

# Критерии оценки негативного воздействия при проведении массовых взрывов на окружающую среду\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-44-48>

## АВЕРИН А.П.

Канд. техн. наук, старший научный сотрудник ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: [averin.andrey@gmail.com](mailto:averin.andrey@gmail.com)

## ХАРЧЕНКО А.В.

Канд. техн. наук, доцент,  
старший научный сотрудник  
ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: [av-kharchenko@yandex.ru](mailto:av-kharchenko@yandex.ru)

Проанализирована действующая система мониторинга промышленных взрывов на территории Кузбасса. Рассмотрены критерии оценки сейсмического воздействия массовых взрывов. Отмечена необходимость организации локального мониторинга на предприятиях, ведущих массовые взрывы, для обеспечения безопасности близлежащих населенных пунктов. Это позволит повысить безопасность за счет соблюдения технологии буровзрывных работ и своевременной корректировки принимаемых решений. Показано, что при оценке негативного воздействия при проведении массовых взрывов на окружающую среду нельзя основываться только на величине магнитуды. Предложенный переход от магнитуды к интенсивности сейсмических колебаний при локальном мониторинге массовых взрывов позволит контролировать соблюдение ГОСТов и перейти от регионального контроля к локальному для детального анализа негативного воздействия на окружающую среду. Предложены варианты визуализации результатов наблюдений в виде построения карт изолиний различной интенсивности колебаний.

**Ключевые слова:** мониторинг, негативное воздействие, магнитуда, изосейсты, массовые взрывы, интенсивность сейсмических колебаний, охраняемые объекты.

**Для цитирования:** Аверин А.П., Харченко А.В. Критерии оценки негативного воздействия при проведении массовых взрывов на окружающую среду // Уголь. 2022. № 512. С. 44-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-44-48>.

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях крупномасштабного освоения недр взрывные работы являются важнейшим процессом, определяющим эффективность всех последующих операций горнодобывающего про-

\* Исследования проведены в рамках мероприятия № 1 Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 года № 1144-р, и Соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.

изводства, при этом все большее значение приобретают вопросы обеспечения промышленной безопасности при ведении работ, охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

Определением природных и техногенных землетрясений и их влиянием на окружающую среду занимаются как в России, так и за рубежом [1, 2, 3, 4].

Учитывая, что на угольных разрезах Кузбасса (в частности, на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь») массовые взрывы проводятся ежедневно, а в некоторых случаях и по несколько раз в сутки, то сейсмические колебания, ощущаемые населением, являются причиной негативных психофизических эмоций отдельных граждан, их беспокойства за сохранность недвижимого имущества. Поэтому мониторинг негативного воздействия на окружающую среду при проведении массовых взрывов является весьма актуальной задачей.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На территории Кузбасса ГКУ «Агентство по защите населения и территории Кузбасса» ведет мониторинг промышленных взрывов. Основу составляют данные Единой геофизической службы Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН) и данные, предоставляемые предприятиями.

ФИЦ ЕГС РАН предоставляет координаты лоцированного источника сейсмического события, магнитуду в эпицентре и энергетический класс события. Региональная Алтае-Саянская сейсмологическая сеть ФИЦ ЕГС РАН состоит из 57 станций. Регистрируются как природные землетрясения, так и техногенные, которые соотносятся с промышленными взрывами. Согласно [5], магнитуда землетрясения – это условная величина, характеризующая общую энергию упругих колебаний, вызываемых землетрясениями или взрывами; пропорциональна логарифму энергии колебаний. Магнитуда позволяет сравнивать источники колебаний по их энергии. Таким образом, текущий мониторинг обеспечивает контроль за величиной сейсмической энергии, выделяющейся при промышленных взрывах, на всей территории Кузбасса и не позволяет делать выводы о влиянии на конкретные здания и сооружения.

При анализе величин магнитуд и массы ВВ при массовых взрывах ряд исследователей [6, 7] отмечают незначительную линейно возрастающую зависимость магнитуды от величины общего заряда. Так, при увеличе-

нии заряда на сто тонн прирост магнитуды составляет чуть более одной десятой. Полученные зависимости характеризуются существенным разбросом точек от усредняющей прямой. Отметим, что на одном и том же угольном разрезе взрывы с одной и той же массой заряда и равными зарядами в серии могут обладать существенно различным сейсмическим эффектом, а с другой стороны, взрыв массой 210 т имеет магнитуду на 0,2 единицы больше, чем взрыв с общей массой 320 т. Поэтому при оценке негативного воздействия взрывов нельзя основываться только на величине магнитуды.

Как отмечают сами сотрудники ЕГС РАН, при создании системы мониторинга промышленных взрывов ставилась задача охватить все горнодобывающие предприятия региона, применяющие массовые взрывы, для контроля сейсмического воздействия взрывов [6]. Данный подход к мониторингу позволяет вести контроль за соблюдением горнодобывающими предприятиями допустимой массы ВВ и качеством производства взрывных работ, но не отражает степени сейсмического воздействия массовых взрывов на людей, здания и сооружения самого горнодобывающего предприятия, а также близлежащих населенных пунктов.

Расчет магнитуды производится по данным, зарегистрированным на сейсмостанциях, удаленных на сотни километров от взрываемых блоков на угольных разрезах. Погрешность определения координат может достигать первых десятков километров. Так, например, при наличии трех сейсмостанций в непосредственной близости от Калтанского угольного разреза, расчетные координаты техногенного землетрясения, по данным ФИЦ ЕГС РАН, находятся на расстоянии 2 км от ближайшей границы опасной зоны угольного разреза. Проведенный нами анализ показал, что точность определения сейсмических событий имеет большую погрешность (см. таблицу).

На рис. 1, 2 на карту местности нанесены зарегистрированные сейсмические события, приуроченные к массовым взрывам на указанных разрезах. Синим цветом выделены события, попадающие в границы угольного разреза, а красным – вне его. Благодаря трем сейсмостанциям, находящимся рядом с Калтанским разрезом удалось снизить погрешность до 41% в отличие от 64% на Кедровском разрезе. Но данная цифра слишком велика, чтобы при мониторинге пользоваться только этими данными.

### Статистика расстояний от границы угольного разреза до точки лоцированной ЕГС РАН, км

Statistics of the distances from the boundary of the coal strip mine to the point located by the Unified Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, km

Разрез	Количество событий	Расстояние от границы угольного разреза, км			Стандартное отклонение
		Среднее	Минимальное	Максимальное	
Кедровский	78(50)*	12,72180	0,520000	65,05000	14,76534
Калтанский	56 (23)*	4,13391	1,800000	17,60000	3,64147

\* В скобках количество событий, не попавших в границы угольного разреза.

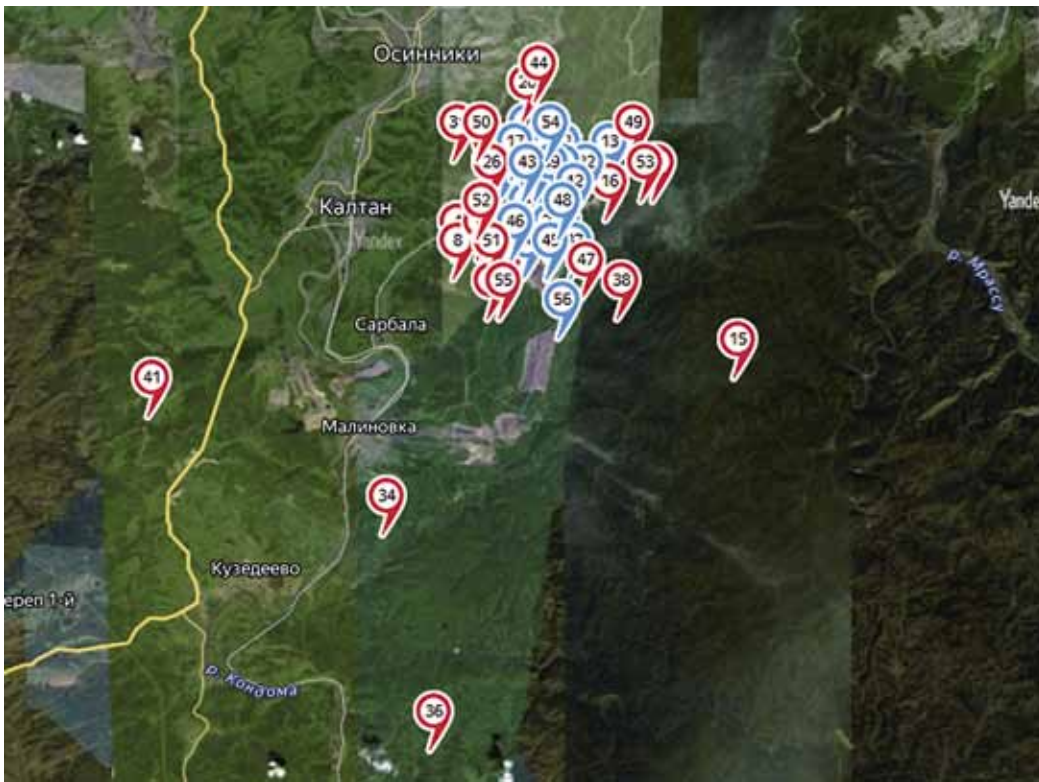


Рис. 1. Карта координат событий по данным ЕГС РАН по разрезу Калтан

Fig. 1. Map of the event coordinates for the Kaltan Strip Mine based on the data of the Unified Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences

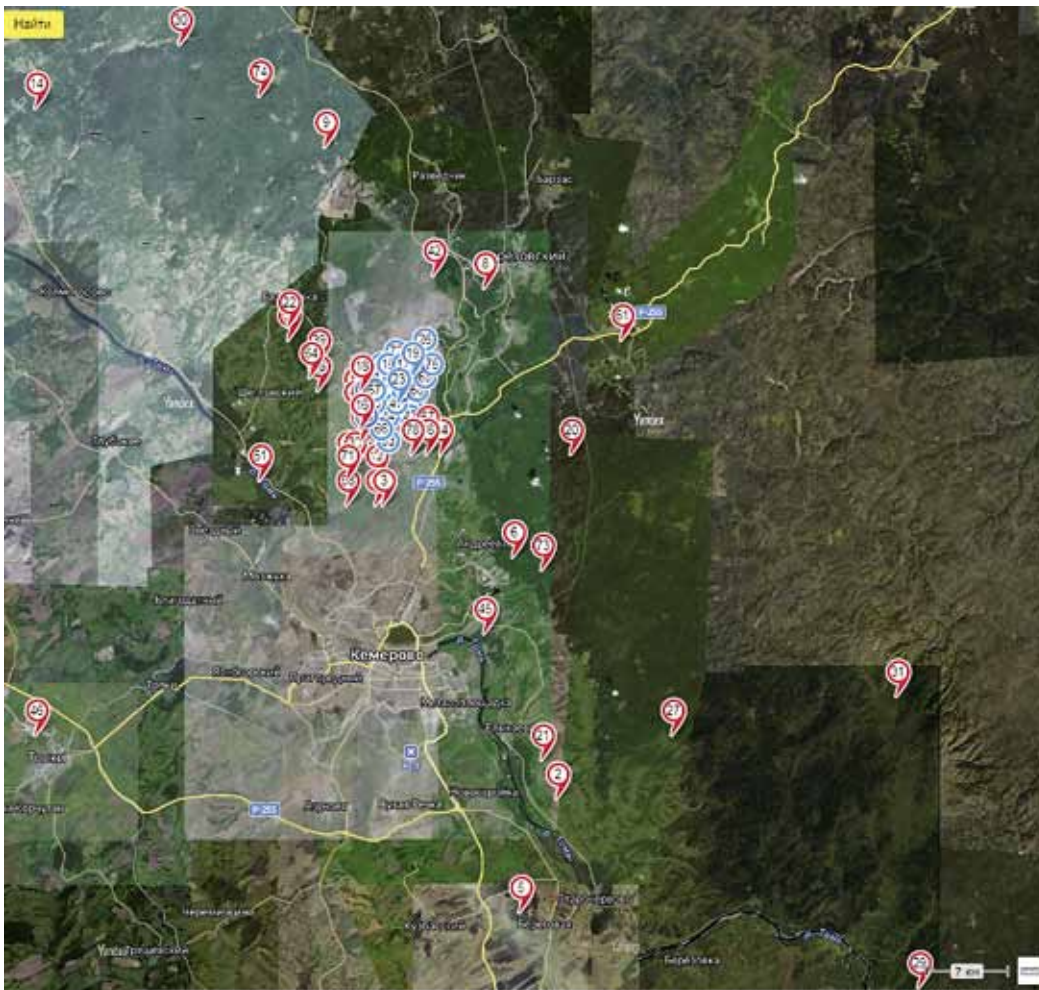


Рис. 2. Карта координат событий по данным ЕГС РАН по разрезу Кедровский

Fig. 2. Map of the event coordinates for the Kedrovsky Strip Mine based on the data of the Unified Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences



Согласно нормативным документам, в качестве критериев сейсмической опасности, связанных с повреждением зданий и сооружений, могут использоваться максимальные (пиковые) скорости колебаний земной поверхности в основании или на фундаменте охраняемых объектов. Данный критерий показывает наиболее высокую корреляцию с повреждаемостью зданий по сравнению с пиковыми ускорениями или смещениями [8]. По этой причине именно пиковая скорость колебаний заложена в качестве критерия сейсмической опасности при промышленных взрывах в нормативные документы Российской Федерации – ГОСТ Р 52892-2007 [9], Германии – DIN 4150-3 [10], Великобритании – BS 7385-2 [11] и США OSM – Regulations 816.67 [12].

Организация системы сбора информации о скорости колебаний земной поверхности в непосредственной близости от взрываемого блока, на границе расчетных безопасных зон и около особо охраняемых объектах позволит детально изучить пространственный характер распространения упругих колебаний, оценить степень затухания для конкретного угольного разреза и прогнозировать степень влияния массового взрыва на прилегающие территории. Совместный анализ информации о технологии массового взрыва и информации о сейсмическом отклике на него позволит повысить эффективность БВР и безопасность территорий, прилегающих к угольному разрезу.

Учитывая, что массовый взрыв на горнодобывающих предприятиях является техногенным землетрясением, для оценки негативного сейсмического воздействия необходимо пользоваться методикой, изложенной в ГОСТ Р 57546-2017 [13], которая устанавливает порядок получения оценки интенсивности произошедшего землетрясения в баллах по шкале сейсмической интенсивности.

Коллеги из ИДГ РАН [14] при мониторинге влияния массовых взрывов на окружающую застройку г. Губкин, предложили отображать результат воздействия от взрыва в виде изосейст на плане города. Изосейсты – это эпицентральные расстояния, на которых скорость колебаний достигает величины, определяемой соответствующим баллом интенсивности колебаний согласно инструментальной части шкалы С.В. Медведева для горных взрывов [13, 15].

## Выводы

Создание локальных систем мониторинга на каждом угольном разрезе позволит повысить эффективность контроля за допустимой массой ВВ и качеством производства взрывных работ на конкретном угольном разрезе, позволит совершенствовать мероприятия по снижению негативных факторов от взрывных работ, повысит безопасность для окружающих за счет соблюдения технологии БВР и своевременной корректировки принимаемых решений.

Переход при оценке массовых взрывов от магнитуды к интенсивности (баллам) сейсмического воздействия позволит контролировать соблюдение ГОСТов и эффективно следить за безопасностью прилегающей застройки.

Карты изолиний различной интенсивности колебаний от массовых взрывов позволяют контролировать превышение допустимых ГОСТами предельных величин. Даже в случае отсутствия видимых для человека проявлений (до 3 баллов по ГОСТ Р 57546-2017) инструментальные наблюдения позволяют учитывать влияние на охраняемые объекты, попадающие в области, превышающие допустимые предельные величины. Повторяемость таких сейсмических воздействий может привести к накоплению микроповреждений и макроскопическим последствиям, которые при обычном однократном превышении воздействия не наблюдаются.

## Список литературы

1. Трофимчук А.Н., Калюх Ю.И., Калюх Т.Ю. Влияние природных и техногенных землетрясений на грунты оползневых массивов и их системный анализ // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012. № 5. С. 33-39.
2. Characteristics and Identification Method of Natural and Mine Earthquakes: A Case Study on the Hegang Mining Area / Meng Shangjiu, Hailong Mu, Miao Wang et al. // Minerals. 2022. No12(10). P. 1256. URL: <https://doi.org/10.3390/min12101256> (дата обращения: 15.11.2022).
3. Ground motions induced by mining seismic events with different focal mechanisms / Ju Ma, Longjun Dong, Guoyan Zhao et al. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 116. P. 99-110. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.03.009> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Azhari A., Ozbay U. Investigating the effect of earthquakes on open pit mine slopes // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. Vol. 100. P. 218-228. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.10.005> (дата обращения: 15.11.2022).
5. Большая советская энциклопедия. Т. 15. Ломбард-Мезитол. 3-е изд. М.: Советская Энциклопедия, 1974. 632 с.
6. Сейсмологический мониторинг промышленных взрывов как эффективный подход к контролю сейсмического воздействия на недра / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Н.А. Серёжников и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 2. № 2. С. 56-66.
7. Зуева И.А., Лебедев А.А. Сейсмический эффект промышленных взрывов Костомукшского ГОК // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2020. Т. 23. № 1. С. 22-28.
8. Malbasic V., Stojanovic L. Determination of Seismic Safety Zones during the Surface Mining Operation Development in the Case of the «Buvač» Open Pit // Minerals. 2018. No 8(2). P. 71. URL: <https://doi.org/10.3390/min8020071> (дата обращения: 15.11.2022).
9. ГОСТ Р 52892-2007 Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее действия на конструкцию.
10. DIN 4150-3:1999-02 Structural Vibration. Part 3. Effects of Vibration on Structures. 1999.
11. BS 7385-2:1993 Evaluation and measurement for vibration buildings. Part 2 Guide to damage levels from groundborne vibration. 1993.
12. OSM Blasting Performance Standards. 30 Code of Federal Regulations. Sec. 816.67. Use of Explosives: Control of adverse effects.

13. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности.
14. Куликов В.И., Ганопольский М.И. Воздействие массовых взрывов при подземной разработке железорудных месторождений на застройку и население города Губкин // Взрывное дело. 2018. № 121. С. 135-153.
15. Медведев С.В. Сейсмика горных взрывов. М.: Недра, 1964. 188 с.

## SURFACE MINING

Original Paper

UDC 622.85:622.235 © A.P. Averin, A.V. Kharchenko, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 44-48  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-44-48>

## Title

## CRITERIA FOR ASSESSING THE NEGATIVE IMPACT OF MASS EXPLOSIONS ON THE ENVIRONMENT

## Authors

Averin A.P., Kharchenko A.V.

<sup>1</sup> ICEMR RAS, Moscow, 111020, Russian Federation

## Authors Information

**Averin A.P.**, PhD (Engineering), Senior Researcher,e-mail: [averin.andrey@gmail.com](mailto:averin.andrey@gmail.com)**Kharchenko A.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher,e-mail: [av-kharchenko@yandex.ru](mailto:av-kharchenko@yandex.ru)

## Abstract

The current monitoring system of industrial explosions in the territory of Kuzbass is analyzed. The criteria for assessing the seismic impact of mass explosions are considered. The necessity of organizing local monitoring at open pit making mass explosions to ensure the safety of neighborhoods was noted. This will improve safety due to compliance with blasting technology and timely adjustment of decisions. It is shown that when assessing the negative impact of mass explosions on the environment, it is impossible to base only on the magnitude. The proposed change in the estimate from magnitude to intensity of seismic vibrations during local monitoring of mass explosions will allow monitoring compliance with GOST standards and moving from regional to local control for a detailed analysis of the negative impact on the environment. Variants of visualization of the results of observations in the form of constructing maps of isolines of different intensity of vibrations are proposed.

## Keywords

Monitoring, Negative impact, Magnitude, Isoseists, Mass explosions, Intensity of seismic vibrations, Protected objects.

## References

1. Trofimchuk A.N., Kalyukh Yu.I. & Kalyukh T.Yu. Effects of natural and human-induced earthquakes on soils of landslide massifs and their system analysis. *Sejzmotostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*, 2012, (5), pp. 33-39. (In Russ.).
2. Shangjiu Meng, Hailong Mu, Miao Wang, Wenhan Yang, Yang Liu, Yiqiang Sun & Xiaoming Yuan. Characteristics and Identification Method of Natural and Mine Earthquakes: A Case Study on the Hegang Mining Area. *Minerals*, 2022, (12), 1256. Available at: <https://doi.org/10.3390/min12101256> (accessed 15.11.2022).
3. Ju Ma, Longjun Dong, Guoyan Zhao & Xibing Li. Ground motions induced by mining seismic events with different focal mechanisms. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2019, (116), pp. 99-110. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.03.009> (accessed 15.11.2022).
4. Azhari A. & Ozbay U. Investigating the effect of earthquakes on open pit mine slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2017, (100), pp. 218-228. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.10.005> (accessed 15.11.2022).

5. The Great Soviet Encyclopedia, Vol. 15, from 'Lombard' to 'Mesitol', 3<sup>rd</sup> Edition, Moscow, Sovetskaya Encyclopedia Publ., 1974, 632 p. (In Russ.).

6. Yemanov A.F., Yemanov A.A., Serezhnikov N.A., Fateev A.V., Vorona U.Yu. & Shevkunov E.V. Seismological monitoring of industrial explosions as an effective approach to control seismic impact on subsoil minerals. *Interekspo GEO-Sibir'*, 2019, Vol. 2, (2), pp. 56-66. (In Russ.).

7. Zueva I.A. & Lebedev A.A. Seismic effect of industrial blasts at Kostomuksha Mining and Processing Plant. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*, 2020, Vol. 23, (1), pp. 22-28. (In Russ.).

8. Malbasic V. & Stojanovic L. Determination of Seismic Safety Zones during the Surface Mining Operation Development in the Case of the «Buvač» Open Pit. *Minerals*, 2018, (8), pp. 71. Available at: <https://doi.org/10.3390/min8020071> (accessed 15.11.2022).

9. GOST R 52892-2007 Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its effects on structure.

10. DIN 4150-3:1999-02 Structural Vibration. Part 3. Effects of Vibration on Structures, 1999.

11. BS 7385-2:1993 Evaluation and measurement for vibration buildings. Part 2 Guide to damage levels from groundborne vibration, 1993.

12. OSM Blasting Performance Standards. 30 Code of Federal Regulations. Sec. 816.67. Use of Explosives: Control of adverse effects.

13. GOST R 57546-2017 Earthquakes. Seismic intensity scale.

14. Kulikov V.I. & Ganopolsky M.I. Effects of large-scale blasts in underground mining of iron ore deposits on buildings and population of the town of Gubkin. *Vzryvnoe delo*, 2018, (121), pp. 135-153. (In Russ.).

15. Medvedev S.V. Seismics of mining blasts. Moscow, Nedra Publ., 1964, 188 p. (In Russ.).

## Acknowledgements

The research was performed as part of Activity No.1 of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation as of May 11, 2022, and Agreement No. 075-15-2022-1185 as of September 28, 2022, on providing grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with Item 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation.

## For citation

Averin A.P. & Kharchenko A.V. Criteria for assessing the negative impact of mass explosions on the environment. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 44-48. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-44-48.

## Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022