

МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В РАЙОНЕ ГОРОДА КОСТОМУКШИ

И.А. Зуева¹, М.Д. Лукина¹, Г.Н. Родионов¹

¹ Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН».
Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия, e-mail: ek92wa@mail.ru

Аннотация: Актуальность работы подтверждается регистрацией сейсмических событий станциями Карельской сейсмической сети в районе города Костомукши. Костомукшский рудный район – крупнейший промышленный центр Республики Карелии. В данном районе разработаны самые крупные карьеры. На протяжении уже двух десятилетий сейсмическими станциями регистрируются взрывы, вызванные работой Костомукшского горно-обогатительного комбината ОАО «Карельский окатыш», а также в нехарактерное для взрывов время на сейсмических записях зафиксированы сейсмические события, не связанные с производственной деятельностью. Идентификация таких событий является одним из главных направлений в работе сейсмической сети. Кратко представлена Карельская сейсмическая сеть, а также приведен расчет основных параметров сейсмических событий. Обработка данных осуществляется в программах ELRESS и WSG. В качестве примеров показаны записи промышленных взрывов, вызванных работой ГОКа, и сейсмические события природного происхождения. Для определения природы события использовался спектральный анализ. Метод позволяет установить характерные особенности событий различного происхождения. На записях взрывов выделяется высокоамплитудная низкочастотная поверхностная волна. Установлено, что в зависимости от расстояния до сейсмической станции промышленные взрывы регистрируются на частотах от 9 до 18 Гц. Сейсмические события природного происхождения имеют диапазон частот от 5 до 18 Гц.

Ключевые слова: сейсмическая сеть, сейсмостанция, промышленный взрыв, землетрясение, эпицентр, время в очаге, магнитуда, идентификация.

Благодарность: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-10002, <https://rscf.ru/project/23-27-10002/>, Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (соглашение № 16-Р23 от 25.04.2023).

Для цитирования: Зуева И. А., Лукина М. Д., Родионов Г. Н. Мониторинг сейсмических событий в районе города Костомукши // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 4. – С. 121–134. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_121.

Monitoring of seismic events in neighborhood of Kostomuksha city

I.A. Zueva¹, M.D. Lukina¹, G.N. Rodionov¹

¹ Institute of Geology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia, e-mail: ek92wa@mail.ru

Abstract: The study relevance is confirmed by recording of seismic events by stations of Karelia seismic network in neighborhood of Kostomuksha town. The Kostomuksha ore province is a large industrial cluster in the Republic of Karelia. The largest open pit mines operate in

this region. For two decades, seismic stations record explosions induced by operation of the Karelskiy Okatysh Plant, as well as seismic events which take place at untypical time for the explosions and are unrelated with production activities. Identification of such events is one of the major objectives in operation of the seismic network. A brief description of Karelia seismic network is given, and the calculation of the basic parameters of seismic events is presented. The data processing uses programs ELRESS and WSG. The records of explosions induced by operation of the Plant and natural seismic events are described as an example. The origin of the events is determined using the spectral analysis. This method allows finding distinguishing features of events of different origin. The records contain a distinct high-amplitude low-frequency surface wave. It is found that, depending on the distance to a seismic station, industrial explosions are recorded at the frequencies from 9 to 18 Hz. Natural seismic events have a frequency range from 5 to 18 Hz.

Key words: seismic network, seismic station, industrial explosion, earthquake, epicenter, origin time, magnitude, identification.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 23-27-10002, <https://rscf.ru/project/23-27-10002/>, and by the Venture Capital Fund of the Republic of Karelia, Agreement No. 16-P23 от 25.04.2023.

For citation: Zueva I. A., Lukina M. D., Rodionov G. N. Monitoring of seismic events in neighborhood of Kostomuksha city. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(4):121-134. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_121.

Введение

Сейсмический мониторинг необходим для обеспечения безопасности городов, жилых построек и людей. Его проводят не только в сейсмоактивных регионах, но и в регионах со слабой сейсмичностью [1 – 3]. Для этого по всему миру устанавливают специальную аппаратуру (сейсмоприемники), отслеживающую колебания земной коры [4]. На территориях, которые считаются слабосейсмичными, а также асейсмичными, могут происходить землетрясения с магнитудами 4 и выше. Например, Калининградское землетрясение, которое произошло 21 сентября 2004 г. с магнитудой 5 [5]. В связи с ростом мегаполисов и промышленных объектов наблюдается рост техногенных землетрясений [6 – 8]. При распознавании природы таких событий важно дать правильную оценку, особенно когда землетрясения происходят около карьеров [9, 10].

В данной работе представлены результаты мониторинга сейсмичности для района г. Костомукши.

Район г. Костомукши занимает северо-западную часть Карелии (62,0° – 65,5° с.ш., 28,3° – 34,0° в.д.), расположен в пределах Карельского кратона [11]. На данной территории открыто железорудное месторождение, и с 1982 г. комбинат ОАО «Карельский окатыш» ведет работы по производству железорудного сырья. Добыча полезных ископаемых осуществляется открытым способом. Используется технология короткозамедленного взрывания, для того чтобы снизить сейсмическое воздействие массовых взрывов [12 – 14]. Предприятие ОАО «Карельский окатыш» включает в себя шесть карьеров: Центральный, Южный, Северный (Северный-2, Северный-3), Корпанга (Западный, Восточный). На сегодняшний день используемая масса ВВ составляет от 100 до 1200 т.

По данным карты ОСР-97, Костомукшский рудный район относится к асейсмичным территориям [15]. Землетрясения 5–7 баллов здесь могут происходить с периодичностью в 5000 лет.

В 2006 г. в г. Костомукше установлена сейсмическая станция KOST, а в 2014 г., в 8 км от города — KOS6. Основной задачей станций является регистрация слабых событий в районе города и на территории Карелии. Наблюдения за взрывной сейсмичностью на протяжении почти двух десятков лет позволили нам накопить большое количество материала. По данным Карельской сейсмической сети — это один из сейсмически активных районов. Каждую неделю сейсмические станции регистрируют на данной территории от 1 до 3 сейсмических событий с локальными магнитудами, не превышающими значение 2,5. Большое количество событий регистрируется в рабочее время, поэтому мы их классифицируем как промышленные взрывы. В процессе обработки сейсмических данных зафиксированы сейсмические события, не связанные с производственной деятельностью. Распознавание природы таких событий является одним из главных направлений в работе сейсмических сетей [16–18], а также целью данного исследования.

В представленной работе использованы экспериментальные данные, полученные при помощи Карельской сейсмической сети в 2015–2024 гг., а также сведения о сейсмичности района г. Костомукши по данным каталогов Финской сейсмической сети.

Методика

Сейсмический мониторинг на территории Карелии проводится с помощью сейсмических станций, установленных в Прионежском, Питкярантском, Лоухском районах, а также в районе города Костомукши. Станции оснащены ши-

рокополосными велосиметрами CMG-3ESP и CMG-6TD. Подробная информация о Карельской сейсмической сети и ее развитии представлена в работах [19, 20], основные характеристики сейсмических станций приведены в табл. 1, 2.

Обработка и анализ сейсмических событий осуществляется при помощи программ ELRESS и WSG [21, 22]. Программы позволяют рассчитывать их основные параметры (время в очаге, координаты эпицентра, локальную магнитуду, погрешности), которые заносятся в сводный сейсмический каталог Карелии.

При изучении отличительных особенностей сейсмических событий, зарегистрированных в районе Костомукши, использовался визуальный анализ волновых форм, фильтрация записей полосовым фильтром в диапазоне от 0,5–20 Гц и спектральный анализ.

При наличии всего лишь четырех пунктов наблюдений за сейсмичностью в Карелии спектральный анализ является самым информативным методом при идентификации слабых сейсмических событий на территории Костомукшского ГОКа. Очаги регистрируемых промышленных взрывов располагаются на поверхности земли, землетрясений — на небольшой глубине. Для расчета глубины таких сейсмических событий требуется большое количество станций, поэтому идентифицировать события, например, по глубинному признаку не совсем эффективно. В программе WSG в специальном окне «Процессор обработки сигналов (ПОС)» к отдельным фрагментам записей применено Фурье-преобразование для расчета спектра и далее сделана оценка частоты излучения волн различных типов.

Результаты

На протяжении многих лет взрывы на территории Костомукшского ГОК про-

Таблица 1

Координаты и тип датчиков сейсмических станций Карелии
Coordinates and type of sensors of seismic stations in Karelia

Тип сейсмометра	Станция (Код)	Координаты
Guralp CMG-6TD	KOS6	64°35'31,3" с.ш. 30°24'59,5" в.д.
Guralp CMG-6TD	PITK	61°40'13,7" с.ш. 31°15'57,6" в.д.
Guralp CMG-3ESP	PTRZ	61°50'31" с.ш. 34°22'47" в.д.
Guralp CMG-6TD	PAAN	65°45'39,1" с.ш. 31°04'11,8" в.д.

Таблица 2

Характеристики велосиметров CMG-3ESP и CMG-6TD
Characteristics of velocimeters CMG-3ESP and CMG-6TD

Характеристика	CMG-6TD	CMG-3ESP
Диапазон рабочих частот, Гц	0,033 – 50	0,033 – 20,6
Диапазон рабочих температур, °С	от –20 до +65	от –10 до 40
Чувствительность, В/м/с	2000	2000

изводят в дневное время, не позднее 17 ч по московскому времени.

По результатам наблюдений с 2015 г. по 2024 г. установлено, что чаще всего – в период с 13 до 14 ч или с 10 до 11 ч по UTC (табл. 3). Так, например, 07.04.2020 взрыв был произведен в 10:10:05.6 (UTC), а 12.04.2022 – в 10:56:10 (UTC).

Согласно содержащейся информации в ежегодных сейсмических каталогах, так бывает не всегда. 19.11.2020 взрыв произошел в 12:26:16.5, 26.02.2021 –

в 13:11:33.79, а 30.11.2023 – в 13:38:24.7 (время в очаге – UTC).

Взрывы на карьерах Костомукшского ГОК производят в рабочие дни недели (рис. 1). Как показывает диаграмма, наибольшее количество взрывов в 2023 г. было произведено во вторник, среду, четверг и пятницу.

В процессе обработки сейсмических данных, полученных станциями Карельской сейсмической сети, отмечено, что на сейсмических записях можно

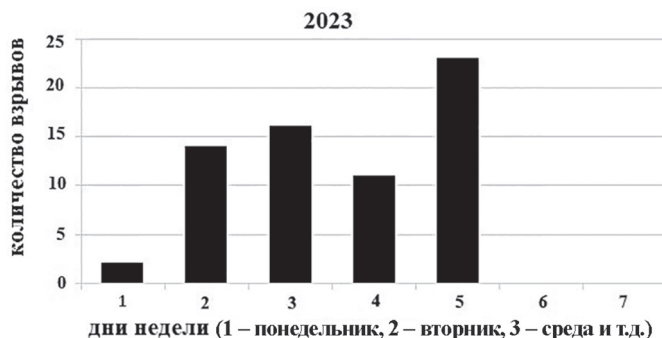


Рис. 1. Диаграмма распределения количества произведенных взрывов в карьерах Костомукшского ГОК по дням недели в 2023 г.

Fig. 1. Distribution diagram of the number of blasts produced in the quarries of the Kostomuksha Mining and Processing Plant by days of the week in 2023

Таблица 3

Примеры сейсмических событий, зарегистрированных в районе города Костомукши
Examples of seismic events recorded in the area of the city of Kostomuksha

Промышленные взрывы (одиночные сейсмические события)				
Дата события	Время в очаге, t_0 (UTC)	Широта, φ	Долгота, λ	Магнитуда, ML
03.02.2015	10:00:17	64,7	30,7	1,8
01.01.2016	09:59:39,9	64,681	30,424	1,8
07.02.2017	10:53:08	64,67	30,658	1,6
14.03.2017	10:00:13	64,668	30,743	2
15.02.2018	10:00:3,4	64,72	30,78	1,6
27.02.2018	10:59:33,4	64,73	30,68	1,5
22.03.2019	10:20:26,6	64,669	30,61	1,6
07.04.2020	10:10:05,6	64,809	30,813	2,2
10.12.2021	11:10:1,13	64,662	30,873	2,1
12.04.2022	10:56:10,0	64,769	30,808	2,1
10.01.2023	10:07:34,6	64,754	30,72	2
07.05.2024	10:05:26,2	64,684	30,664	1,8
Промышленные взрывы (парные сейсмические события)				
05.02.2021	10:00:55,47	64,762	30,752	2,5
05.02.2021	10:01:33,99	64,793	30,671	1,6
16.02.2021	10:00:37,1	64,731	30,68	1,7
16.02.2021	10:03:40,5	64,758	30,607	1
14.03.2023	10:00:07,2	64,78	30,80	2
14.03.2023	10:14:56,8	64,69	30,74	1,6
Наведенная сейсмичность (землетрясения)				
04.08.2018	00:14:07,5	64,682	30,623	1,4
25.11.2023	08:18:37,9	64,66	30,66	1,4
01.12.2023	00:45:27,8	64,66	30,6	1,3

увидеть не только одиночные, но и парные взрывы (табл. 3). Разница во времени между парными взрывами может составлять от десятков секунд до нескольких десятков минут.

На рис. 2 представлена сейсмическая запись промышленного взрыва, которая была получена по данным станции KOS6.

Взрыв зарегистрирован 09.02.2021 в 10:00:11.22 (UTC), координаты эпицентра: широта $\varphi = 64,664^\circ$, долгота $\lambda =$

$= 30,519^\circ$, магнитуда ML = 1,7. Для выделения сигнала использовался полосовой фильтр 2 – 20 Гц.

Сейсмическое событие 09.02.2021 произошло во вторник, в установленное время для промышленных взрывов Костомукшского ГОК и было классифицировано как взрыв.

На рис. 3 показаны парные взрывы, зарегистрированные сейсмической станцией KOS6 в пятницу 05.02.2021 с разницей во времени 38 с.

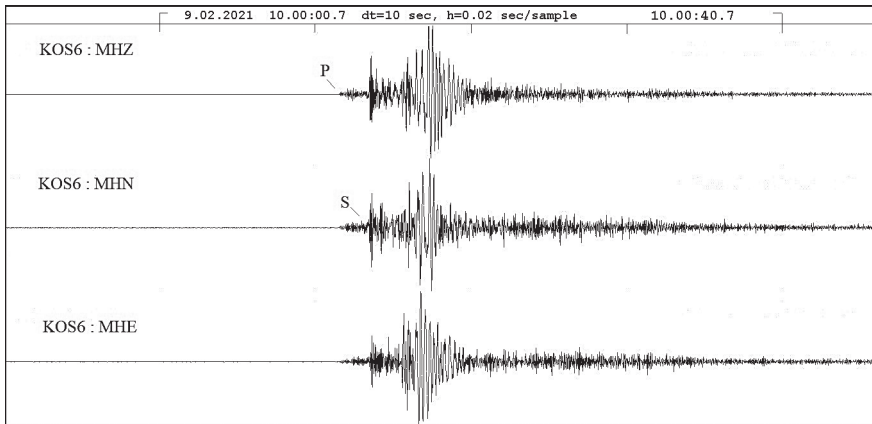


Рис. 2. Сейсмическая запись промышленного взрыва в районе г. Костомукши 09.02.2021 (волновые формы)

Fig. 2. Seismic recording of an industrial explosion in the area of Kostomuksha 09.02.2021 (wave forms)

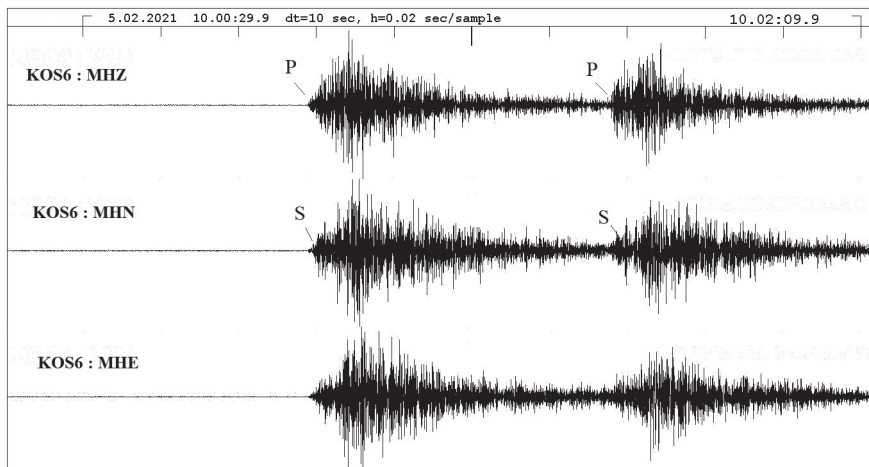


Рис. 3. Сейсмическая запись парных промышленных взрывов в районе г. Костомукши 05.02.2021 (волновые формы)

Fig. 3. Seismic recording of paired industrial explosions in the area of Kostomuksha 05.02.2021 (wave forms)

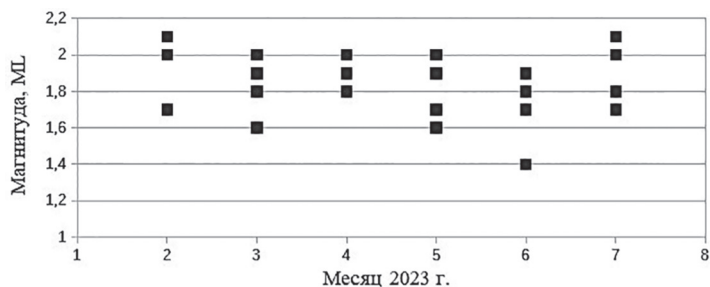


Рис. 4. Распределение магнитуды зарегистрированных сейсмических событий в районе г. Костомукши за первое полугодие 2023 г.

Fig. 4. Magnitude distribution of registered seismic events in the area of Kostomuksha for the first half of 2023

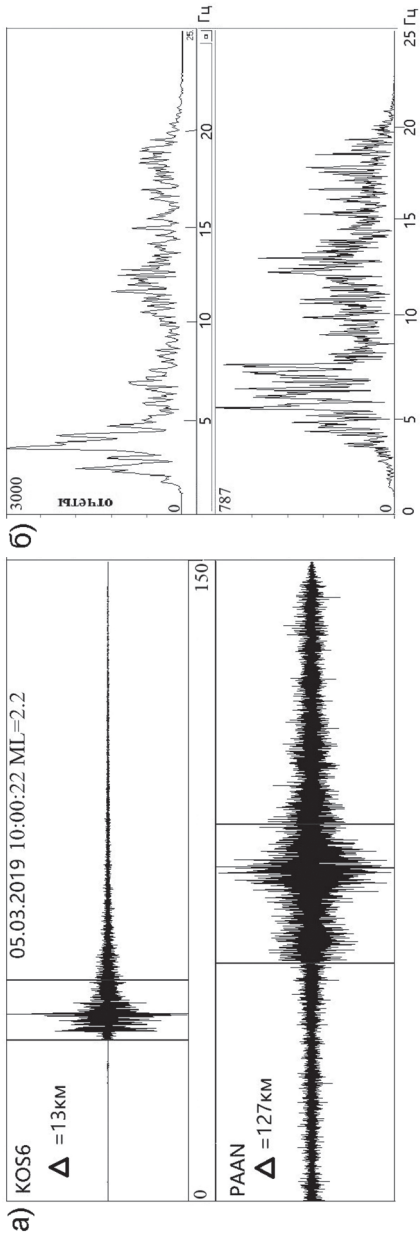


Рис. 5. Волновые формы (а), спектральный состав (б) промышленного взрыва, зарегистрированного в районе г. Костомукши 05.03.2019 (Z-канал)
 Fig. 5. Waveforms (a), spectral composition (b) of an industrial explosion recorded in the area of Kostomuksha 05.03.2019 (Z-channel)

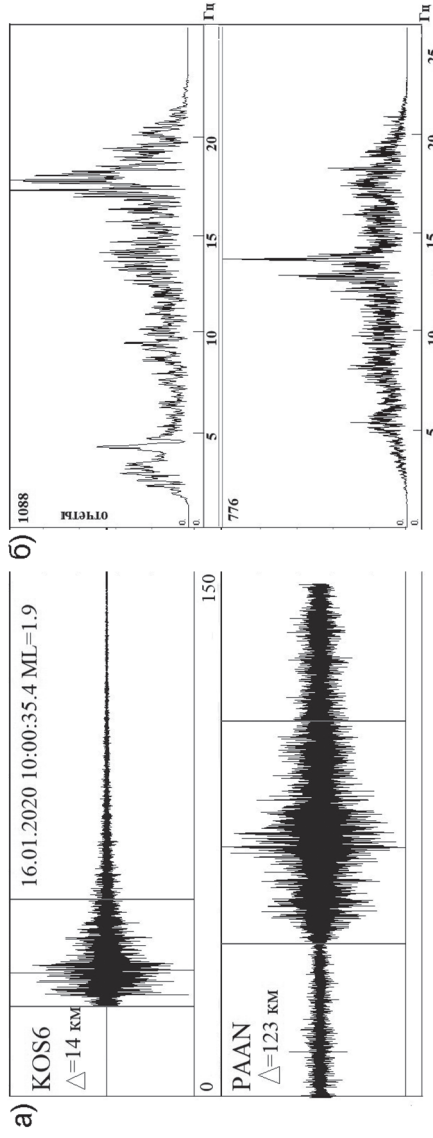


Рис. 6. Волновые формы (а), спектральный состав (б) промышленного взрыва, зарегистрированного в районе г. Костомукши 16.01.2020 (Z-канал)
 Fig. 6. Waveforms (a), spectral composition (b) of an industrial explosion recorded in the area of Kostomuksha 16.01.2020 (Z-channel)

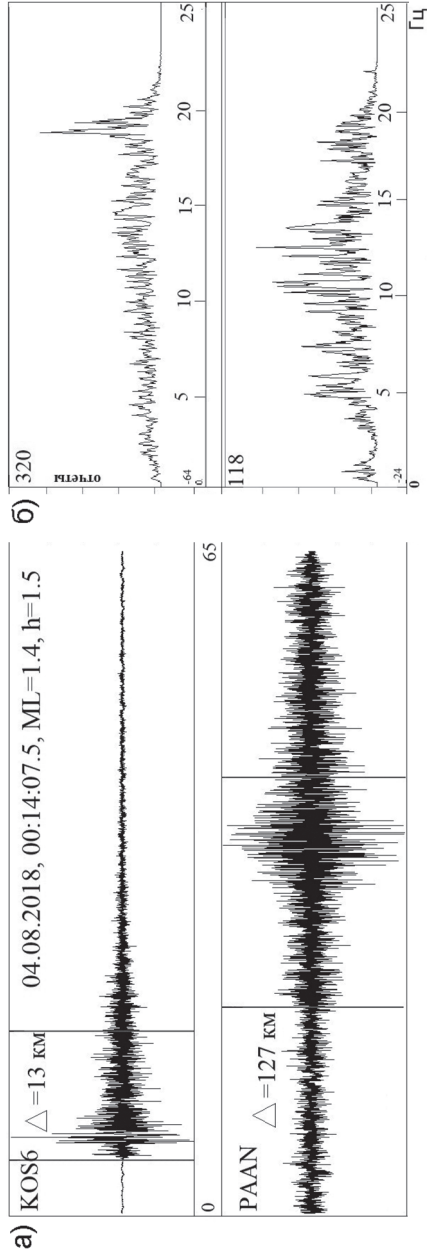


Рис. 7. Волновые формы (а), спектральный состав (б) землетрясения 04.08.2018 в районе г. Костомукши
 Fig. 7. Waveforms (a), spectral composition (b) of the earthquake of August 4, 2018 in the area of Kostomuksha

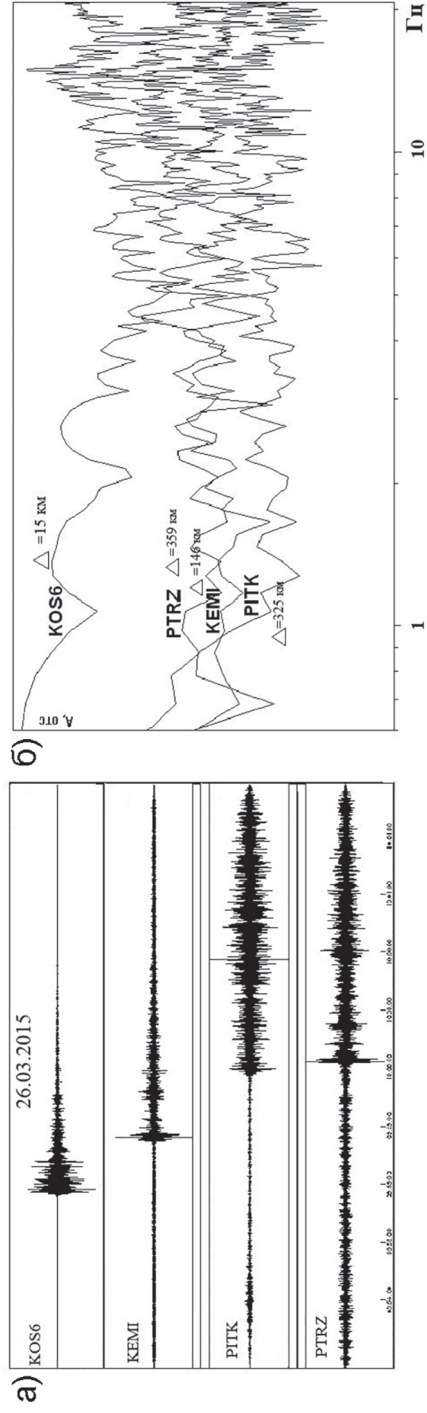


Рис. 8. Сравнение спектров промышленного взрыва на азимутально-распределенных станциях
 Fig. 8. Comparison of industrial explosion spectra at azimuthally distributed stations

По данным Карельской сейсмической сети, магнитуды регистрируемых сейсмических событий изменяются в интервале 1 – 2,5. На рис. 4 показано распределение магнитуды зарегистрированных сейсмических событий за первое полугодие 2023 г. Январь не учитывался в связи с длительными новогодними праздниками.

Далее рассмотрим амплитудные спектры сейсмических событий, зарегистрированных в районе карьеров Костомукшского ГОК, для того чтобы выделить их особенности.

Промышленные взрывы характеризуются высокочастотным составом объемных волн — от 9 до 18 Гц, в зависимости от расположения станции относительно места взрыва. На сейсмических записях станции KOS6 (ближайшая к месту взрыва) на низких частотах, менее 5 Гц, наблюдается высокоамплитудная поверхностная волна (рис. 5, 6).

По данным станций Карельской сейсмической сети, в районе г. Костомукши 4 августа 2018 г. было зарегистрировано сейсмическое событие, которое

произошло в 0:14 ч (UTC), магнитудой $M_L = 1,5$, на глубине $h = 1,5$ км. Координаты события: $64,68^\circ$ с.ш., $30,623^\circ$ в.д. Оно произошло в нехарактерное для промышленных взрывов время и было отнесено к землетрясениям. Землетрясение, представленное на рис. 7, характеризуется высокочастотным составом [23]. Максимальные амплитуды, по записям станций KOS6 и PAAN, наблюдаются на частотах от 5 до 18 Гц, отсутствует высокоамплитудная низкочастотная поверхностная волна (рис. 7).

Подобное событие, по данным станции PAAN (Лоухский район) и Финской сейсмической сети, было зарегистрировано 1 декабря 2023 г. (пятница), магнитудой 1,3. Время в очаге — 00:45:27.8 (UTC). 25 ноября 2023 (суббота) в 8:18:37 (UTC) в районе г. Костомукши произошло еще одно событие. Сейсмические события определены как землетрясения, так как взрывные работы в данное время не проводились (см. табл. 3).

На рис. 8, 9 в логарифмическом масштабе изображены амплитудные спектры промышленного взрыва и землетря-

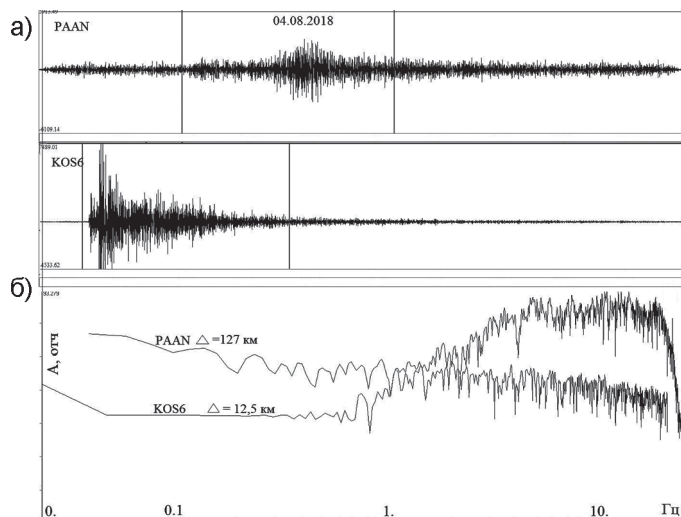


Рис. 9. Сравнение спектров сейсмического события природного происхождения на азимутально-распределенных станциях

Fig. 9. Comparison of spectra of a seismic event of natural origin at azimuthally distributed stations

сения соответственно. Согласно методу идентификации, предложенному в работе [24], сделан сравнительный анализ спектров сейсмических событий на азимутально-распределенных станциях.

Анализ спектров событий показывает, что спектры взрыва на записях разных сейсмических станций имеют схожую сложную форму на частотах от 10 Гц и максимумы на одинаковых диапазонах частот. Такой согласованности не наблюдается на моделях сейсмического события природного происхождения, что связано с различием в распространении волнового поля [20].

Обсуждение результатов

На рис. 10, полученном в программе QGIS, схематично изображено распределение результатов наблюдений. Сейс-

мические события, которые идентифицированы как промышленные взрывы, располагаются по всей территории, где разработаны карьеры. Эпицентры природных сейсмических событий (землетрясений) расположились в районе карьера «Центральный», что говорит об их техногенном происхождении. Два землетрясения произошли на линии тектонического нарушения.

Выводы

Костомукшский рудный район характеризуется слабой сейсмичностью. Сейсмические станции Карелии, а также соседних регионов регистрируют на данной территории сейсмические события с невысокими магнитудами 1–2,5. Большую часть из них составляют промышленные взрывы. Масса используемого

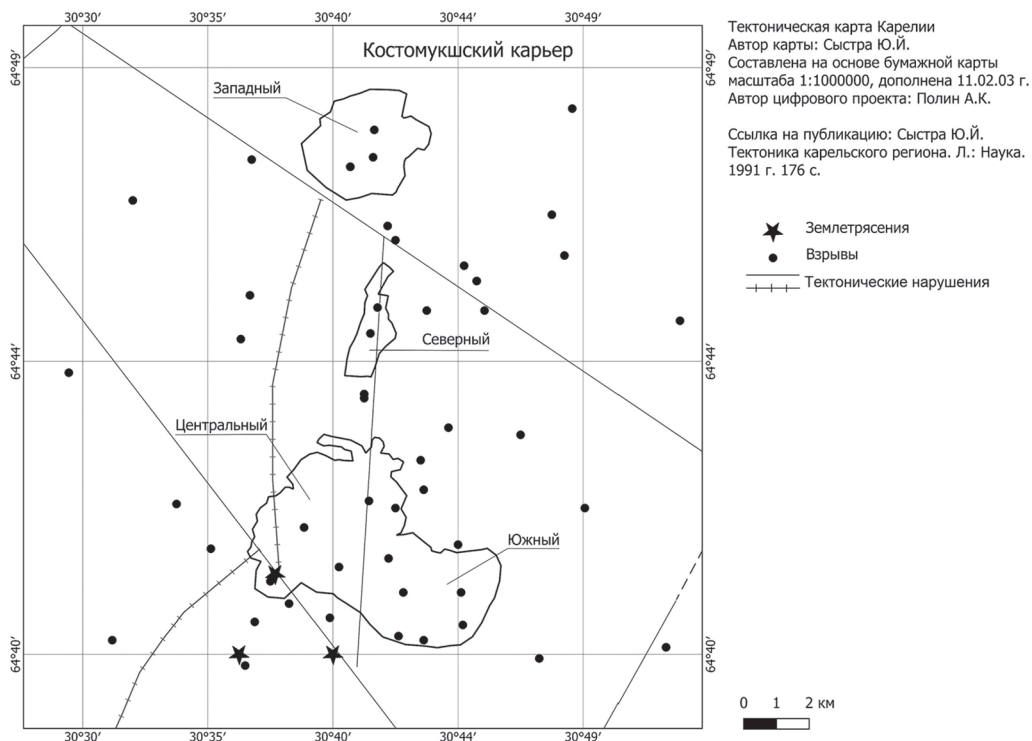


Рис. 10. Схема распределения эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе г. Костомукши

Fig. 10. Scheme of distribution of epicenters of seismic events recorded in the area of Kostomuksha

взрывчатого вещества изменяется в пределах от 100 до 1200 т.

В работе выделен ряд признаков, позволяющих на фоне многочисленных промышленных взрывов определять события природного происхождения. Прежде всего, это временной параметр. На протяжении уже многих лет в карьерах Костомукшского ГОКа производят от 1 до 3 взрывов в неделю, практически в одно и то же время, в 13–14 ч по московскому времени. Сейсмические наблюдения показывают, что при возникновении производственной необходимости время проведения взрывов переносилось на более поздние часы, но не позже 17 ч. Зафиксированы дни проведения массовых взрывов. В основном это вторник, среда, четверг, пятница. В один день могут производить от одного до двух взрывов в течение рабочего дня.

Как показывают результаты наблюдений, были зарегистрированы сейсмические события в ночное время, а также в утренние часы субботы. Взрывы в данные часы не производились, что позволило нам отнести зарегистрированные сейсмические события к природным землетрясениям и определить их характерные особенности. События природного происхождения отличаются от взрывов частотным составом и отсутствием

высокоамплитудной низкочастотной поверхностной волны. Магнитуды зарегистрированных событий имели значения 1,3 и 1,4. Эпицентры выделенных землетрясений расположились в районе карьера «Центральный», что указывает на их техногенное происхождение.

Большое количество проводимых взрывов при разработке месторождений в районе г. Костомукши делает взрывную сейсмичность серьезной проблемой для населения и различных сооружений. Частые взрывы, как показывают результаты исследований, вызывают сейсмические события — землетрясения техногенного характера. Это означает, что необходимо проводить непрерывный мониторинг техногенного воздействия промышленных взрывов и сопоставлять с ответной реакцией недр.

Результаты, полученные при проведении исследования, будут применяться при идентификации слабых землетрясений и промышленных взрывов в районе г. Костомукши, а также составлении сейсмического каталога.

Дальнейшие аналогичные исследования будут проводиться и для других районов Карелии, где разрабатываются карьеры для добычи полезных ископаемых с использованием массовых взрывов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маловичко А. А., Коломиец М. В., Рузайкин А. И. Сейсмологический мониторинг России в 2022 году // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2023. — № 5. — С. 40–45. DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-5-40-45.
2. Gorbunova E. M., Petukhova S. M., Ivanov A. G. Seismic and hydrogeological monitoring of large-scale blast parameters: A case-study of Lebedinsky open pit mine, Kursk Magnetic Anomaly // Journal of Mining Science. 2023, vol. 59, no. 4. pp. 548–559. DOI: 10.1134/s1062739123040038.
3. Veikkolainen T., Kortstrom J., Vuorinen T., Salmenperö I., Luhta T., Mantyniemi P., Hillers G., Tiira T. The Finnish national seismic network: Toward fully automated analysis of low-magnitude seismic events // Seismological Research Letters. 2021, vol. 92, no. 3, pp. 1581–1591. DOI: 10.1785/0220200352.
4. Гоев А. Г., Санина И. А., Константиновская Н. Л., Овчинникова О. В. Возможности изучения слабой сейсмичности в центральной части Восточно-Европейской платформы с помощью новой широкополосной сейсмической станции «Александровка» // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2021. — № 6. — С. 142–149. DOI: 10.33623/0579-9406-2021-6-142-149.

5. Апликаев Ф. Ф., Алешин А. С., Никонов А. А., Погребченко В. В., Эртелева О. О., Ассиновская Б. А. Макросейсмические проявления Калининградского землетрясения 2004 г. // Геориск. — 2019. — Т. 13. — № 3. — С. 40–59.

6. Kishkina S. B., Kocharyan G. G., Budkov A. M., Ivanchenko G. N., Loktev D. N. Impact of open pit mining in Gorlovka coal basin on Large Earthquakes // Journal of Mining Science. 2021, vol. 57, no. 4, pp. 546–556. DOI: 10.1134/S1062739121040025.

7. Emanov A. A., Emanov A. F., Shevkunova E. V., Fateev A. V., Rebetsky Yu. L. Volumetric structure of the Bachat Earthquake (Kuzbass) aftershock area and stress state of rock mass under open-pit mine // Russian Geology and Geophysics. 2023, vol. 64, no. 12, pp. 1451–1458. DOI: 10.2113/rgg20234624.

8. Mikhailova N. N., Sokolova I. N., Poleshko N. N. Historical and modern seismicity of the Semipalatinsk test site // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2020, vol. 56, pp. 869–886. DOI: 10.1134/S0001433820080058.

9. Kim S., Lee K., You K. Seismic discrimination between earthquakes and explosions using support vector machine // Sensors. 2020, vol. 20, no. 7, article 1879. DOI: 10.3390/s20071879.

10. Wang R., Schmandt B., Kiser E. Seismic discrimination of controlled explosions and earthquakes near mount St. Helens using P/S ratios // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2020, vol. 125, no. 10. DOI: 10.1029/2020JB020338.

11. Горьковец В. Я., Шаров Н. В. Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минералогия). — Петрозаводск: КНЦ РАН, 2015. — 322 с.

12. Цейтлин Я. И., Ершов И. А. Снижение сейсмического эффекта взрыва при короткозамедленном взрывании // Труды Института физики Земли АН СССР. — 1962. — № 21 (188). — С. 103–114.

13. Костюченко В. Н., Кондратьев С. В., Кочарян Г. Г. Сейсмический эффект при групповых взрывах // Взрывное дело. — 1983. — № 85/42. — С. 18–31.

14. Совмен В. К., Кутузов Б. Н., Марьясов А. Л., Эквист Б. В., Токаренко А. В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. — М.: Изд-во «Горная книга», 2012. — 228 с.

15. Уломов В. И., Шумилина Л. С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации. ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка. — М.: ИФЗ РАН, 1999. — 57 с.

16. Kiszely M., Sule B., Monus P., Bondar I. Discrimination between local earthquakes and quarry blasts in the Vertes Mountains, Hungary // Acta Geodaetica et Geophysica. 2021, no. 56, pp. 523–537. DOI: 10.1007/s40328-021-00346-4.

17. Saadalla H., Abdelhafies H. E., Hayashida T. Discrimination between earthquakes, and quarry blasts in the Aswan region, southern Egypt, using P-wave source spectra // Journal of Seismology. 2023, no. 27, pp. 279–289. DOI: 10.1007/s10950-023-10143-x.

18. Добрынина А. А., Герман В. И., Саньков В. А. Распознавание промышленных взрывов и слабых природных землетрясений // Уголь. — 2022. — № S12. — С. 23–29. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-23-29.


19. Зуева И. А., Лебедев А. А. Характерные черты сейсмических записей промышленных взрывов на Костомукшском железорудном месторождении по данным станций Карельской сети // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. — 2017. — № 2. — С. 133–141.

20. Зуева И. А. Идентификация сейсмических событий на территории Карелии: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — М.: ИДГ РАН, 2023. — 24 с.

21. Асминг В. Э. Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локализации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-Западного региона: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — М.: ИДГ РАН, 2004. — 24 с.

22. 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.

23. Зуева И. А., Лукина М. Д. Сейсмичность в районе города Костомукши по данным Карельской сейсмической сети / III Юдахинские чтения: Сборник научных материалов. — Архангельск: КИРА, 2024. — С. 421–423.

24. Gitterman Y., Pinsky V., Shapira A. Spectral classification methods in monitoring small local events by the Israel seismic network // *Journal of Seismology*. 1998, vol. 2, pp. 237 – 256. DOI: 10.1023/A:1009738721893. 

REFERENCES

1. Malovichko A. A., Kolomiyets M. V., Ruzaykin A. I. Seismological Monitoring of Russia in 2022. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2023, no. 5, pp. 40 – 45. [In Russ]. DOI: 10.59599/MSU0579-9406-4-2023-63-5-40-45.
2. Gorbunova E. M., Petukhova S. M., Ivanov A. G. Seismic and hydrogeological monitoring of large-scale blast parameters: A case-study of Lebedinsky open pit mine, Kursk Magnetic Anomaly. *Journal of Mining Science*. 2023, vol. 59, no. 4, pp. 548 – 559. DOI: 10.1134/s1062739123040038.
3. Veikkolainen T., Kortstrom J., Vuorinen T., Salmenpero I., Luhta T., Mantyniemi P., Hillers G., Tiira T. The Finnish national seismic network: Toward fully automated analysis of low-magnitude seismic events. *Seismological Research Letters*. 2021, vol. 92, no. 3, pp. 1581 – 1591. DOI: 10.1785/0220200352.
4. Goev A. G., Sanina I. A., Konstantinovskaya N. L., Ovchinnikova O. V. Opportunities for studying weak seismicity in the central part of the East European craton using the «Aleksandrovka» broadband seismic station. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2021, no. 6, pp. 142 – 149. [In Russ]. DOI: 10.33623/0579-9406-2021-6-142-149.
5. Aplicaev F. F., Aleshin A. S., Nikonov A. A., Pogrebchenko V. V., Erteleva O. O., Asinovskaya B. A. Macroseismic manifestations of the 2004 Kaliningrad earthquake. *Georisk*. 2019, vol. 13, no. 3, pp. 40 – 59. [In Russ].
6. Kishkina S. B., Kocharyan G. G., Budkov A. M., Ivanchenko G. N., Loktev D. N. Impact of open pit mining in Gorlovka coal basin on Large Earthquakes. *Journal of Mining Science*. 2021, vol. 57, no. 4, pp. 546 – 556. DOI: 10.1134/S1062739121040025.
7. Emanov A. A., Emanov A. F., Shevkunova E. V., Fateev A. V., Rebetsky Yu. L. Volumetric structure of the Bachat Earthquake (Kuzbass) aftershock area and stress state of rock mass under open-pit mine. *Russian Geology and Geophysics*. 2023, vol. 64, no. 12, pp. 1451 – 1458. DOI: 10.2113/rgg20234624.
8. Mikhailova N. N., Sokolova I. N., Poleshko N. N. Historical and modern seismicity of the Semipalatinsk test site. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020, vol. 56, pp. 869 – 886. DOI: 10.1134/S0001433820080058.
9. Kim S., Lee K., You K. Seismic discrimination between earthquakes and explosions using support vector machine. *Sensors*. 2020, vol. 20, no. 7, article 1879. DOI: 10.3390/s20071879.
10. Wang R., Schmandt B., Kiser E. Seismic discrimination of controlled explosions and earthquakes near mount St. Helens using P/S ratios. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2020, vol. 125, no. 10. DOI: 10.1029/2020JB020338.
11. Gor'kovets V. Ya., Sharov N. V. *Kostomukshskiy rudniy rayon (geologiya, glubinnoe stroenie i minerageniya)* [Kostomuksha ore region (geology, deep structure and minerageny)], Petrozavodsk, KNTs RAN, 2015, 322 p.
12. Tseytlin Ya. I., Ershov I. A. Reducing the seismic effect of an explosion during short-delay explosion. *Trudy Instituta fiziki Zemli AN SSSR*. 1962, no. 21 (188), pp. 103 – 114. [In Russ].
13. Kostyuchenko V. N., Kondratiev S. V., Kocharyan G. G. Seismic effect in group explosions. *Explosion technology*. 1983, no. 85/42, pp. 18 – 31. [In Russ].
14. Sovmen V. K., Kutuzov B. N., Mar'yasov A. L., Ekvist B. V., Tokarenko A. V. *Seismicheskaya bezopasnost' pri vzryvnykh rabotakh* [Seismic safety during blasting operations], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2012, 228 p.
15. Ulomov V. I., Shumilina L. S. *Komplekt kart obshchego seismicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii. OSR-97. Masshtab 1:8000000. Ob'yasnitel'naya zapiska* [A set of maps of the general seismic zoning of the territory of the Russian Federation. OSR-97. Scale 1:8000000. Explanatory note], Moscow, 1999, 57 p. [In Russ].
16. Kiszely M., Sule B., Monus P., Bondar I. Discrimination between local earthquakes and quarry blasts in the Vertes Mountains, Hungary. *Acta Geodaetica et Geophysica*. 2021, no. 56, pp. 523 – 537. DOI: 10.1007/s40328-021-00346-4.
17. Saadalla H., Abdelhafies H. E., Hayashida T. Discrimination between earthquakes, and quarry blasts in the Aswan region, southern Egypt, using P-wave source spectra. *Journal of Seismology*. 2023, no. 27, pp. 279 – 289. DOI: 10.1007/s10950-023-10143-x.

18. Dobrynina A. A., German V. I., Sankov V. A. Recognition of industrial explosions and weak natural earthquakes. *Ugol'*. 2022, no. S12, pp. 23 – 29. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-23-29.

19. Zueva I. A., Lebedev A. A. Characteristic features of seismic records of industrial explosions at the Kostomuksha iron ore deposit according to the Karelian network station. *Proceedings of Voronezh state university. Series: Geology*. 2017, no. 2, pp. 133 – 141. [In Russ].

20. Zueva I. A. *Identifikatsiya seismicheskikh sobyitij na territorii Karelii* [Identification of seismic events in Karelia], Candidate's thesis, Moscow, IDG RAN, 2023, 24 p.

21. Asming V. E. *Sozdanie programmogo kompleksa dlya avtomatizatsii detektirovaniya, lokatsii i interpretatsii seismicheskikh sobyitij i ego ispol'zovanie dlya izucheniya seismichnosti Severo-Zapadnogo regiona* [Creation of a software package for automation of detection, location and interpretation of seismic events and its use for studying the seismicity of the Northwestern region], Candidate's thesis, Moscow, IDG RAN, 2004, 24 p.

22. Krasilov S. A., Kolomiets M. V., Akimov A. P. Organization of the digital seismic data processing process using the WSG software package. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy mezhdunarodnoy seismologicheskoy shkoly, posvyashchennoy 100-letiyu otkrytiya seismicheskikh stantsiy «Pulkovo» i «Ekaterinburg»* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the International Seismological School dedicated to the 100th anniversary of the opening of the «Pulkovo» and «Yekaterinburg» seismic stations], Obninsk, GS RAN, 2006, pp. 77 – 83. [In Russ].

23. Zueva I. A., Lukina M. D. Seismicity in the area of the city of Kostomuksha according to the Karelian seismic network. *III Yudakhinskije chteniya: Sbornik nauchnykh materialov* [III Yudakhin readings, Collection of scientific materials], Arkhangel'sk, KIRA, 2024, pp. 421 – 423. [In Russ].

24. Gitterman Y., Pinsky V., Shapira A. Spectral classification methods in monitoring small local events by the Israel seismic network. *Journal of Seismology*. 1998, vol. 2, pp. 237 – 256. DOI: 10.1023/A:1009738721893.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зуева Ирина Александровна¹ — канд. физ.-мат. наук,
научный сотрудник, e-mail: ek92wa@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5952-9302,

Лукина Мария Дмитриевна¹ — старший математик,
e-mail: mariarychanchik@gmail.com,

Родионов Григорий Николаевич¹ — младший научный сотрудник,
e-mail: vegarus@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-5941-7850,

¹ Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»,
Институт геологии КарНЦ РАН.

Для контактов: Зуева И.А., e-mail: ek92wa@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

I.A. Zueva¹, Cand. Sci. (Phys. Mathem.), Researcher,
e-mail: ek92wa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5952-9302,

M.D. Lukina¹, Senior Mathematician,
e-mail: mariarychanchik@gmail.com,

G.N. Rodionov¹, Junior Researcher, e-mail: vegarus@inbox.ru,
ORCID ID: 0000-0002-5941-7850,

¹ Institute of Geology of the Karelian Research Centre
of the Russian Academy of Sciences, 185910, Petrozavodsk, Russia.

Corresponding author: I.A. Zueva, e-mail: ek92wa@mail.ru.

Получена редакцией 19.07.2024; получена после рецензии 13.12.2024; принята к печати 10.03.2025.

Received by the editors 19.07.2024; received after the review 13.12.2024; accepted for printing 10.03.2025.