

УДК 550.348 (470.22)

Сейсмический эффект промышленных взрывов Костомукшского ГОК

И. А. Зуева*, А. А. Лебедев

*Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия;

e-mail: ek92wa@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5952-9302>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
28.02.2019;

получена
после доработки
18.02.2020

Ключевые слова:
сейсмическая
станция,
массовый взрыв,
короткозамедленное
взрывание,
волновые формы,
магнитуда,
сейсмический
эффект

Активная разработка карьеров в Республике Карелия способствует совершенствованию системы контроля параметров буровзрывных работ с целью обеспечения безопасности зданий и сооружений вблизи горнодобывающих объектов. В ходе изучения сейсмического эффекта промышленных взрывов рассмотрена технология взрывных работ и описана типичная схема взрывания на горном предприятии. На карьерах Костомукшского горно-обогатительного комбината для снижения сейсмического эффекта применяется короткозамедленное взрывание. Созданная в Карелии система мониторинга позволяет определять не только телесеismicкие землетрясения, но и события регионального и локального масштаба. Взрывы регистрируются сейсмическими станциями Карельской сети и других регионов, если магнитуда события составляет более 1,7. В результате проведенного анализа волновых форм записей сейсмической станции KOS6, находящейся в нескольких километрах от карьеров, отмечается четкое вступление поперечной волны. Значения локальных магнитуд взрывов, установленные в течение шести месяцев 2018 г., изменяются от 1,5 до 2,5 и не превышают 3. Построенная осредняющая прямая показывает зависимость магнитуды от общего заряда; отмечаются факты ее роста с увеличением общей массы заряда, а также существенного разброса данных от осредняющей прямой. В процессе исследования определена возможность снижения сейсмического воздействия промышленных взрывов посредством использования эффективных схем короткозамедленного взрывания.

Для цитирования

Зуева И. А. и др. Сейсмический эффект промышленных взрывов Костомукшского ГОК. Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 1. С. 22–28. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-1-22-28

Seismic effect of industrial explosions of GOK Kostomuksha

Irina A. Zueva*, Artyom A. Lebedev

*Institute of Geology, KRC RAS, Petrozavodsk, Russia;

e-mail: ek92wa@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5952-9302>

Article info

Received
28.02.2019;

received
in revised
18.02.2020

Key words:
seismic station,
mass explosion,
short-delayed
blasting,
waveforms,
magnitude,
seismic effect

Abstract

Active development of quarries in the Republic of Karelia contributes to the improvement of the control system of the parameters of drilling and blasting operations with the aim of ensuring the safety of buildings and structures near mining facilities. During the study of the seismic effect of industrial explosions, the technology of blasting has been considered and a typical scheme of blasting at a mining enterprise has been described. In the quarries of the Kostomuksha mining and processing plant, to reduce the seismic effect, short-blasting is used. The created monitoring system in Karelia makes it possible to select not only teleseismic earthquakes, but also regional and local scale events on the seismic records. Explosions are recorded by seismic stations of the Karelian network and other regions if the magnitude of the event is more than 1.7. As a result of the waveforms' analysis of the records of the seismic station KOS6, located a few kilometers from the quarries, a clear entry of the transverse wave has been noted. The values of the local magnitudes of the explosions established during the six months of 2018 vary from 1.5 to 2.5 and do not exceed 3. The constructed averaging line shows the dependence of magnitude on the total charge; facts of its growth are noted with an increase in the total mass of the charge, as well as significant spread of data from the averaging line. In the course of the study, the possibility of reducing the seismic effects of industrial explosions through the use of effective short-delayed invocation schemes has been determined.

For citation

Zueva, I. A. et al. 2020. Seismic effect of industrial explosions of GOK Kostomuksha. Vestnik of MSTU, 23(1), pp. 22–28. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-1-22-28

Введение

Костомукшский рудный район расположен на границе восточной Финляндии и западной Карелии, уникален по своему строению, рудоносности, геологическому развитию и сложен архейскими и протерозойскими комплексами пород, перекрытых маломощным чехлом четвертичных отложений. В состав этого района включены три месторождения Карельского кратона: Костомукшское, Корпангское и Межозерское. Костомукшский рудный район является крупнейшим промышленным центром Карелии, получившим свое название благодаря открытию залежей магнетитовых кварцитов (*Горьковец, 2015*).

Активная разработка большого количества месторождений в Карелии способствует повышению техногенной сейсмичности отдельных территорий и становится значительной проблемой для жилых и промышленных зданий и сооружений, а также для населения. К таким районам относится и город Костомукша. В Костомукшском районе разработаны самые крупные карьеры в Республике Карелия. Массовые взрывы на данной территории происходят на протяжении нескольких десятков лет. Масса взрывчатых веществ достигает 100–1 200 т при короткозамедленном взрывании. Сейсмические эффекты, возбуждаемые промышленными взрывами, по энергетическим характеристикам соответствуют сейсмическим событиям энергетических классов 5–9.

В Институте геологии КарНЦ РАН проводятся работы по изучению глубинного строения и сейсмического режима территории Карелии; сотрудники данного института в 1999 г. основали региональную сейсмологическую сеть (*Шаров, 2007*). По сейсмическим данным, полученным в течение 20 лет, основными регистрируемыми событиями являются карьерные взрывы. Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК) производит 1–3 взрыва в неделю. Сейсмические станции Карелии и соседних регионов регистрируют в Костомукшском районе очаги магнитудами (*m*) 1,5–2,5; в других районах Карелии магнитуды очагов составляют 1,0–1,7.

Данное исследование направлено на изучение сейсмических эффектов, возбуждаемых промышленными взрывами Костомукшского ГОК, и влияния короткозамедленного взрывания на магнитуду событий, а также продолжает серию опубликованных работ по современной сейсмичности Карелии (*Зуева и др., 2017; Климовский и др., 2016; Зуева, 2019*).

Материалы и методы

Сейсмическая сеть Республики Карелии состоит из четырех широкополосных сейсмических станций Guralp (Великобритания). Станция KOS6 располагается в 15 км от г. Костомукша, PITK – в пос. Леппясилта (Питкярантский район), PTRZ – в г. Петрозаводске. В 2016 г. введена в эксплуатацию станция PAAN в Лоухском районе (рис. 1, а). Синхронизация сейсмических данных по времени осуществляется с помощью GPS-приемников; данные автоматически записываются в память компьютера станции и передаются на сервер хранения. Технические характеристики и расположение сейсмодатчиков, используемых в Карельской сейсмологической сети, приведены в табл. 1 и 2. Сейсмоприемники регистрируют сейсмические события в широком диапазоне частот (от 0,033 до 50 Гц), который позволяет выделять на записи не только телесеизмические землетрясения, но и события регионального и локального масштабов при применении полосовой фильтрации определенных частот.

Таблица 1. Характеристики сейсмоприемников Карельской сети
Table 1. Characteristics of the Karelian seismic network

Характеристика	Сейсмоприемник	
	CMG-6TD	CMG-3ESP
Диапазон рабочих частот, Гц	0,033–50	0,033–20,6
Диапазон рабочих температур, °С	От –40 до +85	От –20 до +65
Чувствительность, В/м/с	1 200	1,05·10 ⁶
Масса, кг	2,7	9,3

Таблица 2. Координаты и типы датчиков Карельской сейсмической сети в 2019 г.
Table 2. Coordinates and types of sensors of the Karelian seismic network in 2019

Сейсмостанция	Координаты	Тип сейсмометра
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-6TD
PTRZ	61°50'31" с. ш.; 34°22'47" в. д.	Guralp CMG-3ESP
PAAN	65°45'39.1" с. ш.; 31°04'11.8" в. д.	Guralp CMG-6TD

Локация сейсмических событий проводится с помощью программы EL_WIN, разработанной сотрудником Кольского филиала Единой геофизической службы РАН В. Э. Асмингом (Асминг, 1997).

Развитие Карельской сейсмической сети обеспечивает контроль за землетрясениями на уровне магнитуд от 1 и более на территории региона. Особое внимание уделяется исследованию сейсмического эффекта промышленных взрывов (Друкованный, 1973; Еманов и др., 1987; 2018; Шаров, 1976; Суворова и др., 1979; Еманов, 1982; Козырев и др., 2014; Сейсмичность при горных работах, 2002).

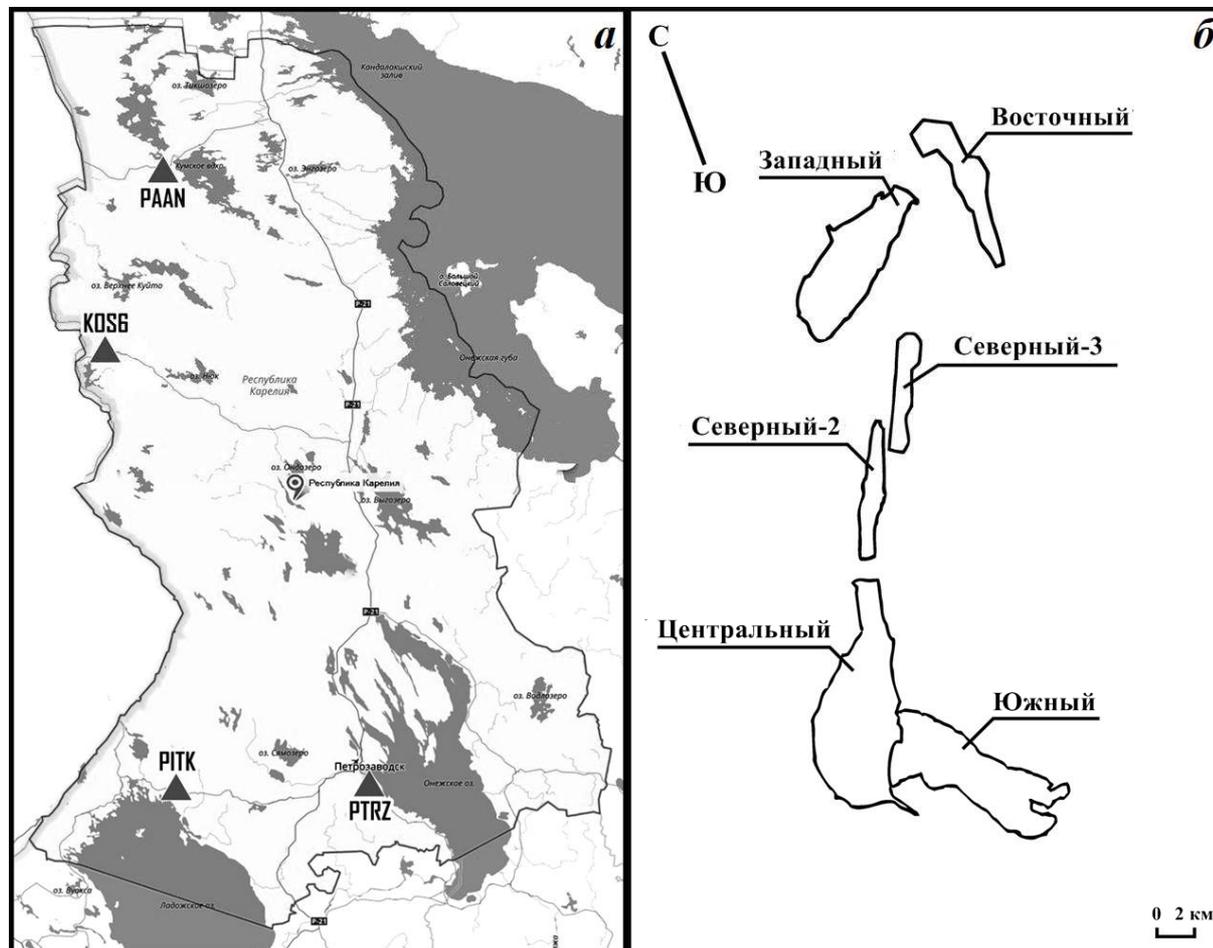


Рис. 1. Расположение сейсмостанций на территории Карелии в 2019 г. (а);
 схема расположения карьеров АО "Карельский окатыш" (б)
 Fig. 1. a – location of the seismic network of Karelia in 2019;
 б – quarries location of "Karelsky okatysh"

Промышленные взрывы на горнорудных предприятиях проводятся с коротким замедлением при сложных схемах заложения, коммутации и инициирования зарядов. При этом общий вес заряда может меняться в широких пределах и достигать 1000 т, а интервал замедления срабатывания одних частиц заряда относительно других достигает единиц секунд и более (Шаров, 1976). На большинстве горных предприятий в зависимости от количества обрабатываемых блоков используется типичная схема взрывания: вес общего заряда от 50 до 1000 т; общее количество скважин от 150 до 1200; общая продолжительность взрыва до 2,5 с.

Короткозамедленное взрывание в горном деле является основным способом снижения вредного в условиях промышленного производства сейсмического воздействия массовых взрывов. При короткозамедленном массовом взрыве происходит серия мгновенных взрывов, следующих через интервалы времени, заданные величиной замедления. Каждый мгновенный взрыв формирует волновой пакет колебаний, который состоит из отдельных волн P, S, R. Малое время замедления приводит к интерференции волновых пакетов отдельных взрывов в упругой зоне (Суворова и др., 1979). Амплитуды сейсмических волн определяются следующими основными факторами: весом заряда Q; величиной общего замедления t, которое складывается

из числа ступеней и интервалов между ними; расстоянием между источником и приемником R ; геологическим строением региона; условиями установки сейсмоприемников.

Исследования на территории восточной части Балтийского щита подтвердили обоснованность вывода о том, что энергия, формирующая изучаемые сейсморазведкой волны, определяется весом заряда, взрываемого при массовом взрыве в первой его ступени (Суворова и др., 1979), но лишь в случаях, когда масса заряда в первой ступени не меньше или хотя бы сопоставима с зарядами в последующих ступенях.

В Карелии самые мощные взрывы проводятся в Костомукшском районе, магнитуда достигает значения 1,5–2,5. В других районах магнитуда не превышает значение 2.

На территории АО "Карельский окатыш" действуют шесть карьеров: Центральный, Южный, Северный (Северный-2, Северный-3), Корпанга (Западный, Восточный) (рис. 1, б). В карьерах отрабатывается основная рудная залежь; проектная глубина составляет 700 м. Карьеры вытянуты с юга на север, их общая протяженность достигает 25 км.

Таблица 3. Координаты карьеров АО "Карельский окатыш"

Table 3. Coordinates of "Karelsky okatysh" quarries

Карьер	Координаты	
	с. ш.	в. д.
Южный	64°40'35"	30°43'05"
Центральный	64°40'50"	30°39'04"
Северный	64°44'20"	30°39'24"
Корпанга	64°47'37"	30°41'13"

Взрывы в карьерах производятся открытым способом 1–3 раза в неделю по утвержденным в установленном порядке проектам Костомукшского ГОКа. Способ включает подготовку блока; разработку схемы расположения скважин, графического материала и таблицы параметров взрывных работ; распорядок проведения массового взрыва. Масса взрывчатого вещества достигает 100–1 200 т. Массовым взрывом на открытых горных работах считается взрыв, смонтированный в общую сеть двух и более зарядов (независимо от протяженности заряженной выработки). На месторождении производятся короткозамедленные взрывы на 3–6 блоках одновременно.

Результаты и обсуждение

Взрывы, производимые в карьерах АО "Карельский окатыш", отчетливо выделяются на записях станции, установленной в Костомукшском районе (рис. 2, а). На горизонтальных компонентах видна S -волна. Эти события регистрируются всеми сейсмическими станциями Карельской сети и других регионов, если магнитуда события составляет более 1,7 (рис. 2, б).

В Костомукшском районе по сейсмическим данным, зарегистрированным станциями Карельской сейсмической сети и соседних регионов, взрывов магнитудой 3 и более не зафиксировано, так как на всех карьерах для снижения сейсмического эффекта применяется короткозамедленное взрывание.

Зависимость магнитуд от общих зарядов короткозамедленных взрывов на карьерах АО "Карельский окатыш" (первое полугодие 2018 г.) представлена на рис. 3. Магнитуда в среднем увеличивается с ростом общего заряда при равных зарядах в серии и наблюдается разброс точек от осредняющей кривой. Взрыв с общим зарядом 500 т имеет большее значение магнитуды ($m_l = 2,3$), чем взрыв с зарядом 800 т ($m_l = 1,7$). Магнитуда короткозамедленного взрыва должна определяться зарядом ступени, но если хотя бы один заряд будет больше остальных, магнитуда будет определяться данным зарядом; если в разных рядах инициирование некоторых скважин будет совпадать, то это условие также увеличит магнитуду за счет интерференционного усиления излучаемых колебаний. Сейсмический эффект взрыва не определяется общим зарядом взрыва. Взрыв дает сейсмический эффект по амплитуде чуть больше сейсмического эффекта заряда ступени. При этом короткозамедленное взрывание изменяет направленность воздействия и формирует поперечные волны (Еманов и др., 2018).

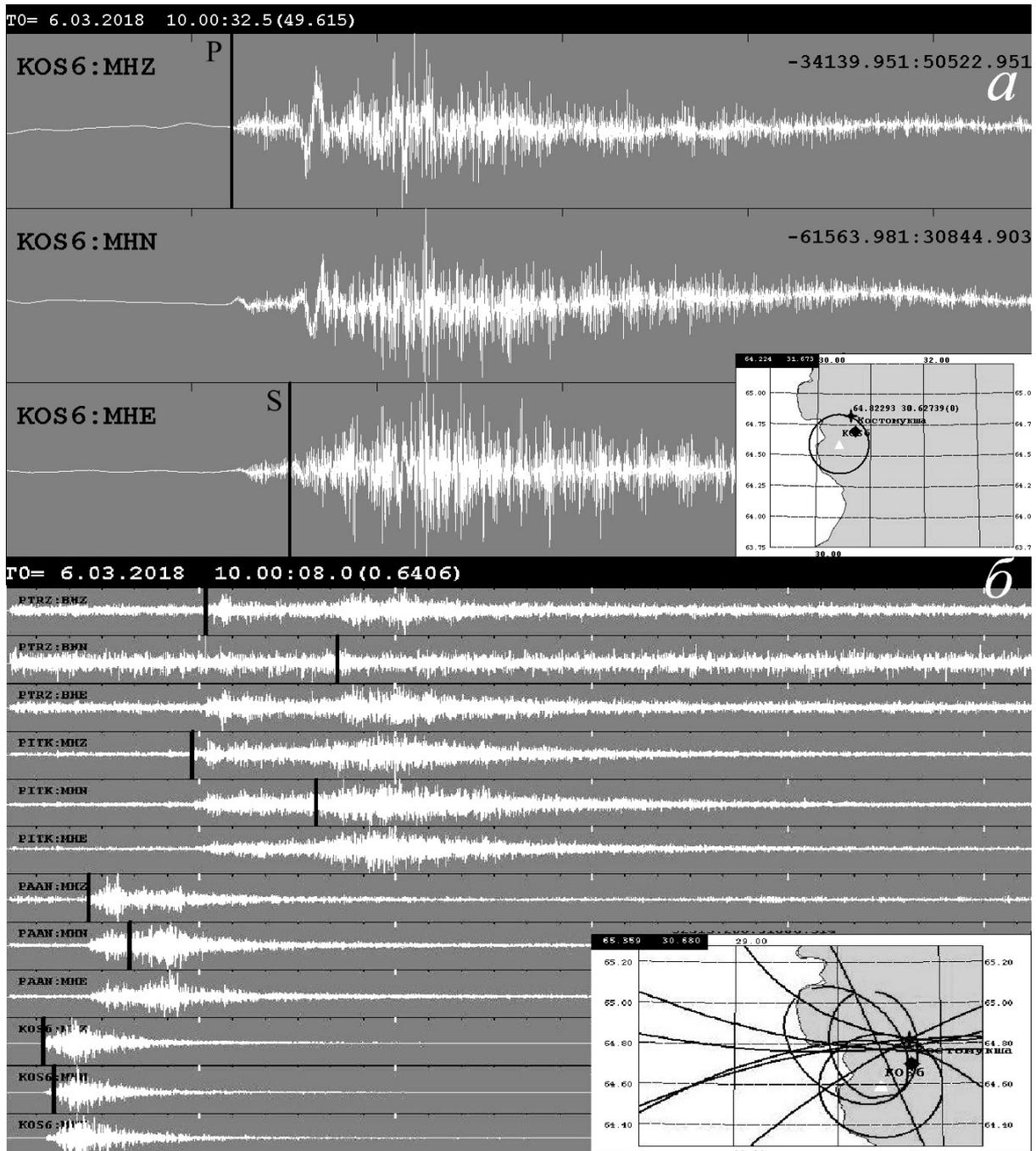


Рис. 2. Взрыв в карьере Западный (06.03.2018, $m_l = 2$). Фрагменты трехкомпонентных записей сейсмических станций: *a* – KOS6; *б* – KOS6, PAAN, PITK, PTRZ
 Fig. 2. Explosion at the "Western" quarry (06.03.2018, $m_l = 2$). Fragments of three-component records of the explosion at the seismic stations: *a* – KOS6; *б* – KOS6, PAAN, PITK, PTRZ

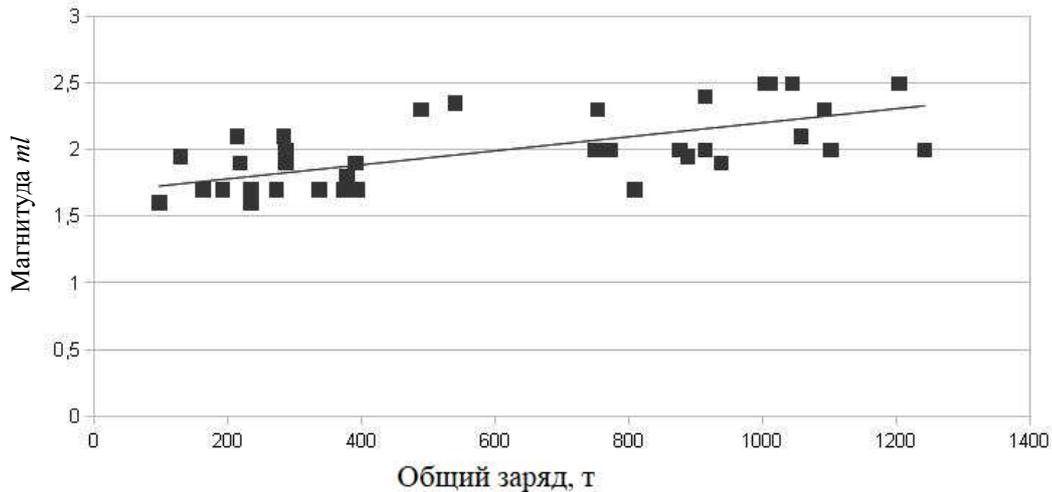


Рис. 3. Зависимость магнитуды от величины общего заряда короткозамедленного взрыва
Fig. 3. The dependence of the magnitude on the total charge of a short-delay explosion

Заключение

В результате проведенного исследования получена зависимость магнитуды от величины общего заряда короткозамедленного взрыва, анализ которой позволяет сделать следующие выводы:

- значения магнитуд взрывов увеличиваются с ростом общих масс зарядов; отмечается факт существенного разброса данных от осредняющей прямой. Магнитуды взрывов с меньшим общим зарядом превышают магнитуды взрывов с большим общим зарядом, так как согласно данным, полученным в работах (Еманов и др., 2018; Суворова и др., 1979), при короткозамедленном взрывании магнитуда зависит не только от общего заряда, но и от заряда ступени;
- короткозамедленное взрывание влияет на формирование поперечных S -волн: на трехкомпонентной записи станции KOS6, расположенной в нескольких километрах от карьеров Костомукшского ГОК, отчетливо видно вступление S -волны (рис. 2, а);
- снижение сейсмического воздействия промышленных взрывов достигается посредством использования эффективных схем короткозамедленного взрывания.

Благодарности

Исследование проведено в рамках государственного задания Института геологии КарНЦ РАН (темы НИР АААА-А18-118020290086-1).

Библиографический список

- Асминг В. Э. Программный комплекс для автоматизированной обработки сейсмических записей "EL" // Приборы и методика геофизического эксперимента. Мурманск : МИП-999, 1997. С. 125–132.
- Горьковец В. Я. Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минерагения) : монография. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2015. 322 с.
- Друкотанный М. Ф. Методы управления взрывом на карьерах. М. : Недра, 1973. 415 с.
- Еманов А. А., Еманов А. Ф., Фатеев А. В., Шелкунова Е. В. [и др.]. Наведённая сейсмичность и сейсмический эффект промышленных взрывов в Западной Сибири // Результаты комплексного изучения сильнейшего Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., его место в ряду важнейших сейсмических событий XXI в. на территории России : материалы XXI науч.-практ. Щукинской конф. с междунар. участием, Москва, 1–4 окт. 2018 г. М. : ИФЗ РАН, 2018. С. 138–142.
- Еманов А. Ф. Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмограммы глубинного сейсмического зондирования // Геология и геофизика. 1982. Т. 23, № 9. С. 81–89.
- Еманов А. Ф., Шаров Н. В. Использование промышленных взрывов при ГСЗ // Геофизический журнал. 1987. Т. 9, № 4. С. 35–43.
- Зуева И. А. Особенности взрывной сейсмичности на территории Республики Карелия за 2017–2018 гг. // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. 2019. № 1. С. 76–81.
- 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. Сер. Геология. 2017. № 2. С. 133–141.
- Климовский А. В., Мещерякова В. А., Лебедев А. А. Динамические характеристики сейсмической станции Петрозаводск // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Геология докембрия. 2016. № 2. С. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.17076/geol168>.

- Козырев С. А., Усачев Е. А. Проявление техногенной сейсмичности при производстве массовых взрывов на подземных рудниках ОАО "Апатит" // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 2. С. 238–245.
- Сейсмичность при горных работах / под ред. Н. Н. Мельникова. Апатиты : КНЦ РАН, 2002. 325 с.
- Суворова Н. И., Шаров Н. В. О формировании сейсмических колебаний при массовых короткозамедленных взрывах // Сейсмические и геодинамические исследования на северо-востоке Балтийского щита : сб. ст. / отв. ред. Г. Д. Панасенко. Апатиты : Кол. филиал АН СССР, 1979. С. 59–63.
- Шаров Н. В. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы : в 2 кн. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2007. Кн. 1. Землетрясения. 381 с.
- Шаров Н. В., Горбачевич Ф. Ф. Исследование частотных спектров сейсмических колебаний в ближней зоне промышленных взрывов (для целей ГСЗ) // Геофизические исследования северо-восточной части Балтийского щита : сб. ст. / отв. ред. В. И. Павловский. Апатиты : Кол. филиал АН СССР, 1976. С. 89–97.

References

- Asming, V. E. 1997. Software complex "EL" for automated processing of seismic records. Murmansk. (In Russ.)
- Gor'kovets, V. Ya. 2015. Kostomuksha ore region (geology, deep structure and minerageny). Monograph. Petrozavodsk. (In Russ.)
- Drukovanny, M. F. 1973. Quarry explosion management techniques. Moscow. (In Russ.)
- Emanov, A. A., Emanov, A. F., Fateev, A. V., Shevkunova, E. V. et al. 2018. Induced seismicity and seismic effect of industrial explosions in Western Siberia. Proceedings of XXI scientific-practical Shchukinskaya conf. *The results of a comprehensive study of the strongest Altai (Chuisky) earthquake in 2003, its place among the most important seismic events of the XXI century on Russian territory*, 1–4 October 2018. Moscow, IFZ RAS, pp. 138–142. (In Russ.)
- Emanov, A. F. 1982. Effect of short-delay blasting on seismic sounding of deep seismic sounding. *Russian Geology and Geophysics*, 23(9), pp. 81–89. (In Russ.)
- Emanov, A. F., Sharov, N. V. 1987. The use of industrial explosions in the PES. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 9(4), pp. 35–43. (In Russ.)
- Zueva, I. A. 2019. Peculiarities of explosive seismicity in the territory of the Republic of Karelia for 2017–2018. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1, pp. 76–81. (In Russ.)
- Zueva, I. A., Lebedev, A. A. 2017. Characteristic features of seismic records of industrial explosions at the Kostomuksha iron ore deposit according to the stations of the Karelian seismic network. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2, pp. 133–141. (In Russ.)
- Klimovsky, A. V., Meshcheryakova, V. A., Lebedev, A. A. 2016. Dynamic features of "Petrozavodsk" seismic station. *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2, pp. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.17076/geo168>. (In Russ.)
- Kozyrev, S. A., Usachyov, E. A. 2014. Man-made seismic manifestation in the production of mass explosions in the underground mines of "Apatit". *Vestnik of MSTU*, 17(2), pp. 238–245. (In Russ.)
- Seismicity in mining. 2002. Ed. N. N. Mel'nikov. Apatity. (In Russ.)
- Suvorova, N. I., Sharov, N. V. 1979. On the formation of seismic vibrations during mass short-delay explosions. In coll. articles *Seismic and geodynamic studies in the northeast of the Baltic Shield*. Apatity, AS USSR Kola Branch, pp. 59–63. (In Russ.)
- Sharov, N. V. 2007. Earthquakes and microseismicity in modern geodynamics problems on the East European platform. Petrozavodsk. (In Russ.)
- Sharov, N. V., Gorbachevich, F. F. 1976. Investigation of the frequency spectra of seismic vibrations in the near zone of industrial explosions (for the purposes of the PES). In coll. articles *Seismic and geodynamic studies in the northeast of the Baltic Shield*. Apatity, AS USSR Kola Branch, pp. 89–97. (In Russ.)

Сведения об авторах

Зуева Ирина Александровна – ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; Институт геологии КарНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; e-mail: ek92wa@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5952-9302>

Irina A. Zueva – 11, Pushkinskaya Str., Petrozavodsk, Karelia, Russia, 185910; Institute of Geology KRC RAS, Junior Researcher; e-mail: ek92wa@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5952-9302>

Лебедев Артем Анатольевич – ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; Институт геологии КарНЦ РАН, ст. инженер-геофизик; e-mail: stayxalert@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7849-9337>

Artyom A. Lebedev – 11, Pushkinskaya str., Petrozavodsk, Karelia, Russia, 185910; Institute of Geology KRC RAS, Senior Geophysicist; e-mail: stayxalert@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7849-9337>