

УДК 622.02:550.3

Шевченко Максим Дмитриевич

младший научный сотрудник,
лаборатория технологии снижения риска
катастроф при недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: sevcenkomaksim625@gmail.com

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 технологий снижения риска ката-
строф при недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: a.zamyatin@mail.ru

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА УЧАСТКАХ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ
РУДНИКОВ****Аннотация:*

Представлен опыт применения современных геофизических методов для исследования подработанной территории на строительной площадке шахтного ствола. Актуальность выполнения данных исследований вызвана широкой распространенностью природно-техногенных аварий, связанных с нарушением массива горных пород при строительстве и эксплуатации горных выработок. Цель исследований заключалась в проведении геофизических исследований, нацеленных на получение необходимой информации о структурном строении массива горных пород для определения причин произошедшего провала земной поверхности на площадке строительства надшахтного здания.

Объектом исследований является массив горных пород, вмещающих горные выработки, находящийся в основании объектов капитального строительства, расположенных на поверхности.

Основная решаемая задача заключается в определении участков структурного нарушения породного массива на территории исследования, определение причин развития аварийных ситуаций для принятия решений по стабилизации ситуации.

При исследовании породного массива используется метод георадиолокации, основанный на

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.105

Shevchenko Maxim D.

Junior Researcher,
Laboratory of technologies for reducing
the risk of catastrophes in subsoil use,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: sevcenkomaksim625@gmail.com

Melnik Vitaliy V.

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

Zamyatin Aleksey L.

Researcher,
Laboratory of technologies for reducing
the risk of catastrophes in subsoil use,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: a.zamyatin@mail.ru

**GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS
AT CONSTRUCTION AND OPERATION
SITES OF UNDERGROUND MINES***Abstract:*

The paper presents the experience of using modern geophysical methods to study the undermined area at the construction site of a mineshaft. The relevance of these investigations is due to the wide prevalence of natural and man-made accidents associated with the violation of the rock mass during the construction and operation of mine workings. The purpose of the work was to study geophysical researches related to the obtaining of information about the structure composition of rock mass in order to determine the causes of destruction of the earth's surface in the building area of a mine construction.

The object of research is the rock mass lying at the base of capital construction objects located on the surface enclosing mine workings.

The main task to be solved is to determine the areas of structural disturbance of the rock mass in the studied area, to determine the causes of the development of hazard situations in order to make decisions on stabilizing the situation.

When investigating the rock mass the GPR method is used, based on the study of electromagnetic wave impulses and registration of signals reflected from various objects of the probed environment, as well as the spectral seismic profiling method, based on the use of the relationship between the spectral composition of the oscillatory process that occurs during impact on the exposed surface of the array,

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПП, тема 3 (2022 – 2024), (FUWE-2022-0005), рег. No1021062010531-8-1.5.1

изучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от различных объектов зондируемой среды, и метод спектрального сейсмопрофилирования, основанный на использовании зависимости между спектральным составом колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность массива, и структурным строением этого массива.

По результатам представленных исследований выявлены причины возникновения провала земной поверхности и особенности структурного строения территории. Установлено, что в результате техногенного воздействия (строительства шахтного ствола) на массив горных пород произошли изменения в геологической среде, что привело к возникновению провала на земной поверхности.

Комплексирование представленных методов геофизических исследований показало высокую эффективность при решении поставленной задачи, достоверность получаемой информации подтверждается по результатам буровых и проходческих работ, выполненных на данной площадке.

Ключевые слова: геофизические исследования, подработанные территории, георадарное зондирование, спектральное сейсмопрофилирование, природно-техногенные катастрофы, геологические процессы, провалы земной поверхности, деформация зданий и сооружений.

and the structural composition of this array.

According to the results of the presented studies, we revealed the causes for the occurrence of the sinkhole of the earth's surface and the features of the whole structure of the territory. It has been established that, because of the man-made impact (construction of a mine shaft) on the rock mass, changes occurred in the geological environment, which led to the occurrence of a failure on the earth's surface.

The integration of the presented methods of geophysical research showed high efficiency in solving the problem; the reliability of the information obtained is confirmed by the results of drilling and tunneling operations performed at this site.

Key words: geophysical surveys, undermined territories, georadar sounding, spectral seismic profiling, natural and man-made disasters, geological processes, failures of the earth's surface, deformation of buildings and structures.

Введение

На современном этапе развития горнопромышленной отрасли одной из актуальных задач является обеспечение безопасного ведения горных работ. Особую важность данная задача приобретает, когда речь идет о строительстве и эксплуатации объектов, расположенных на территориях подземной отработки месторождений, где обеспечение безопасности требует знаний о физических свойствах грунтов, не только подстилающих фундамент, но и распространяющихся до глубины выработанного пространства, о том, что приводит к деформации земной поверхности и, следовательно, к природно-техногенным катастрофам.

Основной причиной возникновения катастроф является деформация земной коры, вызванная природными или техногенными причинами [1 – 5], напрямую влияющая на целостность построек.

Как в мировой, так и в отечественной горной практике известно множество случаев возникновения аварий, связанных с деформацией земной поверхности. К примеру, в конце мая 2008 г. на территории заброшенного рудника «Моокеук» в Корее образовался провал, из-за которого были разрушены хозяйственные постройки [6]. В 2021 г. постройки на территории шахты «10-летия независимости Казахстана» были подвержены деформации и частичному разрушению в результате влияния подземных выработок [7]. Здание, находящееся на территории старых подземных выработок Березовского золоторудного месторождения, подвергается постоянным деформациям с образованием трещин в стенах здания и провалов на прилегающих территориях [8]. Образовались провалы в жилых массивах, в районе города Соликамска: провал в 2014 г. образовался на расстоянии 1,3 км от магистрали газопровода, и за два года его размер увеличился в 25 раз [9].

Перечисленные аварии, случившиеся на объектах, расположенных на подработанных территориях, показали, что территории над подземными выработками являются объектами повышенной опасности и требуют более детального изучения для предотвращения негативных последствий. Таким образом, можно сделать вывод, что проведение геофизических исследований на подработанных территориях является актуальным при решении задач обеспечения безопасного строительства и эксплуатации зданий и сооружений на данных территориях.

Цель настоящих исследований заключалась в проведении геофизических исследований, нацеленных на получение необходимой информации о структурном строении массива горных пород для определения причин произошедшего провала земной поверхности на площадке строительства надшахтного здания подземного рудника.

Краткая характеристика объекта исследования

Участок изысканий находится в Российской Федерации, в Республике Башкортостан.

На участке исследований массив скальных горных пород начинается с глубины 106 м. В верхней части массив выполнен глинизированными галечниковыми и валунно-гравийно-галечниковыми отложениями. Фильтрация подземных вод происходит в основном по небольшим по мощности валунно-галечным отложениям. Уровень подземных вод залегает на глубинах 37 – 57 м. Техногенное воздействие на геологическую среду привело к ее изменению и активизации процесса механического выноса частиц грунта в шахтный ствол – суффозии, в результате чего образовался провал земной поверхности, повлекший за собой трещины в конструктивных элементах построек (рис. 1).



Рис. 1. Фотографии трещин шахтного эксплуатационного копра

Во избежание аварийных последствий было принято решение о проведении геофизических исследований для получения информации о структурных условиях массива горных пород и прогноза дальнейшего развития деформационных процессов.

Методика проведения геофизических исследований

Методика проведения исследования включает следующие методы.

Метод георадиолокации относится к группе электромагнитных методов геофизического исследования массива горных пород. Принцип работы заключается в определении расстояния до границы раздела различных сред по скорости и времени перемещения отраженных волн. В проведении исследований использовался георадар «Око – 2» с антенным блоком АБ – 150 с центральной частотой 150 МГц. Обработка полученных данных проводилась в ПО Geoscan32.

Метод спектрального сейсмопрофилирования (ССП) значительным образом отличается от традиционной лучевой сейсморазведки. В ССП среда представляется как

совокупность колебательных систем, а не как слоистая система. Исследование проводилось с использованием аппаратно-программного ССП комплекса с отдельно запатентованным сейсмоприемником. Каждый записанный сейсмосигнал подвергается преобразованию Фурье, с помощью которого изменяющийся процесс может быть изображен на оси частот (т.е. в спектральном виде). В результате обработанные данные представляют собой изображения спектров сигналов и одновременно изображение различного рода геологических объектов в геомеханическом аспекте.

Многолетний опыт применения приведенных выше методов показал свою эффективность как на поверхности, так и в подземных условиях [10 – 14]. Часто при использовании метода георадарного зондирования возникают переотражения и помехи (от опор сети, подземных коммуникаций, металлических конструкций и т.п.). В этой связи для обеспечения максимальной достоверности получаемых результатов в условиях нарушенных горными работами территорий лучше всего использовать комплекс вышеуказанных методов.

Результаты исследований

Исследования методами спектрального сеймопрофилирования и георадарного зондирования проводились на территории, прилегающей к основному зданию и внутри помещений. На рис. 2 представлен спутниковый снимок площадки изысканий.

На рис. 3 и 4 представлены ССП-разрезы по одному профилю с разницей измерений в 10 лет (во время строительства ствола и после произошедшего инцидента с провалом грунта).

На рис. 3, 4 хорошо заметны изменения структуры горного массива за десять прошедших лет, связанные с выносом песчаной фракции и образованием суффозионной полости за счет откачки воды из ствола при строительстве. Глубина развития суффозии по данным гидродинамического анализа разреза и полученных геофизическими методами данных составляет порядка 60 – 65 м, а нарушенный участок хорошо виден на границе гравийно-галечниковых отложений с глинистым прослоем (глубина порядка 30 м).

Сам провал произошел в непосредственной близости от данного профиля, но ближе к стволу, в районе воздействия гидродинамических нагрузок. Расположение профильных линий в статье не приводится в связи с необходимостью соблюдения обязательств перед контрагентами.



Рис. 2. Вид строительной площадки шахтного ствола (Гугл Земля)

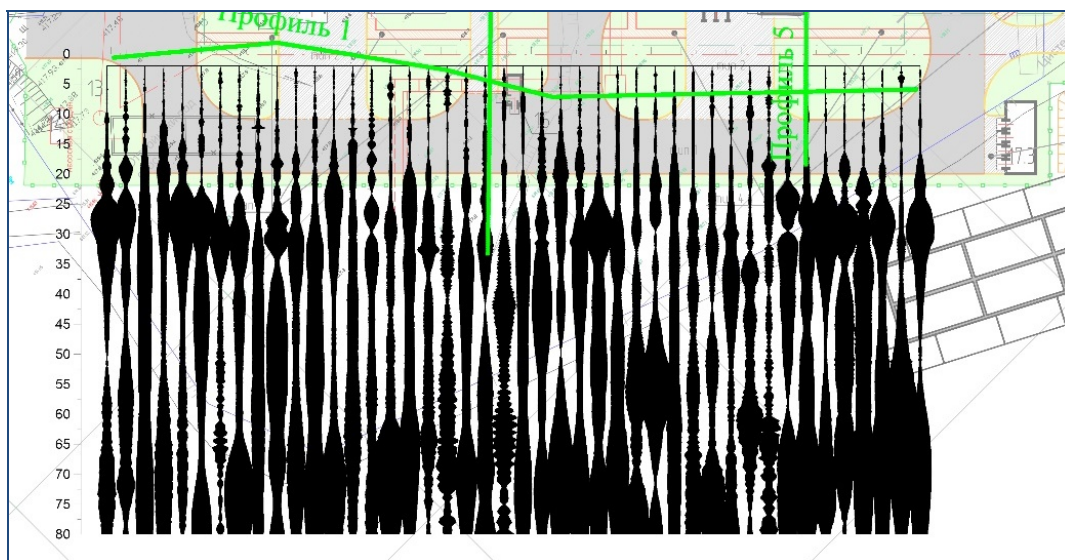


Рис. 3. ССП - разрез при измерениях 2012 г.

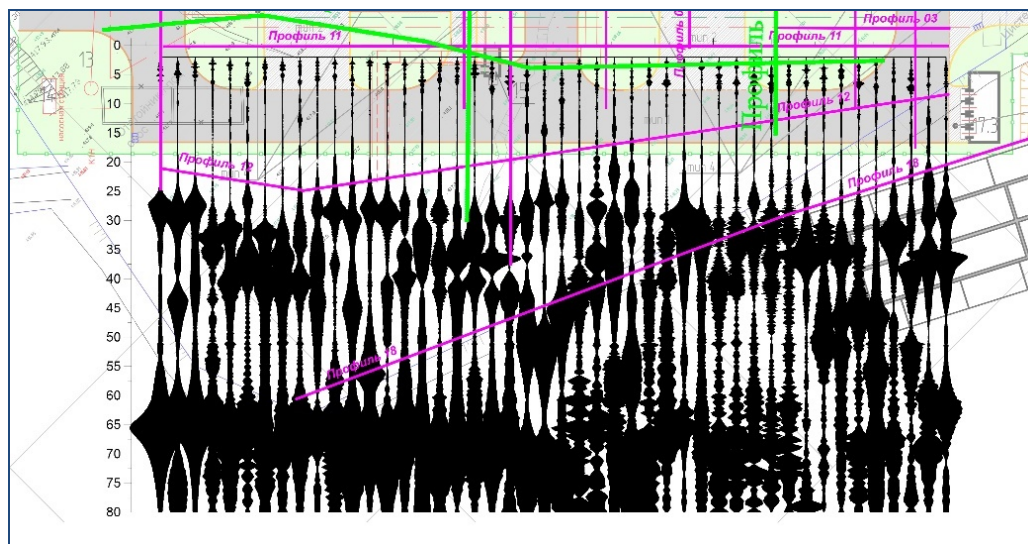


Рис. 4. ССП разрез при измерениях 2022 г.

Исследования методом георадарного зондирования на данном участке проводились больше для определения возможного зависания грунтов в непосредственной близости от фундамента здания на глубину до 16 м (рис. 5).

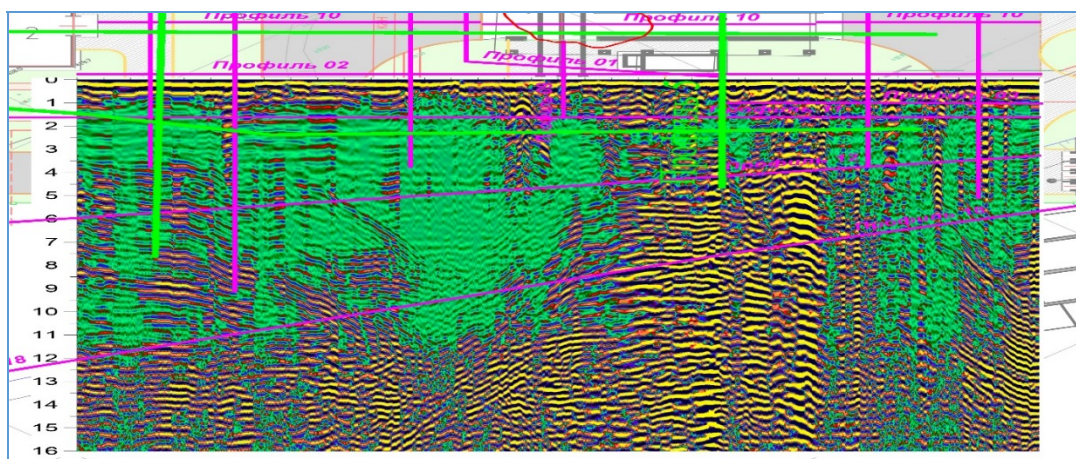


Рис. 5. Радиограмма в непосредственной близости от провала

Участок провала по георадару обозначился нарушением структуры, хорошо совпал по простиранию с результатами спектрального сейсмопрофилирования, однако дополнительных участков нарушения сплошности массива на площадке изысканий и в здании не было обнаружено. Можно констатировать, что процесс образования воронки обрушения закончился.

Заключение

Увеличение добычи минерального сырья приводит к возрастанию площадей подработанных территорий, из-за чего увеличивается риск возникновения природно-техногенных катастроф. Изменение геологической среды при антропогенном воздействии приводит к изменению ее геомеханических условий и проявлению современных геологических процессов, напрямую влияющих на безопасность ведения работ и безопасную эксплуатацию построек. Поэтому исследование подработанных горными работами территорий является актуальной задачей на современном этапе развития мировой цивилизации.

Установлено, что на участке исследования в результате изменения гидродинамического режима произошел механический вынос частиц грунта в шахтный ствол с последующей откачкой дренажными насосами, что привело к возникновению открытой полости и, соответственно, к образованию провала на земной поверхности. По результатам исследований хорошо проявляются изменения структуры породного массива за последние 10 лет. Процесс суффозии, развивавшийся на глубине 55 – 65 м, спровоцировал формирование дренажных поверхностей, о чем свидетельствует сравнение разрезов 2012 и 2022 г. Нарушенный участок хорошо проявляется на границе гравийно-галечниковых отложений с глинистым прослоем, соответствующая глубине 30 м. Георадарные исследования позволили подтвердить сформировавшуюся область развития просадочных процессов и проследить структурные нарушения по всей площадке строительства до глубины 16 м. Пустот, зависших под фундаментом здания, обнаружено не было.

Комплексирование различных методов геофизических исследований позволяет получать подробную информацию о структурном строении территории, проводить мониторинг его изменения с течением времени и прогнозировать дальнейшее развитие современных геологических процессов. Своевременное выявление развития процесса сдвижения при горных работах на объектах недропользования позволяет принимать меры для его предотвращения либо сведения к минимуму последствий. Геофизические методы для этих целей подходят больше всего.

Список литературы

1. Далатказин Т.Ш., Ведерников А.С., Григорьев Д.В., 2022. Исследования возможности применения методики срединного градиента при изучении современной геодинамической активности. *Проблемы недропользования*, № 4(35), С. 132 – 138. DOI 10.25635/2313-1586.2022.04.132.
2. Мельник В.В., 2021. Научные основы создания системы осушения обводненных месторождений с учетом структурно-тектонического строения и современной геодинамической активности участка недропользования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 – 2, С. 111 – 120. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_111.
3. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Berger M.G., 2021. Endogenous and Exogenous Manifestations of Geodynamic Activity in the Central Caucasus. *Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere*. Switzerland: Springer Nature, P. 499 – 532. DOI 10.1007/978-3-030-63571-8_30.
4. Cabral J., Cabral M.C., Dias R.P., Cunha P.P., 2019. Quaternary tectonic activity of the São Marcos–Quarteira fault (Algarve, southern Portugal): a case study for the characteri-

zation of the active geodynamic setting of SW Iberia. *Journal of Iberian Geology*, Vol. 45, No 3, P. 427 – 442. DOI 10.1007/s41513-019-00102-2.

5. Мельник В.В., 2010. Диагностика карстопоявлений при проведении инженерно-геологических изысканий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 7, С. 275 – 278.

6. Tony Waltham, Hyeong-Dong Park, Jangwon Suh, 2011. Collapses of old mines in Korea. *Engineering Geology*, 118, P. 29–36 Publisher: Elsevier. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.11.007>. (дата обращения 10.02.1023)

7. Шевченко М.Д., 2021. Изучение изменений массива горных пород в области влияния подземных горных выработок. *Проблемы недропользования*, № 4(31), С. 55 – 60. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.055.

8. Усанов С.В., Харисов Т.Ф., Григорьев Д.В., Прошин В.А., 2021. Факторы деформаций здания, построенного в районе старых неглубоких подземных разработок. *Проблемы недропользования*, № 4(31), С. 44 – 54. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.044.

9. Гордеев В.Ф., Малышков С.Ю., Поливач В.И., 2019. Геофизический мониторинг опасных техногенных проявлений на подрабатываемых территориях. *Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ)*, Т. 24, № 2, С. 35 – 44. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-35-44.

10. Дьяков А.Ю., 2019. Георадар как инструмент для решения горных задач. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, № 12 – 1(39), С. 64 – 68. DOI 10.24411/2500-1000-2019-11846.

11. Рассказчикова Н.И., Курилович А.Э., Аузин А.А., 2019. Оценка физических свойств песчаных грунтов при помощи георадара. *Инженерные изыскания в строительстве: материалы третьей Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов, Москва, 26 апреля 2019 года*. Москва: Геомаркетинг, С. 94 – 98.

12. Едемский Д.Е., Петров Н.Ф., Прокопович И.В., 2021. Применение низкочастотных георадаров для изучения и контроля экзогенных геологических процессов. *Разведка и охрана недр*, № 9, С. 14 – 23.

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

14. Мельник В.В., Далатказин Т.Ш., Замятин А.Л., 2022. Решение задач безопасности ведения подземных горных работ при отработке угольных лав с использованием современных методов геофизики. *Проблемы недропользования*, № 4(35), С. 122 – 131. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.122.

References

1. Dalatkazin T.Sh., Vedernikov A.S., Grigor'ev D.V., 2022. Issledovaniya vozmozhnosti primeneniya metodiki sredinnogo gradienta pri izuchenii sovremennoi geodinamicheskoi aktivnosti [Study of the possibility of using the median gradient technique in the research of modern geodynamic activity]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(35), P. 132 - 138. DOI 10.25635/2313-1586.2022.04.132.

2. Mel'nik V.V., 2021. Nauchnye osnovy sozdaniya sistemy osusheniya obvodnenykh mestorozhdenii s uchetom strukturno-tektonicheskogo stroeniya i sovremennoi geodinamicheskoi aktivnosti uchastka nedropol'zovaniya [Scientific foundations for the creation of a drainage system for flooded deposits, taking into account the composition and tectonic structure and current geodynamic activity of the subsoil use site]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5 – 2, P. 111 – 120. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_111.

3. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Berger M.G., 2021. Endogenous and Exogenous Manifestations of Geodynamic Activity in the Central Caucasus. *Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere*. Switzerland: Springer Nature, P. 499 – 532. DOI 10.1007/978-3-030-63571-8_30.

4. Cabral J., Cabral M.C., Dias R.P., Cunha P.P., 2019. Quaternary tectonic activity of the São Marcos–Quarteira fault (Algarve, southern Portugal): a case study for the characterization of the active geodynamic setting of SW Iberia. *Journal of Iberian Geology*, Vol. 45, No 3, P. 427 – 442. DOI 10.1007/s41513-019-00102-2.
5. Mel'nik V.V., 2010. Diagnostika karstoproyavlenii pri provedenii inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy [Diagnostics of karst phenomena during engineering and geological surveys]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 7, P. 275 – 278.
6. Tony Waltham, Hyeong-Dong Park, Jangwon Suh, 2011. Collapses of old mines in Korea. *Engineering Geology*, 118, P. 29–36 Publisher: Elsevier. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.11.007>. (data obrashcheniya 10.02.1023)
7. Shevchenko M.D., 2021. Izuchenie izmenenii massiva gornykh porod v oblasti vliyaniya podzemnykh gornykh vyrabotok [Study of changes in the rock mass in the area of influence of underground mining]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(31), P. 55 – 60. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.055.
8. Usanov S.V., Kharisov T.F., Grigor'ev D.V., Proshin V.A., 2021. Faktory deformatsii zdaniya, postroennogo v raione starykh neglubokikh podzemnykh razrabotok [Factors of deformations of a building constructed in the area of old shallow underground developments]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(31), P. 44 – 54. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.044.
9. Gordeev V.F., Malyshev S.Yu., Polivach V.I., 2019. Geofizicheskii monitoring opasnykh tekhnogennykh proyavlenii na podrabatyvaemykh territoriyakh [Geophysical monitoring of dangerous technogenic manifestations in the territories under development]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii (SGUGiT)*, T. 24, № 2, P. 35 – 44. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-35-44.
10. D'yakov A.Yu., 2019. Georadar kak instrument dlya resheniya gornykh zadach [Georadar as a tool for solving mining problems]. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, № 12 – 1(39), P. 64 – 68. DOI 10.24411/2500-1000-2019-11846.
11. Rasskazchikova N.I., Kurilovich A.E., Auzin A.A., 2019. Otsenka fizicheskikh svoystv peschanykh gruntov pri pomoshchi georadara [Assessment of the physical properties of sandy soils using georadar]. *Inzhenernye izyskaniya v stroitel'stve: materialy tret'ei Obshcherossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh spetsialistov*, Moscow, 26 aprelya 2019 goda. Moscow: Geomarketing, P. 94 – 98.
12. Edemskii D.E., Petrov N.F., Prokopovich I.V., 2021. Primenenie nizkochastotnykh georadarov dlya izucheniya i kontrolya ekzogennykh geologicheskikh protsessov [Application of low-frequency georadars for the study and control of exogenous geological processes]. *Razvedka i okhrana neдр*, № 9, P. 14 – 23.
13. Kharisov T.F., Mel'nik V.V., Zamyatin A.L., 2020. Geofizicheskie poiskovo-otsenochnye issledovaniya v usloviyakh podzemnogo rudnika [Geophysical prospecting and evaluation studies in the conditions of an underground mine]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 7, P. 49 – 55. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55.
14. Mel'nik V.V., Dalatkazin T.Sh., Zamyatin A.L., 2022. Reshenie zadach bezopasnosti vedeniya podzemnykh gornykh rabot pri otrabotke ugol'nykh lav s ispol'zovaniem sovremennykh metodov geofiziki [Solving the safety problems for conducting underground mining operations during the mining of coal lavas using modern methods of geophysics]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(35), P. 122 – 131. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.122.