

Геофизические поисково-оценочные исследования в условиях подземного рудника

Харисов Т. Ф.^{1,2*}, Мельник В. В.¹, Замятин А. Л.¹

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: timur-ne@mail.ru

Реферат

Введение. Геофизические методы исследования массива горных пород являются одним из наиболее эффективных способов решения различных задач в горном деле и широко применяются в горной, газовой и нефтяной промышленности, а также в науке. Они позволяют дистанционно вести поисковые и поисково-оценочные работы, выявлять структурные неоднородности, пустоты, зоны контактов различных сред в массиве горных пород с достаточно высокой точностью. В настоящей работе представлен пример решения задачи, заключающейся в поиске упавшего и расклиненного проходческого трехъярусного полка в эксплуатируемом стволе.

Методика проведения исследований. Для поисков были применены следующие геофизические методы: метод спектрального сейсмопрофилирования, метод георадарного зондирования. Метод спектрального сейсмопрофилирования основан на использовании зависимости между спектральным составом колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность горного массива, и структурным строением этого массива. Основой метода георадарного зондирования является отражение электромагнитной волны от границ между средами, имеющими различные электрофизические свойства.

Результаты исследований. Использование геофизических методов позволило выявить следующие границы расположения металлического полка, заваленного горной массой в вертикальном стволе: 5,5–6,0 м, 10,5–11,0 м, 15 м. Совмещенные результаты двух методов измерений и их сравнительный анализ показывают достаточно высокую сходимость, а значит, подтверждается и достоверность полученных результатов. Разведочное бурение наклонных скважин из горизонтальной выработки подтвердило полученные результаты.

Ключевые слова: георадар; геофизические исследования; пробка; ствол шахты; горный массив; спектральное сейсмопрофилирование.

Введение. Геофизические методы исследования массива горных пород являются одним из наиболее эффективных способов решения различных задач в горном деле и широко применяются в горной, газовой и нефтяной промышленности, а также в науке. Они позволяют дистанционно вести поисковые и поисково-оценочные работы, выявлять структурные неоднородности, пустоты, зоны контактов различных сред в массиве горных пород с достаточно высокой точностью [1–9].

Специалистами Института горного дела УрО РАН геофизические методы применяются в том числе для решения нестандартных задач на подземных рудниках и карьерах. Одной из таких задач в 2015 г. было определение мощности пробки из грунта и обломков крепи в стволе «Шахты им. С. М. Кирова» для оценки возможности ее устранения и разработки необходимых мероприятий по ликвидации аварийного ствола [10–13].

В настоящей работе представлен пример решения задачи, заключающейся в поиске упавшего и расклиненного проходческого трехъярусного полка в эксплуатируемом стволе. Исходя из предоставленной информации, причиной падения полка явилась скопившаяся на нем за несколько лет горная масса в виде россыпи в процессе выдачи руды, а также разгрузка скипа в ствол. Объем упавшей породы

со скипа составил приблизительно 14–30 м³. Совокупность воздействия данных факторов повлекла за собой срыв полка с креплений и его падение по стволу. Необходимо отметить, что на основании имеющейся информации, предоставленной специалистами рудника, ствол на момент падения был частично затоплен. Падение полка на скопившуюся в стволе воду и последующая деформация металлоконструкций от удара о воду привели к его расклиниванию между стенок ствола. Отметка, на которой находился полк после падения, точно не определена.

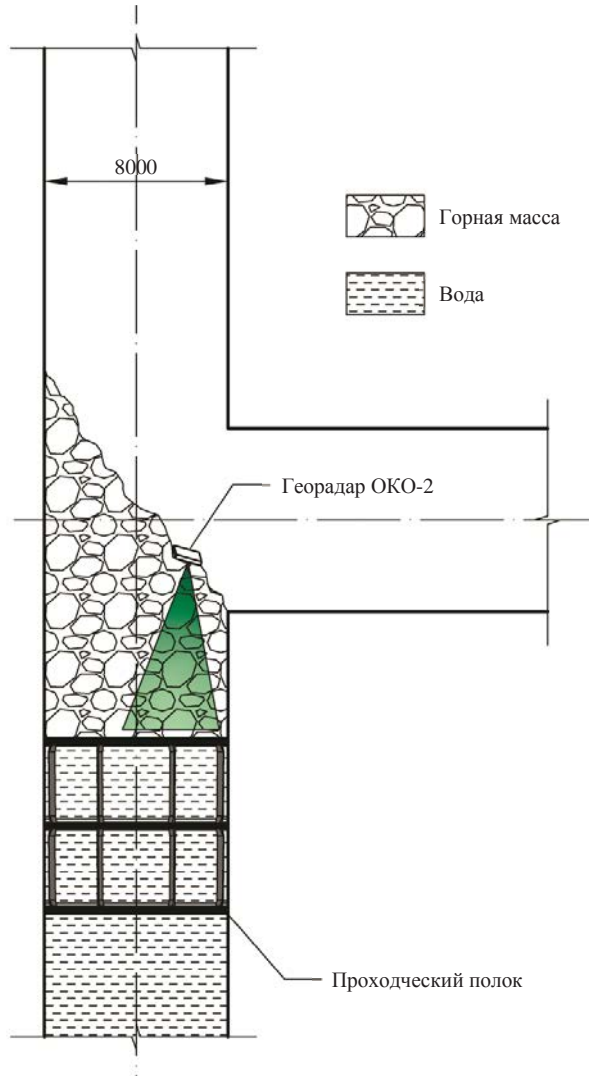


Рис. 1. Схема проведения геофизических исследований
Fig. 1. Scheme of geophysical research

Сложность данной ситуации заключалась еще и в том, что объем скопившейся горной массы на полке точно не известен. Визуальное обследование пробки с горизонта, с которого есть доступ, не дало положительных результатов, так как с почвы горизонта видна только верхняя часть горной массы, а мощность ее неизвестна. Каких-либо частей полка, торчащих из горной массы, не наблюдалось (рис. 1).

Методика проведения исследований. С целью определения мощности образовавшейся пробки из горной массы и отметки расположения металлического полка в стволе для последующего устранения аварийной ситуации были применены следующие геофизические методы:

- метод спектрального сеймопрофилирования (ССП);
- метод георадарного зондирования.

Метод спектрального сеймопрофилирования основан на использовании зависимости между спектральным составом колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность горного массива, и структурным строением этого массива.

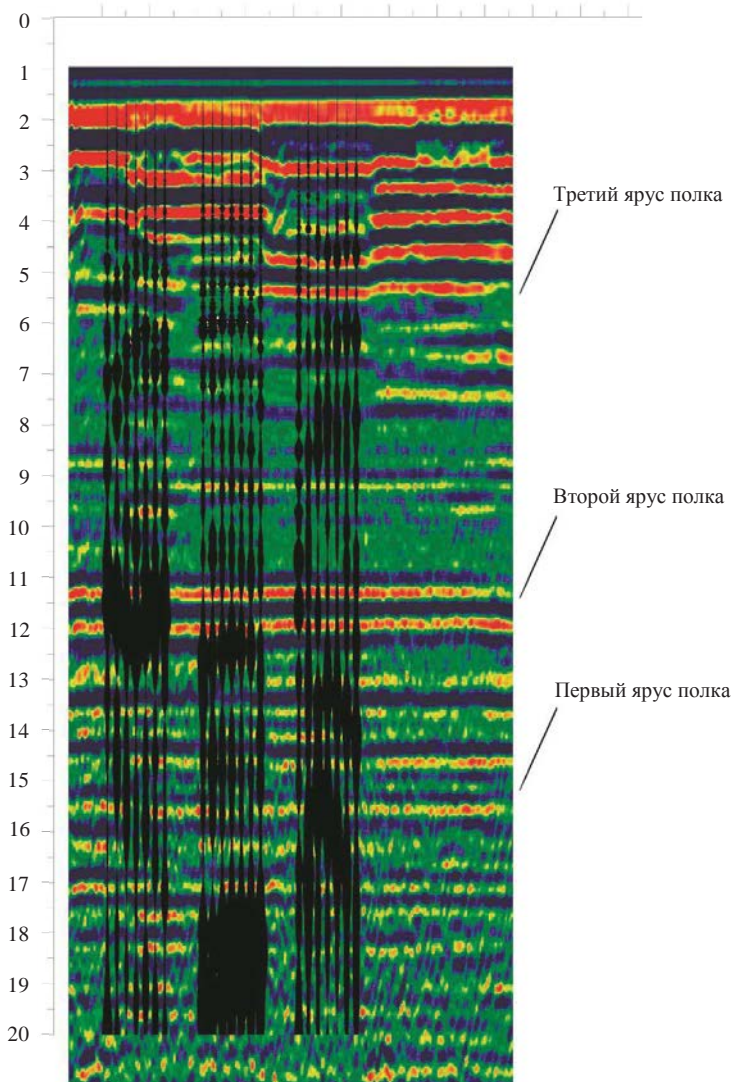


Рис. 2. Совмещенные результаты геофизических исследований
Fig. 2. Combined results of geophysical research

Границы, выявляемые данным методом, представляют собой поверхности, по которым возможно взаимное проскальзывание соседних сред, т. е. трещины и контакты горных пород. Основными объектами, выявляемыми методом ССП,

являются как открытые, так и сомкнутые трещины и их совокупности, т. е. зоны трещиноватости. Использование ССП для поиска металлоконструкций в подземных условиях специалистами отдела геомеханики ИГД УрО РАН ранее не производилось. Однако наработан достаточно большой опыт проведения исследований методом ССП в подземных условиях [12–14].

Для увеличения точности и достоверности результатов параллельно было выполнено георадарное зондирование исследуемого участка.

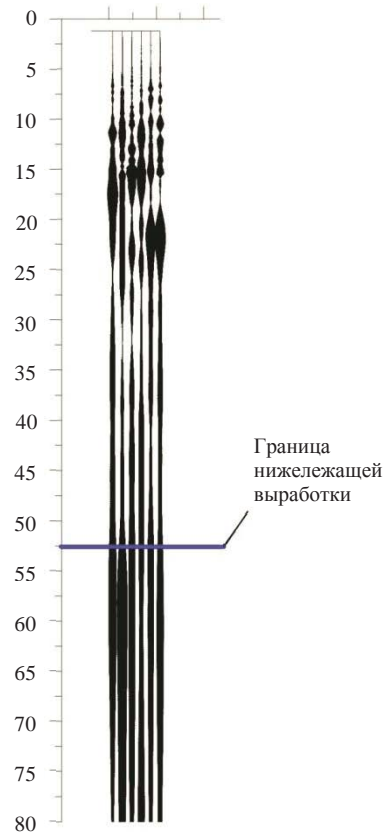


Рис. 3. Результаты спектрального сейсмопрофилирования
Fig. 3. Results of spectral seismic profile

локации в различных средах, являются удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами. Затухание определяет глубинность зондирования, скорость – расстояние до отражающей границы [15].

Результаты исследований. Полученные результаты выполненного комплексного геофизического исследования с помощью георадарного зондирования и спектрального сейсмопрофилирования были совмещены для сравнительного анализа и представлены на рис. 2, где отображена совокупность слоев.

На глубине около 5,5 м проявляется четкая граница нескольких сред с различной диэлектрической проницаемостью. Верхняя часть слоев до глубины 5,5 м соответствует раздробленной горной массе, состоящей преимущественно из руды, которая находится на третьем ярусе металлического полка. Нижняя часть слоев до глубины 11 м имеет иные характеристики и является водной средой,

Основой метода георадарного зондирования является отражение электромагнитной волны от границ между средами, имеющими различные электрофизические свойства. В работе использовался георадар ОКО-2 с экранированными антенными блоками. Он позволяет исследовать горный массив на глубину до 30 м с ранжированием породного блока по электромагнитным свойствам. Принцип действия георадара основан на излучении сверхширокополосных наносекундных импульсов, приеме сигналов, отраженных от границ раздела пород или иных отражающих объектов, обработке принятых сигналов и последующем измерении временных интервалов между отраженными импульсами. Основная задача, решаемая с использованием данного метода, состояла в определении положения границ раздела в изучаемых конструкциях. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между материалом и воздухом, контакты между материалами различных свойств и состава. Модель среды представляется в виде слоистой толщи с постоянными электрофизическими свойствами внутри каждого слоя и локальных объектов, отличающихся по электрофизическим свойствам от вмещающего материала. Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадио-

которая заполняет пространство между ярусами полка. Граница на глубине около 11 м является вторым ярусом. Нижняя часть профиля зондирования представлена сигналами, отраженными от металлических конструкций полка и скопившейся горной массы, и их интерпретация затруднительна.

Результаты метода спектрального сейсмопрофилирования представлены тремя профилями, которые соответствуют трем измерениям на различных участках пробки (рис. 2). На нем отображено изменение плотности спектра, которое характеризует различные границы, через которые проходит сигнал.

Приблизительные границы, на которых происходит увеличение плотности спектра, следующие: 5,5–6,0 м, 10,5–11,0 м, 15 м. При этом на каждом из профилей границы несколько отличаются, что, возможно, вызвано деформацией полка и металлоконструкций. Совмещенные результаты двух методов измерений и их сравнительный анализ показывают достаточно высокую сходимость, а значит, подтверждается и достоверность полученных результатов.

В качестве эксперимента также были выполнены геофизические измерения в 20 м от ствола. Результаты серии измерений, выполненных в почве горизонтальной выработки для поиска нижележащего горизонта, представлены на рис. 3.

Изменение плотности спектра отслеживается на глубине около 55 м, что совпадает с фактической отметкой расположения нижележащей выработки, что также подтвердило достоверность получаемой методом спектрального сейсмопрофилирования информации в подземных условиях.

Выводы. Использование геофизических методов в вариантах спектрального сейсмопрофилирования и георадарного зондирования выявило следующие границы расположения металлического полка, заваленного горной массой в вертикальном стволе: 5,5–6,0 м, 10,5–11,0 м, 15 м. Разведочное бурение наклонных скважин из горизонтальной выработки подтвердило полученные результаты.

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о том, что представленный комплекс геофизических исследований позволяет достоверно определять границы выработанного пространства и производить поиски металлических конструкций в массиве горных пород или раздробленной горной массы в подземных горных выработках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрианов С. В. Мониторинг состояния заобделочного пространства горных выработок методом георадиолокации // ГИАБ. 2019. № 5. С. 124–132.
2. Гапонов Д. А., Фоменко Л. Н., Шеремет Р. Д. Применение георадара для контроля качества закрепления грунтов // Инженерный вестник Дона. 2016. № 3(42). С. 68.
3. Серегин М. Ю. Перспективы развития георадиолокации // Наука и бизнес: пути развития. 2012. № 5(11). С. 70–72.
4. Носкевич В. В., Федорова Н. В. Использование метода георадиолокации для исследований древнего медного рудника «Воровская яма» на Южном Урале // Известия Уральского государственного горного университета. 2018. № 4(52). С. 61–67.
5. Калашник А. И., Дьяков А. Ю. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 6. С. 73–78.
6. Fischanger F., Morelli G., Ranieri G., Santarato G., Occhi M. 4D crossborehole electrical resistivity tomography to control resin injection for ground stabilization: a case history in Venice (Italy) // Near Surface Geophysics. 2013. Vol. 11. P. 41–50.
7. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils // Engineering Geology. 2011. Vol. 119. P. 18–30.
8. Elsayed I. S., Alhussein A. B., Gad E., Mahfooz A. H. Shallow seismic refraction, two-dimensional electrical resistivity imaging, and ground penetrating radar for imaging the ancient monuments at the Western Shore of old Luxor City, Egypt // Archaeological Discovery. 2014. Vol. 2. No. 2. P. 31–43.
9. Conyers L. B. Ground-penetrating radar for geoarchaeology. Analytical methods in earth and environmental science. N. Y.: Wiley, 2016. 160 p.
10. Харисов Т. Ф., Замятин А. Л., Ведерников А. С. Особенности ликвидации ствола шахты им. С. М. Кирова Турьинского медного рудника // Проблемы недропользования. 2015. № 2(5). С. 19–24.

11. Харисов Т. Ф., Замятин А. Л., Ведерников А. С. Инженерно-геофизические исследования при ликвидации ствола шахты им. С. М. Кирова Турьинского медного рудника // ГИАБ. 2016. № 3. С. 350–357.
12. Мельник В. В., Замятин А. Л. Исследование структурных особенностей массива горных пород подземных сооружений // Известия вузов. Горный журнал. 2008. № 8. С. 165–171.
13. Мельник В. В. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок // ГИАБ. 2005. № 10. С. 69–74.
14. Гликман А. Г. Применение спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) для поисков месторождений полезных ископаемых // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2001. № 3. С. 31–35.
15. Набатов В. В. Повышение эффективности георадиолокационного обследования конструкций тоннелей метрополитенов за счет уменьшения помехового влияния прямой волны // ГИАБ. 2014. № S1. С. 43–55.

Поступила в редакцию 29 сентября 2019 года

Сведения об авторах:

Харисов Тимур Фаритович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геомеханики подземных сооружений Института горного дела УрО РАН, доцент кафедры шахтного строительства Уральского государственного горного университета. E-mail: timur-ne@mail.ru
Мельник Виталий Вячеславович – кандидат технических наук, заведующий отделом геомеханики Института горного дела УрО РАН. E-mail: melnikvv74@mail.ru
Замятин Алексей Леонидович – научный сотрудник лаборатории технологии снижения риска катастроф при недропользовании Института горного дела УрО РАН. E-mail: melnikvv74@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55

Geophysical researches in mine

Timur F. Kharisov^{1,2}, Vitalii V. Melnik¹, Aleksei L. Zamiatin¹

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. Geophysical methods of rock mass research are among the most effective ways of solving various mining problems being widely used in mining, gas and oil industry, as well as in science. They allow to conduct prospecting and prospect evaluation remotely, to reveal structural heterogeneity, cavities, zones of contacts of various environments in the rock mass with rather high precision. The article contains an example of solution to the problem of finding a fallen and spread through three-tier shelf in an operated shaft.

Research methodology. Spectral seismic profile (SSP) method and GPR were used for prospecting. SSP is based on the dependence between the spectral composition of the oscillatory process occurring when rock mass exposed surface undergoes impact effect, and the structure of the rock mass. GPR method is based on the reflection of the electromagnetic wave from boundaries between media with different electrophysical properties.

Research results. Geophysical methods have made it possible to identify the following boundaries of the metal shelf filled with rock mass inside the vertical shaft: 5.5–6.0 m, 10.5–11.0 m, 15 m. Combined results of the two measurement methods and their comparative analysis show rather high convergence therefore confirming the reliability of the obtained results. Exploration drilling of downholes from the level working confirmed the obtained results.

Key words: GPR; geophysical research; rock creak; shaft; rock mass; spectral seismic profile.

REFERENCES

1. Andrianov S. V. GPR monitoring of space between lining and rock in underground mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2019; 5: 124–132. (In Russ.)
2. Gaponov D. A., Fomenko L. N., Sheremet R. D. Applying GPR to control the quality of soil stabilization. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*. 2016; 3(42): 68. (In Russ.)
3. Seregin M. Iu. Future development of ground-penetrating radars. *Nauka i biznes: puti razvitiia = Science and Business: Ways of Development*. 2012; 5(11): 70–72. (In Russ.)
4. Noskevich V. V., Fedorova N. V. Using the ground penetrating radar method for research of the ancient "Vorovskaya Yama" copper mine in the South Ural. *Izvestiia Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University*. 2018; 4(52): 61–67. (In Russ.)

5. Kalashnik A. I., Diakov A. Iu. Georadar research of geological-structural configuration of open pit working bench. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 6: 73–78. (In Russ.)
6. Fischanger F., Morelli G., Ranieri G., Santarato G., Occhi M. 4D crossborehole electrical resistivity tomography to control resin injection for ground stabilization: a case history in Venice (Italy). *Near Surface Geophysics*. 2013; 11: 41–50.
7. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils. *Engineering Geology*. 2011; 119: 18–30.
8. Elsayed I. S., Alhussein A. B., Gad E., Mahfooz A. H. Shallow seismic refraction, two-dimensional electrical resistivity imaging, and ground penetrating radar for imaging the ancient monuments at the Western Shore of old Luxor City, Egypt. *Archaeological Discovery*. 2014; 2(2): 31–43.
9. Conyers L. B. *Ground-penetrating radar for geoarchaeology. Analytical methods in earth and environmental science*. N. Y.: Wiley, 2016. 160 p.
10. Kharisov T. F., Zamiatin A. L., Vedernikov A. S. Some aspects of S. M. Kirov shaft abandonment in the Turinsky copper mine. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2015; 2(5): 19–24. (In Russ.)
11. Kharisov T. F., Zamiatin A. L., Vedernikov A. S. Engineering and engineering research at S. M. Kirov shaft abandonment in the Turinsky copper mine. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 3: 350–357. (In Russ.)
12. Melnik V. V., Zamiatin A. L. Investigation of structural peculiarities of rock massif in surrounding of underground structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2008; 8: 165–171. (In Russ.)
13. Melnik V. V. Applying the method of spectral seismic profile to assess the state of rock mass around mine workings. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2005; 10: 69–74. (In Russ.)
14. Glikman A. G. Applying the method of spectral seismic profile for mineral deposits prospecting. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii = Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2001; 3: 31–35. (In Russ.)
15. Nabatov V. V. Reduction of interfering influence of the direct wave when GPR survey of subway tunnels through suppression of artifacts processing of experimental data. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; S1: 43–55. (In Russ.)

Received 29 September 2019

Information about authors:

Timur F. Kharisov – PhD (Engineering), senior researcher, Laboratory of Geomechanics of Underground Structures, Institute of Mining UB RAS, associate professor of the Department of Mine Construction, Ural State Mining University. E-mail: timur-ne@mail.ru

Vitalii V. Melnik – PhD (Engineering), Head of Geomechanics Department, Institute of Mining UB RAS. E-mail: melnikvv74@mail.ru

Aleksei L. Zamiatin – researcher, Laboratory of Technologies for Disaster Risk Reduction in Subsoil Use, Institute of Mining UB RAS. E-mail: melnikvv74@mail.ru

Для цитирования: Харисов Т. Ф., Мельник В. В., Замятин А. Л. Геофизические поисково-оценочные исследования в условиях подземного рудника // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 49–55. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55

For citation: Kharisov T. F., Melnik V. V., Zamiatin A. L. Geophysical researches in mine. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 49–55 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55