

УДК 550.83:550.34

Харисов Тимур Фаритович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория геомеханики
подземных сооружений,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 58;
доцент кафедры шахтного строительства,
Уральский государственный
горный университет,
г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
e-mail: Timur-ne@mail.ru

Мельник Виталий Вячеславович

кандидат технических наук,
заведующий отделом геомеханики,
Институт горного дела УрО РАН.
e-mail: melnikvv74@mail.ru

Замятин Алексей Леонидович

научный сотрудник,
лаборатория технологии снижения
риска катастроф при недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН.
e-mail: A.zamyatin@mail.ru

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ ПОИСКА НЕОДНОРОДНОСТЕЙ
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО
ХАРАКТЕРА***Аннотация:*

Представлен пример применения геофизических методов исследований для 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.

Для увеличения точности и достоверности результатов параллельно были выполнены измерения с использованием метода спектрального сейсмопрофилирования (ССП) и георадарного зондирования массива горных пород. Метод СПП 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. Каждый из представленных методов имеет ограничения.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.03.053

Kharisov Timur F.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Geomechanics
of Underground Structures,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.;
Associate Professor
of the Department of Mine Construction,
Ural State Mining University,
Ekaterinburg, 30 Kuibysheva Str.
e-mail: Timur-ne@mail.ru

Melnik Vitaliy V.

Candidate of Technical Sciences,
Head of Department,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: melnikvv74@mail.ru

Zamyatin Alexey L.

Researcher,
Laboratory of Technologies of Decrease in Risk
of Accidents at Mineral Development,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: A.zamyatin@mail.ru

**EXPERIENCE OF APPLICATION
OF GEOPHYSICAL METHODS
FOR SEARCH OF HETEROGENEITIES
OF NATURAL AND TECHNOLOGICAL
CHARACTER***Abstract:*

The paper presents an example of application of geophysical research methods to solve the problem of finding a fallen and cleaved three-storied sinking platform in the operated barrel. Based on the information provided, the fall of the platform was caused by the accumulated rock mass in the form of placer in the process of ore release, as well as the unloading of the skip into the shaft.

To increase the accuracy and reliability of the results, parallel measurements were made using the spectral seismic profiling (SSP) and georadar sensing of the rock mass. The method of spectral seismic profiling (SSP) is based on the use of dependence between the spectral composition of the oscillatory process arising from the impact on the exposed surface of the rock mass, and the structural composition of the array. The basis of the GPR method is the reflection of an electromagnetic wave from junction of masses with different electrophysical properties. Each of the presented methods has limitations.

The results of the complex geophysical survey let us to reveal the following boundaries of the location of the metal platform covered with rock mass in the vertical shaft: 5.5-6.0 m, 10.5-11.0 m, 15 m.

Результаты выполненного комплексного геофизического исследования позволили 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. Выполненное разведочное бурение наклонных скважин из горизонтальной выработки подтвердило полученные результаты исследований.

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

The combined results of the two measurement methods and their comparative analysis show rather high convergence, and thus the reliability of the obtained results has been also confirmed. Performed exploratory drilling of deviated wells from horizontal excavation confirmed the obtained results.

Keywords: georadar, geophysical research, plug, shaft, mountain massif, spectral seismoprofiling.

Введение

Исследования массива горных пород с использованием геофизических методов, таких как георадарное зондирование, электрометрия, электротомография, магниторазведка и другие, являются одним из наиболее эффективных способов решения различных поисково-оценочных задач. Они позволяют выявлять структурные неоднородности, пустоты, зоны контактов различных сред в массиве горных пород с достаточно высокой точностью, что является причиной их широкого применения в горной, газовой и нефтяной промышленности, а также в науке [1 – 9].

Специалистами Института горного дела УрО РАН геофизические методы применяются в том числе для решения нестандартных задач на подземных рудниках и в 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 статье представлен опыт решения задачи, заключающейся в поиске упавшего и застрявшего проходческого трехъярусного полка в эксплуатируемом скиповом стволе действующего рудника. Исходя из предоставленной информации известно, что причиной падения полка была совокупность двух негативных факторов.

Первым фактором был скопившийся на полке за несколько лет большой объем горной массы в виде россыпи, который образовался в процессе выдачи руды и породы. Вторым фактором, инициирующим падение полка, оказалась внезапная разгрузка скипа в ствол. Объем упавшей породы составил приблизительно 14 – 30 м³. Воздействие данных факторов повлекло за собой срыв полка с креплений и его падение вниз по стволу. Необходимо отметить, что на момент падения ствол 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.

Сложность данной ситуации заключается в том, что полок и скопившаяся на нем горная масса образовали пробку в стволе. Отметка, на которой находится сам полок, точно не определена, так как мощность скопившейся сверху горной массы на полке точно неизвестна. Визуальное обследование пробки с ближайшего горизонта, с которого есть доступ, не дало положительных результатов, так как видна была только верхняя часть горной массы, а мощность ее неизвестна. Какие-либо части металлического полка, торчащие из горной массы, отсутствовали (рис. 1).

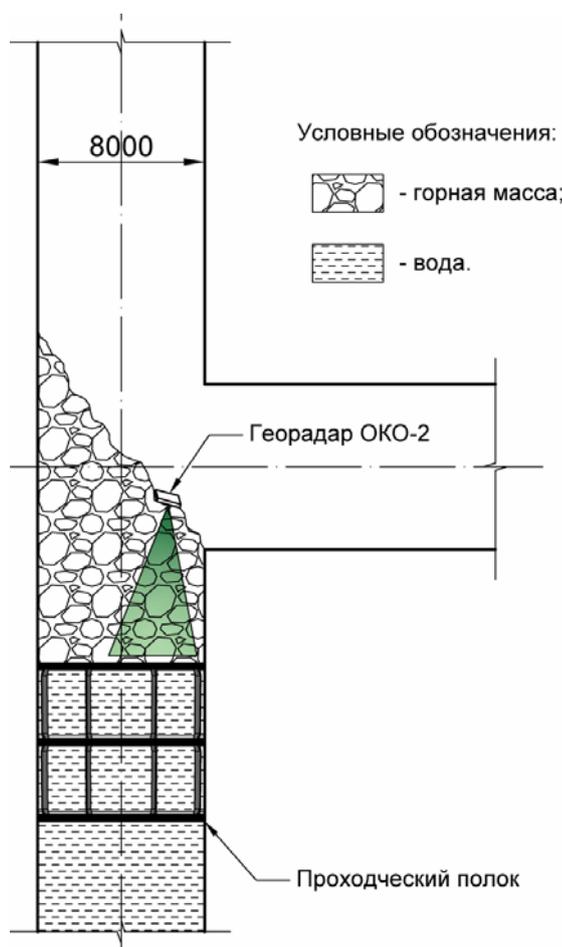


Рис. 1 – Схема проведения геофизических исследований

Методика проведения исследований

С целью определения мощности образовавшейся «пробки» из горной массы и отметки расположения металлического полка в стволе для последующего ее устранения и демонтажа полка был применен комплекс геофизических методов:

- спектральное сейсмопрофилирование (ССП);
- георадарное зондирование.

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

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, то есть 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.

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 георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами. Затухание определяет глубину 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.

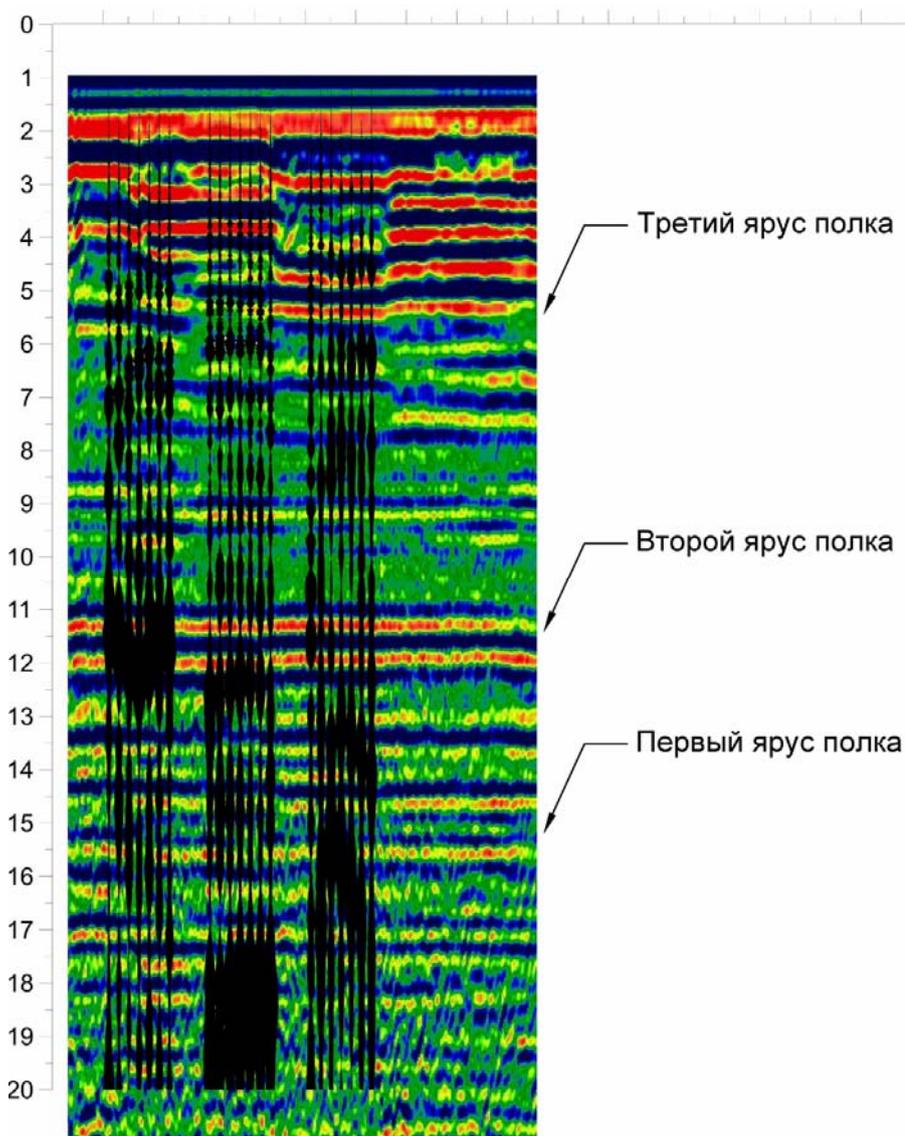


Рис. 2 – Совмещенные результаты геофизических исследований

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

Результаты метода спектрального сейсмопрофилирования, представленные на рис. 2, состоят из трех профилей, которые соответствуют трем измерениям на различных участках пробки. На них 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 выполненной серии измерений в почву горизонтальной выработки для поиска нижележащего горизонта представлены на рис. 3.

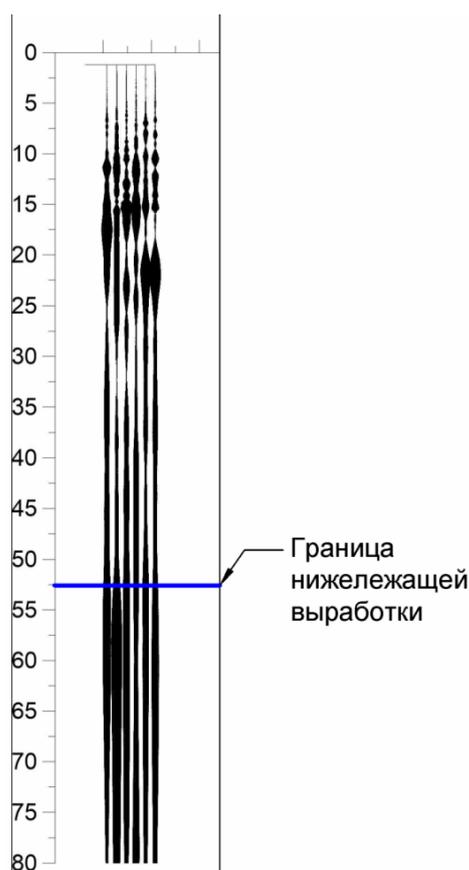


Рис. 3 – Результаты спектрального сейсмопрофилирования

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

На основании выполненных исследований можно сделать следующие 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.
- 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.

Список литературы

1. Андрианов С.В., 2019. Мониторинг состояния заобделочного пространства горных выработок методом георадиолокации. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № 5, С. 124 - 132.
2. Гапонов Д.А., Фоменко Л.Н., Шеремет Р.Д., 2016. Применение георадара для контроля качества закрепления грунтов. *Инженерный вестник Дона*, № 3 (42), С. 68.
3. Серегин М.Ю., 2012. Перспективы развития георадиолокации. *Наука и бизнес: пути развития*, № 5 (11), С. 70 - 72.
4. Носкевич В.В., Федорова Н.В., 2018. Использование метода георадиолокации для исследований древнего медного рудника "Воровская яма" на Южном Урале. *Известия Уральского государственного горного университета*, № 4 (52), С. 61 - 67.
5. Калашник А.И., Дьяков А.Ю., 2015. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 6, С. 73 - 78.
6. Fischanger F., Morelli G., Ranieri G., Santarato G., Occhi M., 2013. 4D crossborehole electrical resistivity tomography to control resin injection for ground stabilization: a case history in Venice (Italy). *Near Surface Geophysics*, V. 11., P. 41 - 50.
7. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D., 2011. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils. *Engineering Geology*, V. 119, P. 18 – 30.
8. Elsayed I. S., Alhussein A. B., Gad E., Mahfooz A.H., 2014. 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*, Vol. 2, № 2, P. 31 – 43.
9. Conyers L.B., 2016. Ground-penetrating Radar for Geoarchaeology. *Analytical Methods in Earth and Environmental Science*, N. Y.: Wiley, 160 p.
10. Харисов Т.Ф., Замятин А.Л., Ведерников А.С., 2015. Особенности ликвидации ствола шахты им. С. М. Кирова Турьинского медного рудника. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.02.019. *Проблемы недропользования*, № 2 (5), С. 19 - 24.
11. Харисов Т.Ф., Замятин А.Л., Ведерников А.С., 2016. Инженерно-геофизические исследования при ликвидации ствола шахты «Им. С.М. Кирова» Турьинского медного рудника. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № 3, С. 350 - 357.
12. Мельник В.В., Замятин А.Л., 2008. Исследование структурных особенностей массива горных пород подземных сооружений. *Известия вузов. Горный журнал*, № 8, С. 165 -171.
13. Мельник В.В., 2005. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных

выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № 10, С. 69 -74.

14. Гликман А.Г., 2001. Применение спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) для поисков месторождений полезных ископаемых. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, № 3, С. 31 - 35.

15. Набатов В.В., 2014. Повышение эффективности георадиолокационного обследования конструкций тоннелей метрополитенов за счет уменьшения помехового влияния прямой волны. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № S1, С. 43-55.

References

1. Andrianov S.V., 2019. *Monitoring sostoyaniya zaobdelochnogo prostranstva gornykh vyrabotok metodom georadiolokatsii* [State Monitoring of Finishing Space of Mine Workings by Geo-radiolocation]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, № 5, S. 124 – 132.

2. Gaponov D.A., Fomenko L.N., Sheremet R.D., 2016. *Primenenie georadara dlya kontrolya kachestva zakrepleniya gruntov* [Use of GPR to Control the Quality of Soil Consolidation]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, № 3 (42), S. 68.

3. Seregin M.Yu., 2012. *Perspektivy razvitiya georadiolokatsii* [Prospects of Development of Geo-radiolocation]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, № 5 (11), S. 70 - 72.

4. Noskevich V.V., Fedorova N.V., 2018. *Ispol'zovanie metoda georadiolokatsii dlya issledovaniy drevnego mednogo rudnika "Vorovskaya yama" na Yuzhnom Urale* [Use of Georadar Method for Exploration of the Ancient Copper Mine "Vorovskaya Yama" in the Southern Urals]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, № 4 (52), S. 61 - 67.

5. Kalashnik A.I., D'yakov A.Yu., 2015. *Georadarnoe issledovanie geologo-strukturnogo stroeniya rabocheho ustupa kar'era* [GPR Exploration of Geological and Structural Formation of Working Quarry Ledge]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 6, S. 73 - 78.

6. Fischanger F., Morelli G., Ranieri G., Santarato G., Occhi M., 2013. 4D crossborehole electrical resistivity tomography to control resin injection for ground stabilization: a case history in Venice (Italy). *Near Surface Geophysics*, V. 11., P. 41 - 50.

7. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D., 2011. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils. *Engineering Geology*, V. 119., P. 18 – 30.

8. Elsayed I. S., Alhussein A. B., Gad E., Mahfooz A.H., 2014. 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*, Vol. 2, № 2, P. 31 – 43.

9. Conyers L.B., 2016. *Ground-penetrating Radar for Geoarchaeology. Analytical Methods in Earth and Environmental Science.*, N. Y.: Wiley, 160 p.

10. Kharisov T.F., Zamyatin A.L., Vedernikov A.S., 2015. *Osobennosti likvidatsii stvola shakhty im. S. M. Kirova Tur'inskogo mednogo rudnika* [Special Aspects of Elimination of Kirov Shaft of Turyinsky Copper Mine]. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.02.019. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2 (5), S. 19 - 24.

11. Kharisov T.F., Zamyatin A.L., Vedernikov A.S., 2016. *Inzhenerno-geofizicheskie issledovaniya pri likvidatsii stvola shakhty "Im. S. M. Kirova" Tur'inskogo mednogo rudnika* [Engineering-and-geophysical Research of Elimination of the Shaft "Im. S.M. Kirov" of Turyinsky Copper Mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, № 3, S. 350 - 357.

12. Mel'nik V.V., Zamyatin A.L., 2008. *Issledovanie strukturnykh osobennostei massiva gornykh porod podzemnykh sooruzhenii* [Study of Structural Features of the rock mass of

Underground Constructions]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*, № 8, S. 165 -171.

13. Mel'nik V.V., 2005. *Primenenie metoda spektral'nogo seismoprofilirovaniya dlya otsenki geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornyykh porod vokrug shakhtnykh vyrabotok* [Application of Spectral Seismic Profiling Method to Assess Geomechanical State of Rock Mass around Mine Workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, № 10, S. 69 -74.

14. Glikman A.G., 2001. *Primenenie spektral'no-seismorazvedochnogo profilirovaniya (SSP) dlya poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Application of spectral-seismic profiling (SSP) for prospecting of mineral deposits]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii*, № 3, S. 31 - 35.

15. Nabatov V.V., 2014. *Povyshenie effektivnosti georadiolokatsionnogo obsledovaniya konstruksii tonnelei metropolitenov za schet umen'sheniya pomekhovogo vliyaniya pryamoi volny* [Improving Efficiency of Geo-radar Inspection of Subway Tunnel Constructions due to Reducing the Interference Effect of Direct Waves]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, № S1, S. 43-55.