Норвегия) по записям станций ARCESS Array, Spitsbergen Array и FINESSE Array. Согласно бюллетеню (NORSAR..., 1971), событие произошло в Заполярном районе Ненецкого автономного округа и имело следующие параметры: $t_0 = 18:39:19.0$, $68.07N$, $61.93E$, $M = 2.55/3$. Ошибка определения положения эпицентра составила более 100 км, что исключает правильную трактовку природы события.

Выводы

Техногенные сейсмические события на шахтах Печорского угольного бассейна не редкость (Носкова, Асминг, 2018; Носкова и др., 2018). В 2023 г. вблизи шахтных полей угольных шахт Воркутского углепромышленного района зарегистрировано 25 сейсмических событий, которые классифицируются нами как горные, горно-тектонические удары и, возможно, взрывы на угольном разрезе «Юнъягинский». Самым заметным было сейсмическое событие 1 августа 2023 г.,

имеющее макросейсмический эффект. Жители нескольких районов Воркуты почувствовали толчки, похожие на землетрясение. Инструментальный эпицентр события расположен в Воркуте, в шахтном поле шахты «Воркутинская». Сейсмическое событие классифицировано нами как горно-тектонический удар. Макросейсмическая интенсивность, рассчитанная в соответствии со шкалой ШСИ-2017 по 57 анкетам и 163 определениям категорий-сенсоров составила $I_0 = 4.73 \pm 0.02$. Рассчитанное значение макросейсмической глу-

бины очага составило $H = 0.5 \pm 0.4$ км, что соответствует инструментальному определению и диапазону глубин горных выработок Воркутского угольного месторождения.

Благодаря открытию сейсмической станции «Инта» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН появилась возможность регистрировать техногенную сейсмичность на территории Республики Коми (Носкова и др., 2023). Важное значение в обнаружении и лоцировании некоторых событий имела временная сейсмическая станция

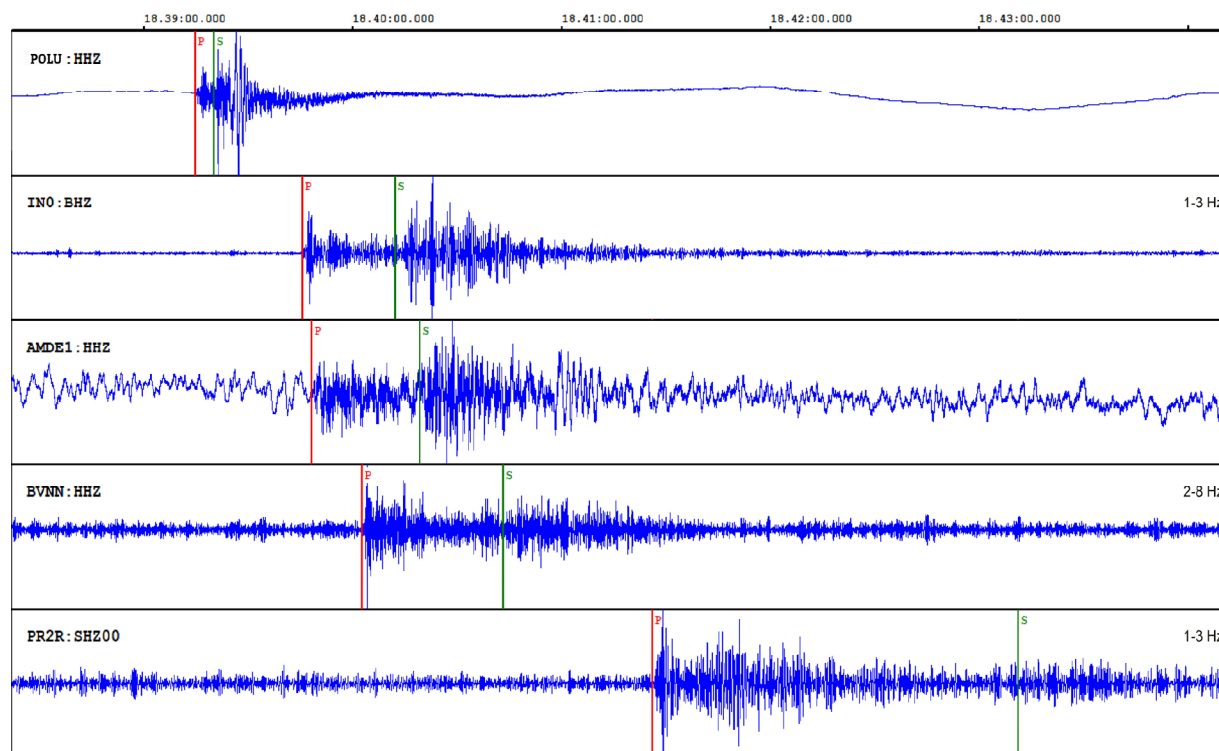


Рис. 4. Фрагменты записей вертикальной компоненты сейсмограмм станций «Полярный Урал», «Инта», «Амдерма», «Бованенково» и «Добрянка» сейсмического события 1 августа 2023 г.

Fig. 4. Fragments of records of the vertical component of seismograms from the Polar Ural, Inta, Amderma, Bovanenkovo and Dobryanka stations of the seismic event on August 1, 2023

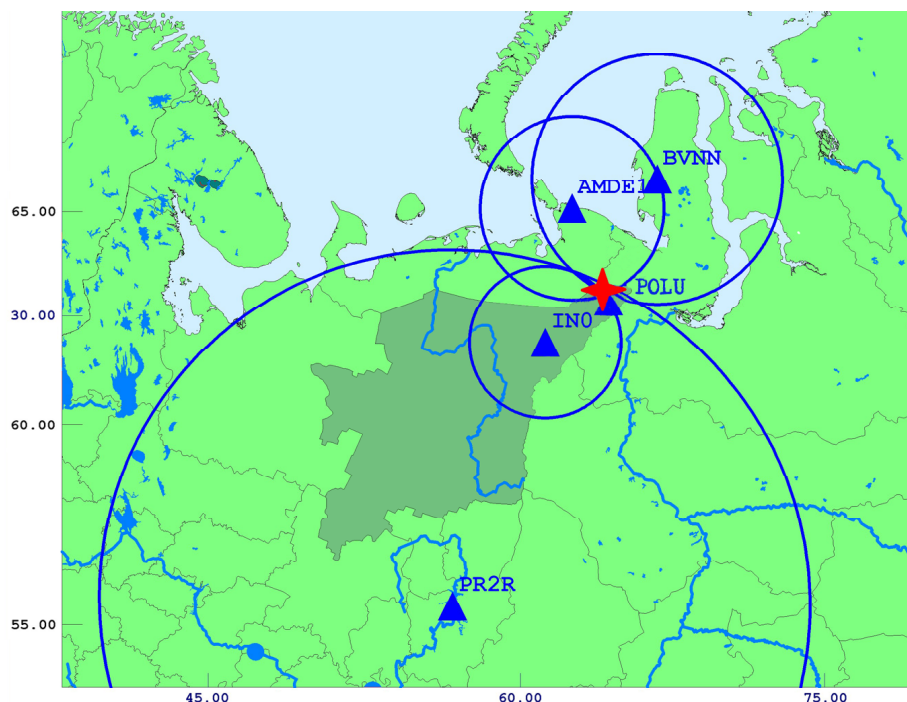


Рис. 5. Эпицентр сейсмического события 1 августа 2023 г. и станции, участвовавшие в его инструментальной обработке

Fig. 5. Epicenter of the seismic event on August 1, 2023 and stations participating in its instrumental processing



«Полярный Урал», работавшая летом на Полярном Урале. Следует также подчеркнуть существенный вклад станций «Амдерма» Архангельской сети и «Бованенково» ФИЦ ЕГС РАН в определении местоположения низко-магнитудных сейсмических событий на севере республики. Без использования данных этих станций расчёт параметров гипоцентров оказался бы проблематичным, а в некоторых случаях невозможным. Для распознавания природы происходящих событий, а также сейсмологического мониторинга Воркутинского горнодобывающего района республики необходима установка здесь сейсмических станций, особенно теперь, когда Воркута вошла в перечень опорных территорий Арктической зоны РФ (Определен..., 2023).

Авторы благодарят сотрудников ГУ МЧС России по Республике Коми за содействие в макросейсмическом опросе населения.

Исследования проводились в рамках Государственных заданий ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ГР № 122040600012-2), ФИЦКИА УрО РАН (ГР № 122011300389-8), ПФИЦ УрО РАН (ГР № 124020500029-1) и КоФ ФИЦ ЕГС РАН (ГР № 075-00682-24-00/06 с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира»).

Литература / References

- Асминг В. Э., Федоров А. В., Прокудина А. В. Программа для интерактивной обработки сейсмических и инфразвуковых записей LOS // Российский сейсмологический журнал. 2021. Т. 3. № 1. С. 27–40. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.02
- Asming, V. E., Fedorov, A. V., & Prokudina, A. V. LOS software for interactive seismic and infrasonic data processing. Russian Journal of Seismology, 2021, V. 3(1), pp. 27–40. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.02>
- Беляева Л. И., Гончаров А. И., Иванов Н. В., Куликов В. И. Возможные катастрофические геодинамические явления в Воркутинском угольном бассейне // Проблемы взаимодействующих геосфер. М.: ГЕОС, 2009. С. 155–162.
- Belyaeva L. I., Goncharov A. I., Ivanov N. V., and Kulikov V. I. Probable catastrophic events in the Vorkuta coal basin. Problems of Interactions between the Geospheres. Moscow: GEOS, 2009, pp. 155–163. (in Russian)
- В городе тряхнуло. Почувствовали? // Привет! Сейчас в Воркуте!: Группа в «ВК». Запись от 1 августа, 21:46. URL: https://vk.com/wall-84515934_387029
- The city shook. Did you feel it? Hello! Now in Vorkuta! VK group. Record from August 1, 21:46. (access date: 15.11.2023) (in Russian)
- 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>
- Verkholantsev F. G., Golubeva I. V., Dyagilev R. A., Zlobina T. V. Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2018–2019. Earthquakes in Northern Eurasia, 26(2018–2019), 2023, pp. 225–238. (in Russian)
- Внимание жителей... // Управление по делам ГО и ЧС г. Воркута: Группа «ВК». URL: https://vk.com/club_165339354 (дата обращения: 15.11.2023).
- Department for Civil Defense and Emergency Affairs of the city of Vorkuta. (access date: 15.11.2023). (in Russian)
- Габсатарова И. П. Внедрение в рутинную практику подразделений Геофизической службы РАН процедуры вычисления локальной магнитуды // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 49–53.
- Gabsatarova I. P. Introduction to procedures for calculating the local magnitude into the routine practice of departments of the Geophysical Survey of the RAS. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials from International seismological school. Obninsk, Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, 2006, pp. 49–53. (in Russian)
- Габсатарова И. П. Определение магнитуды M_L по поверхностным волнам региональных событий Кольского полуострова // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 107–113.
- Gabsatarova I. P. Determination of M_L magnitude from surface waves of regional events of the Kola Peninsula. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Proceedings of the Sixth International Seismological Workshop. Obninsk, GS RAS, 2011, pp. 107–113. (in Russian)
- ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. Введ. 2017-07-19. М.: Стандартинформ, 2017. 28 с.
- GOST R 57546-2017. Earthquakes Seismic Intensity Scale. Enter 2017-07-19. Moscow: Standardinform, 2017, 28 p. (in Russian)
- Дягилев Р. А., Верхоланцев Ф. Г., Варлашова Ю. В., Шулаков Д. Ю., Габсатарова И. П., Епифанский А. Г. Катав-Ивановское землетрясение 04.09.2018 г., $m_b = 5.4$ (Урал) // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 2. С. 7–20. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.01
- Dyagilev R. A., Verkholantsev F. G., Varlashova Yu. V., Shulakov D. Yu., Gabsatarova I. P., Epifanskiy A. G. Katav-Ivanovsk earthquake on 04.09.2018, $m_b = 5.4$ (Urals). Russian Journal of Seismology, V2, 2, pp. 7–20. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.01>
- Красилов С. А., Коломиец М. В., Акимов А. П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77–83.
- Krasilov S. A., Kolomiets M. V., Akimov A. P., Organization of digital seismic data processing using the WSG software package. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the Seismological Workshop. Obninsk, Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, 2006, pp. 77–83. (in Russian)
- Макаров А. Б. Практическая геомеханика: Пособие для горных инженеров. М.: Горная книга, 2006. 391 с.
- Makarov A. B. Practical geomechanics. Manual for mining engineers. Moscow: Gornaya Kniga, 2006, 391 p. (in Russian)



- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 536 с.
- New catalogue of strong earthquakes at the territory of USSR from ancient time till 1975. Moscow: Nauka, 1977, 536 p. (in Russian)
- Носкова Н. Н. Сейсмические события в Печорском угольном бассейне в 2016 году // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. С. 133—135.
- Noskova N. N. Seismic Events in the Pechora Coal Basin in 2016, Geodynamics, Lithology and Ore Genesis in the East European Platform and Folded Periphery. Proc. All-Russ. Conf. with Int. Participation. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2017, pp. 133—135. (in Russian)
- Носкова Н. Н. Техногенное событие 8 июня 2015 г. на шахте «Комсомольская» // Минерально-сырьевые ресурсы арктических территорий Республики Коми и Ненецкого автономного округа: Материалы науч.-практ. совещ. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. С. 55—56.
- Noskova N. N. Mining-induced seismic event on June 8, 2015 in the Komsomolskaya Mine, Mineral Resources of the Arctic Territories of the Komi Republic and the Nenets Autonomous District: Proc. Sci.-Pract. Conf., Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2016, pp. 55—56. (in Russian)
- Носкова Н. Н., Асминг В. Э. Уточнение параметров ряда сейсмических событий, произошедших в Воркутинском районе Республики Коми в 1971—2016 гг. // Геофизический журнал. 2018. Т. 19. № 4. С. 46—63. <https://doi.org/10.21455/gr2018.4-4>
- Noskova N. N., and Asming V. E. Update of parameters of some seismic events in the Vorkuta area within 1971—2016. Geophysical Journal, 2018, V. 19, No. 4, pp. 46—63. (in Russian)
- Носкова Н. Н., Асминг В. Э., Федоров А. В. Сейсмическое событие на шахте «Комсомольская» 25 января 2018 г. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 4. С. 21—27. DOI: 10.15372/FTPRPI20180403
- Noskova N. N., Asming V. E., Fedorov A. V. Seismic Event in the Komsomolskaya Mine on the 25th of January, 2018. J Min Sci, 54, 2018, pp. 550—555. <https://doi.org/10.1134/S1062739118043990>
- Носкова Н. Н., Конечная Я. В. Сейсмическое событие 2 апреля 2017 года вблизи г. Воркуты // Развитие систем сейсмологического и геофизического мониторинга природных и техногенных процессов на территории Северной Евразии: Материалы междунар. конф., посвящ. 50-летию открытия Центр. геофиз. обсерватории в г. Обнинске / Отв. редактор А. А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 59.
- Noskova N. N., Konechnaya Ya. V. Seismic event on April 2, 2017 near the city of Vorkuta. The development of seismological and geophysical monitoring systems for natural and technogenic processes on the territory of Northern Eurasia, dedicated to 50-th anniversary of opening Central Geophysical Observatory in Obninsk. Responsible editor A. A. Malovichko. Obninsk: FRC GS RAS, 2017, p. 59 (in Russian)
- Носкова Н. Н., Попов И. В., Машин Д. О. Новый пункт сейсмических наблюдений на территории Республики Коми // Геофизические исследования. 2023. Т. 24. № 3. С. 52—68. <https://doi.org/10.21455/gr2023.3-3>
- Noskova N. N., Popov I. V., Mashin D. O. New seismic observation point on the territory of the Komi Republic. Geophysical Research, 2023, V. 24, No. 3, pp. 52—68. (in Russian)
- Определен перечень опорных населенных пунктов Российской Арктики / Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. URL: http://minvr.gov.ru/press-center/news/opredelen_perechen_opornykh_naseleennykh_punktov_rossiyskoy_arktiki/ (дата обращения: 01.11.2023).
- A list of support settlements in the Russian Arctic has been determined. Ministry of the Russian Federation for the Development of the Far East and the Arctic. (access date: 01.11.2023) (in Russian)
- Петрова Н. В., Дягилев Р. А., Габсатарова И. П. Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47. № 4. С. 5—25. <https://doi.org/10.21455/VIS2020.4-1>
- Petrova N. V., Dyagilev R. A., Gabsatarova I. P. Features of seismic effect attenuation of the Russian platform and Ural earthquakes. Problems of Engineering Seismology, 2020, V. 47, No. 4, pp. 5—25. (in Russian)
- Подслушано Воркута: Группа в «ВК». Запись от 21 февраля 2023 г. в 19:05. URL: https://vk.com/wall-157116000_558690 (дата обращения: 15.11.2023).
- Overheard in Vorkuta: VK group. Record from February 21, 2023 at 19:05. (access date: 15.11.2023) (in Russian)
- Привет! Сейчас в Воркуте!: Группа в «ВК». Запись от 23 июня в 12:24. URL: https://vk.com/wall-84515934_383154 (дата обращения: 15.11.2023).
- Hello! Now in Vorkuta! VK group. Record from on June 23 at 12:24. (access date: 15.11.2023). (in Russian)
- Сейсмическое районирование СССР / Под ред. С. В. Медведева. М.: Наука, 1968. 476 с.
- Seismic zonation of the USSR. S. V. Medvedev (ed). Moscow: Nauka, 1968, 476 p. (in Russian)
- Хэлоу, Воркута: Группа в «ВК». Запись от 21 февраля 2023 г. в 19:05. URL: https://vk.com/wall-105007569_1093960 (дата обращения: 15.11.2023).
- Hello, Vorkuta. VK group from February 21, 2023 at 19:05. (access date: 15.11.2023). (in Russian)
- Gutenberg B. and Richter C. F. (1956). Magnitude and energy of earthquakes. Annali di Geofisica, 9, 1, 1-15.
- Kennett B. L. N., Engdahl E. R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times // Geophysical Journal International. 1995. No. 122. P. 108—124.
- NORSAR (1971). NORSAR Seismic Bulletins. URL: <https://doi.org/10.21348/b.0001> (дата обращения: 01.11.2023).
- Schueller W., Morozov I. B., and Smithson S. B. Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz // Bulletin of the Seismological Society of America, 1997. No. 87. pp. 414—426.