

УДК 622.272:550.83

Мельник Виталий Вячеславович

кандидат технических наук,
заведующий отделом геомеханики,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 58
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

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ
И ИНФОРМАТИВНОСТИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КАРТИРОВАНИЯ
СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ
В ШАХТЕ***

Аннотация:

Настоящая работа посвящена теории и практике использования геофизических методов при решении различных задач в шахте при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом, а именно проверке их достоверности, точности и информативности.

Исследования проводились специалистами отдела геомеханики Института горного дела УрО РАН, в арсенале которого имеется достаточно широкий диапазон различного геофизического оборудования, направленного на изучение различных свойств пород – электромагнитных, сейсмических, акустических, радиоактивных и других. Все имеющееся оборудование используется специалистами отдела для решения различных задач, однако в данной статье речь пойдет о методах, наиболее подходящих, с нашей точки зрения, для работы в шахте – спектрального сейсмопрофилирования и георадарного зондирования. Данные методы обладают высокой разрешающей способностью, высокомобильны, позволяют работать в любой плоскости и неоднократно подтверждали достоверность получаемых результатов.

Ключевые слов: структурные неоднородности, контакты пород, геофизические исследования, георадарное зондирование, спектральное сейсмопрофилирование, водоносный горизонт, шахта, горные выработки, ствол, обводненность.

Время выхода настоящей статьи совпало с юбилеем заместителя директора по научной работе ИГД УрО РАН, доктора технических наук Глебова Андрея Валерьевича. Поздравляем его с 50-летием, желаем крепкого здоровья и высоких научных достижений!

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.01.090

Melnik Vitaliy V.

Ph.D., Head of the Department of Geomechanics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryaka,
e-mail: melnikvv74@mail.ru

Zamyatin Aleksey L.

Researcher,
Laboratory of disaster risk reduction
technologies in subsoil use,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: a.zamyatin@mail.ru

**ASSESSMENT OF THE ACCURACY
AND INFORMATIVENESS
OF GEOPHYSICAL METHODS
FOR SOLVING PROBLEMS
OF MAPPING STRUCTURAL
HETEROGENEITIES IN A MINE**

Abstract:

This paper considers the theory and practice of using geophysical methods in solving various problems in the mine during the development of mineral deposits by underground method, namely, checking their reliability, accuracy and informativeness.

The research was carried out by specialists of the Geomechanics Department of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, which has a wide range of various geophysical equipment aimed at studying different properties of rocks, such as electromagnetic, seismic, acoustic, radioactive once, and others. All available equipment is used by the Department's specialists to solve various tasks, however, in this article we will deal with the methods most suitable from our point of view for working in a mine – spectral seismic profiling and GPR sounding. These methods have high resolution, are highly mobile, allow us to work in any plane and have the repeatedly confirmed reliability of the results obtained.

Key words: structural inhomogeneities, rock contacts, geophysical studies, georadar sounding, spectral seismic profiling, aquifer, mine, mine workings, trunk, waterlogging.

The time of publication of this article coincided with the anniversary of the Deputy Director for Scientific Work of the IGD of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences Andrei Valeryevich Glebov, congratulations on his 50th birthday, we wish him good health and high scientific achievements!

* Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПР, тема 3 (2022-2024)

Введение

Ведение подземных горных работ при отработке месторождений полезных ископаемых всегда сопровождается прогнозом возможности отработки рудных тел, их размера, условий залегания, безопасности ведения горных работ, в том числе связанной с обрушением забоя или кровли, затоплением выработок или ствола и многими другими факторами. Основным методом получения информации для прогнозирования, используемым на горных предприятиях, была и остается проходка разведочных скважин, опережающих скважин и других выработок, позволяющих прощупать массив горных пород изнутри, определить состав, размеры, расстояния до границ, простирание, обводненность и прочие характеристики вмещающих пород и рудных тел. Нельзя не согласиться, что получение керна и замеры дебета разведочных скважин являются наиболее достоверным материалом для прогноза возможности развития каких-либо аварийных ситуаций, расчета устойчивости выработок, подсчета запасов руды и объема вскрышных пород. Однако данный вид работ является дорогостоящим, требует высоких материальных и временных затрат, поэтому повальное бурение разведочных скважин на всем протяжении проходки выработок фактически невозможно, скважины бурятся, но их количество не позволяет в полной мере раскрыть истинное строение горного массива. На считающихся полностью разведанными месторождениях такие скважины вовсе отсутствуют там, где необходима доразведка запасов, некоторое количество выработок естественно приходится проходить.

На помощь специалистам рудников в данном случае могут прийти геофизические методы, обладающие высокой производительностью и разрешающей способностью. Конечно, существующих в настоящее время геофизических методов огромное множество, однако далеко не все они подходят для применения в подземных горных выработках, особенно при разработке рудных месторождений, где электрические свойства самой руды сводят на нет возможность использования, например, электроразведки. Использование стандартной сейсмоки под землей нерентабельно в первую очередь из-за высокой стоимости и больших трудозатрат, слабой мобильности оборудования, а также невозможности проведения работ, например, в кровлю выработки.

В этих условиях очень хорошо себя зарекомендовал метод спектрального сейсмопрофилирования (ССП), который подходит для производства измерений практически в любых условиях, в любом направлении и для любых целей. Также можно отметить метод георадарного зондирования (ГРЗ), который подходит для исследования закрепленного пространства в стволах и выработках, а также при поиске каких-либо аномалий в стенках выработок, например скважин, не попавших в кровлю при бурении на большие глубины. Есть у георадара большой плюс – это высокая разрешающая способность, но и минусы – малая глубина исследований (10 – 12 м) и низкая помехоустойчивость к металлоконструкциям.

Возможности применения этих методов в шахте, работы по оценке точности получаемых результатов и примеры их практического применения раскрыты в представленном материале.

Краткая характеристика используемой аппаратуры и методик

Методика проведения измерений описана по материалам изобретателя, более подробные сведения о методе представлены на сайте производителя оборудования <http://newgeophys.spb.ru> [1, 2].

Аппаратурно-методический комплекс СПП позволяет выявлять зоны тектонических нарушений (ЗТН), контакты разностей пород, а также зоны повышенной трещиноватости.

На рис. 1 приведена схема, из которой видна зависимость между строением слоистой среды и возникающими при ударном воздействии на нее частотами гармонических составляющих, входящих в сейсмосигнал.

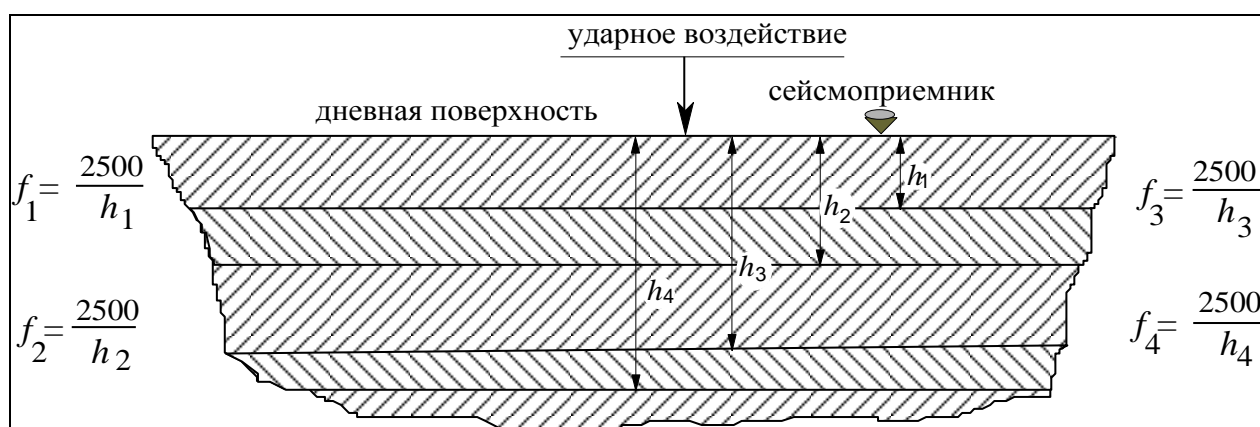


Рис. 1. Схема производства измерений

Внешний вид используемого оборудования представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид применяемого оборудования

В целом можно сказать, что оборудование представляет из себя ноутбук с прошитым программным обеспечением, АЦП (Аналого-цифровой преобразователь) и сейсмоприемником, соединенным с АЦП защищенным от помех проводом. Как уже отмечалось, метод высоко мобилен, в принципе измерения при необходимости может выполнять даже один человек, два – это уже идеальный состав бригады. На рис. 3 представлен пример получаемого при измерениях разреза.

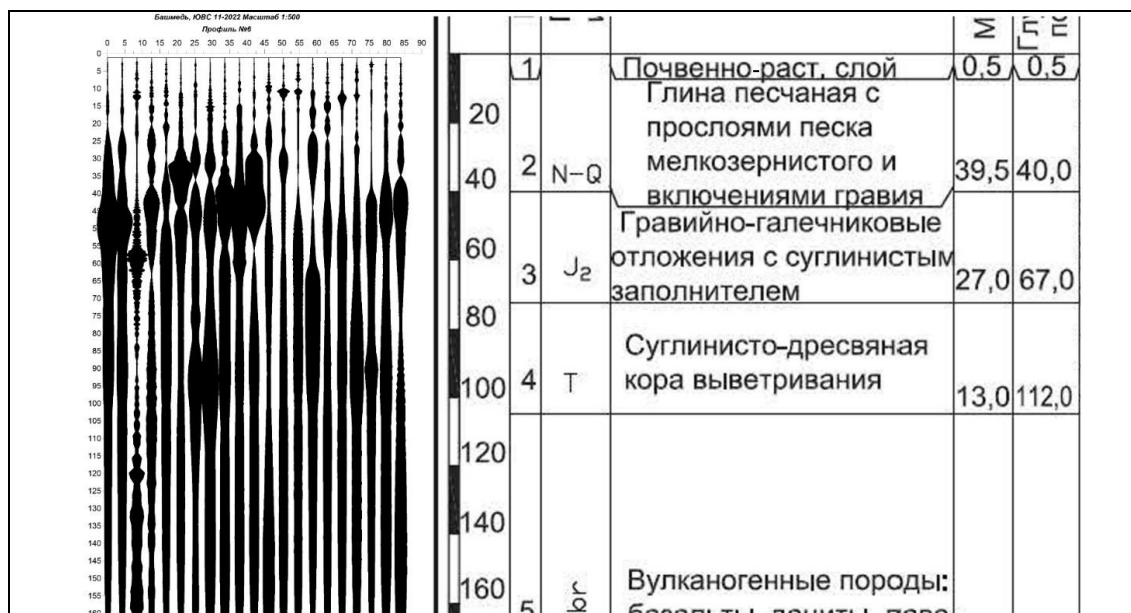


Рис. 3. Пример получаемого спектрального сейсморазреза в сравнении со скважиной

Метод георадиолокации относится к группе электромагнитных методов, то есть изучает отклик среды на излучаемое электромагнитное поле. Метод георадарного зондирования относится к группе электроразведочных методов на токах высокой частоты, основан на явлении отражения электромагнитных волн от границ раздела поверхностей, обладающих различным значением диэлектрической проницаемости (ϵ). Используемое отделом оборудование для геолокации – комплекс ОКО-2, состав комплекта приведен на рис. 4.

Как и в случае со спектральным сейсмопрофилированием, комплекс георадарного зондирования также высоко мобилен, измерения в почву может производить один человек, а в стены и кровлю – двух человек вполне достаточно. Пример получаемого георадарного разреза приведен на рис. 5.

Параметры, измеряемые представленными аппаратурными комплексами, различные, также как и характеристики среды, на которую направлены измерения – георадар оценивает диэлектрическую проницаемость пород, т.е. свойства самой породы, а спектральное сейсмопрофилирование оценивает структурные неоднородности в ней и различные геологические контакты.



Рис. 4. Внешний вид применяемого георадара

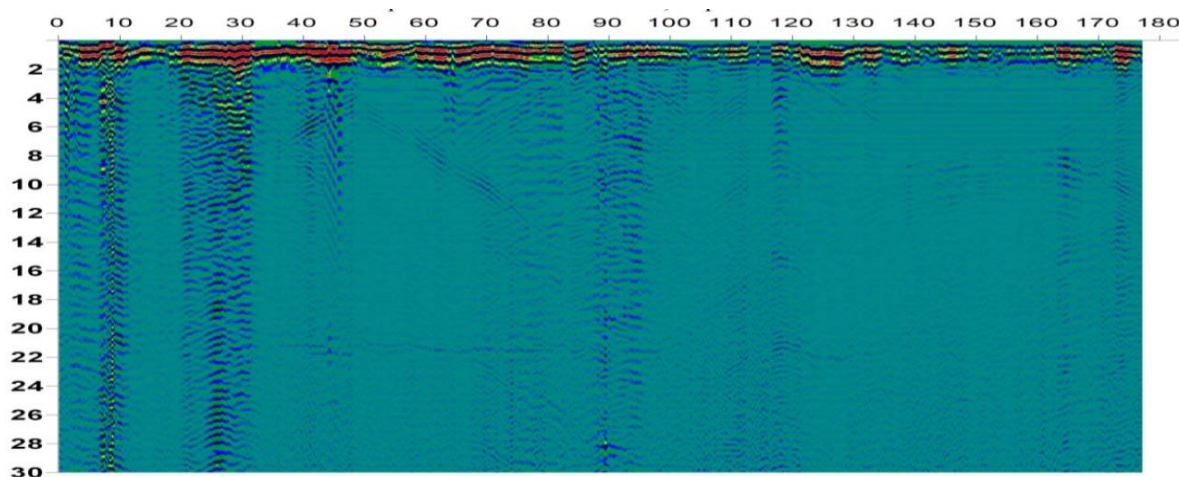


Рис. 5. Пример получаемого георадарного разреза

Задачи, решаемые с помощью данных методов геофизики

В первую очередь следует повториться, что с помощью методов ГРЗ и ССП изучаются разные свойства горного массива, поэтому и задачи, решаемые с помощью этих методов, совершенно разные.

Глубина исследований и характеристика показателей, изучаемых с помощью метода ССП позволяют решать обширный круг задач при обработке месторождений подземным способом. К основным задачам следует отнести поиск зон структурно-тектонических нарушений сплошности массива, влияющих на его устойчивость. Эта задача является очень важной с точки зрения безопасности ведения горных работ. Зная глубину залегания структурных нарушений либо расстояние до них в забое горизонтальных горных выработок, можно планировать параметры проходки и выбирать крепь. Так, использование метода при проходке ствола на одном из рудников в Республике Казахстан позволило обеспечить прогноз выхода нарушенных участков скального массива и заблаговременно подготавливать необходимые материалы для их ускоренного крепления (рис. 6). Измерения проводились регулярно по мере проходки ствола и дополнялись на глубину дальнейшего строительства. Кроме того, регулярно проводилась заверка уже определенных на ранней стадии неоднородностей при зондировании еще не пройденного участка ствола. Следует отметить, что и заверочные работы, и результаты проходки подтверждали полученные результаты, что позволило увеличить скорость проходки и ее безопасность.

Подобные задачи успешно решаются и при проходке горизонтальных горных выработок [3]. На рис. 7 приведен пример зондирования на угольном месторождении в Ростовской области РФ. Там кроме задачи определения расположения структурного нарушения была поставлена задача определения возможного выхода воды по нему из затопленной части вышележащего горизонта. Прогноз, сделанный сотрудниками отдела геомеханики, подтвердился как по расположению нарушения, так и по его свойствам, проходку горной выработки продолжили, усиления водопритоков не наблюдалось. Здесь же можно и отметить, что метод подходит и для прогнозирования прорывов воды в горные выработки и успешно используется не только в призабойном пространстве, но и на участках уже построенных горизонтов.

Успешно метод себя зарекомендовал и при исследованиях соляного пласта в стволе на одном из рудников северо-востока РФ, где возможности проведения георадарного зондирования были ограничены из-за гидроизоляции его металлическими пла-

стинами. Для получения информации методом ССП достаточно было провести измерения на свободных от металлических листов площадках, и нарушенные участки, по которым дренирует вода, отобразились.

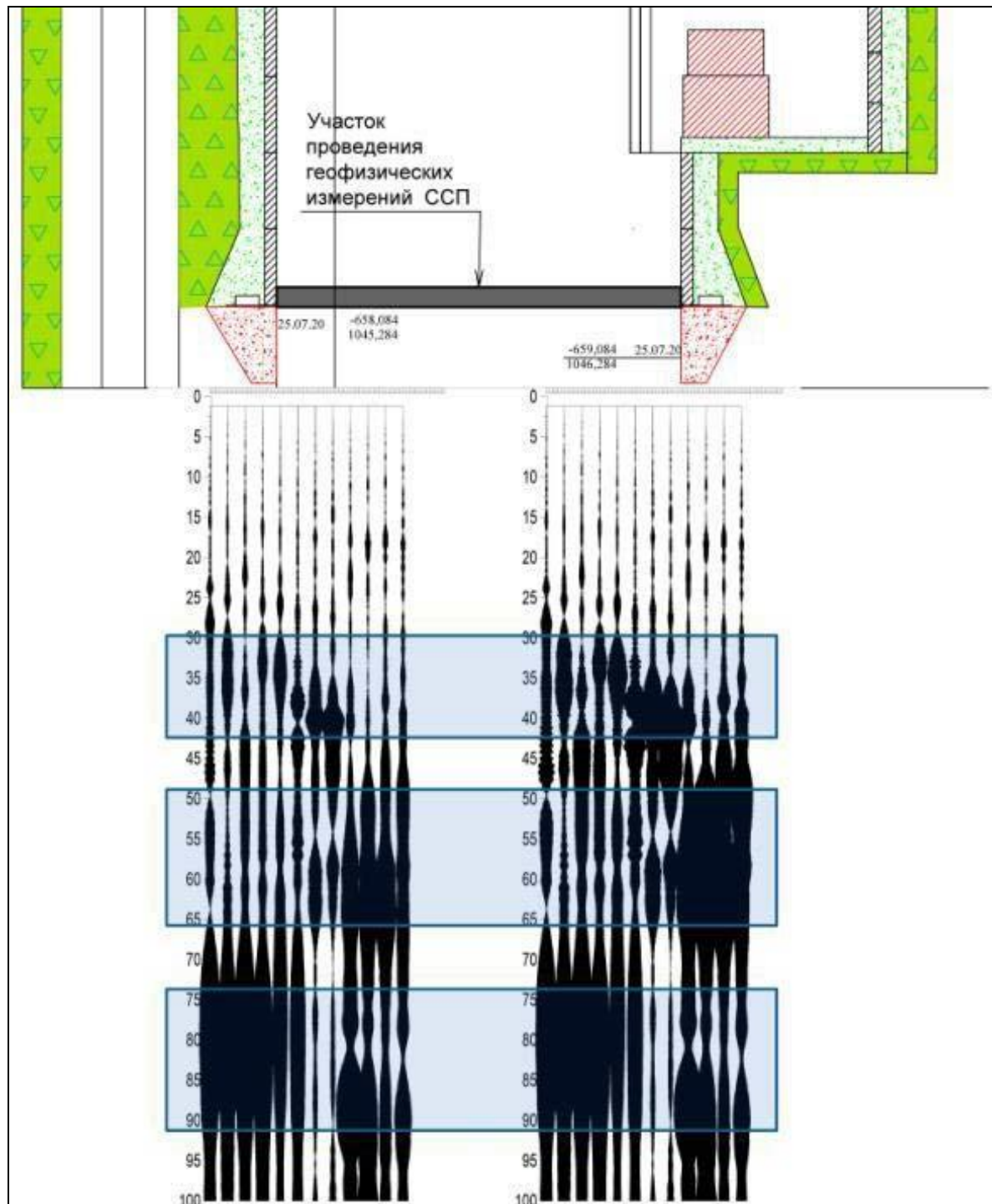


Рис. 6. Пример диагностики массива при проходке ствола

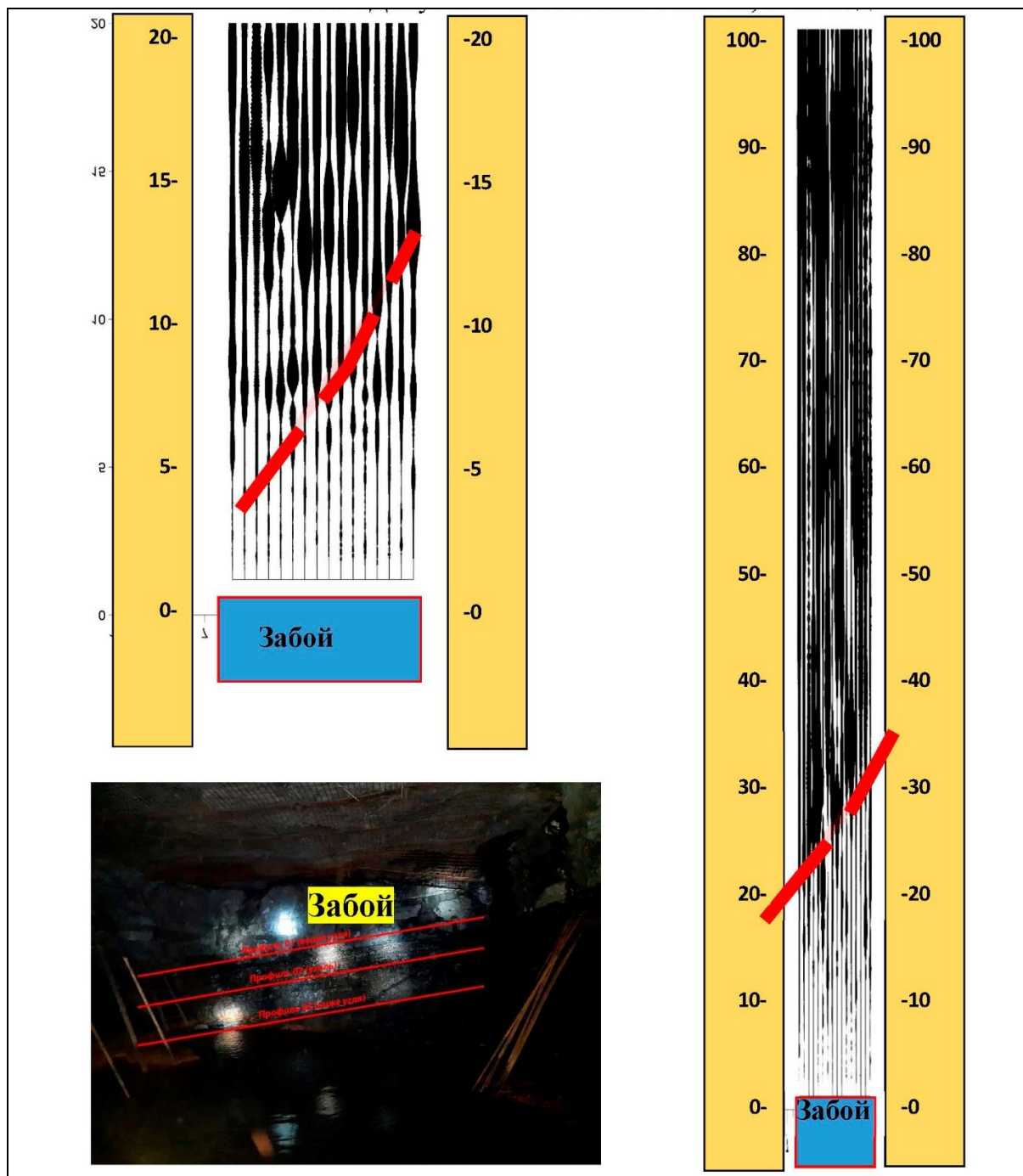


Рис. 7. Решение задачи прогноза затопления выработки

Что касается георадарного зондирования в шахте, то его основная задача состоит в исследованиях закрепного пространства как стволов, так и горизонтальных горных выработок на глубину до 5,0 – 10,0 м для выявления пустот при ликвидации повышенных водопритокков [4 – 10]. Кроме того, метод ГРЗ успешно используется при поиске небольших горных выработок (скважин), не попавших в кровлю штрека, например, при организации разгрузки водоносных горизонтов в водоупорный горизонт. Однако, как уже упоминалось, возможности метода ограничены глубиной зондирования, но точность определения даже объектов малых размеров очень высокая.

Результаты исследований

Перечислять задачи, решаемые с помощью данных методов, можно еще долго, однако особый интерес при определении точности расположения измеряемых границ вызывают результаты тестирования методов при определении границ геологических разностей, а именно границ «руда – порода». Подобные исследования специалисты отдела геомеханики проводили и в прошлые годы на горных предприятиях северного и южного Урала [11, 12], однако последние исследования показали некоторые особенности интерпретации результатов ССП, которые не учитывались на протяжении всего времени использования данного оборудования.

Сразу следует отметить: в исследованиях принимали участие оба представленных метода, однако метод ГРЗ в процессе испытаний практически не проявил себя в качестве инструмента для определения контактов рудного тела и вмещающих пород. Во-первых, глубина исследований не позволила достаточно надежно просматривать известные по бурению границы, а во-вторых, как упоминалось выше, скорее всего, свою роль сыграли электромагнитные свойства руды, внесшие неопределенность в прочтение и интерпретацию получаемых разрезов (рис. 8).

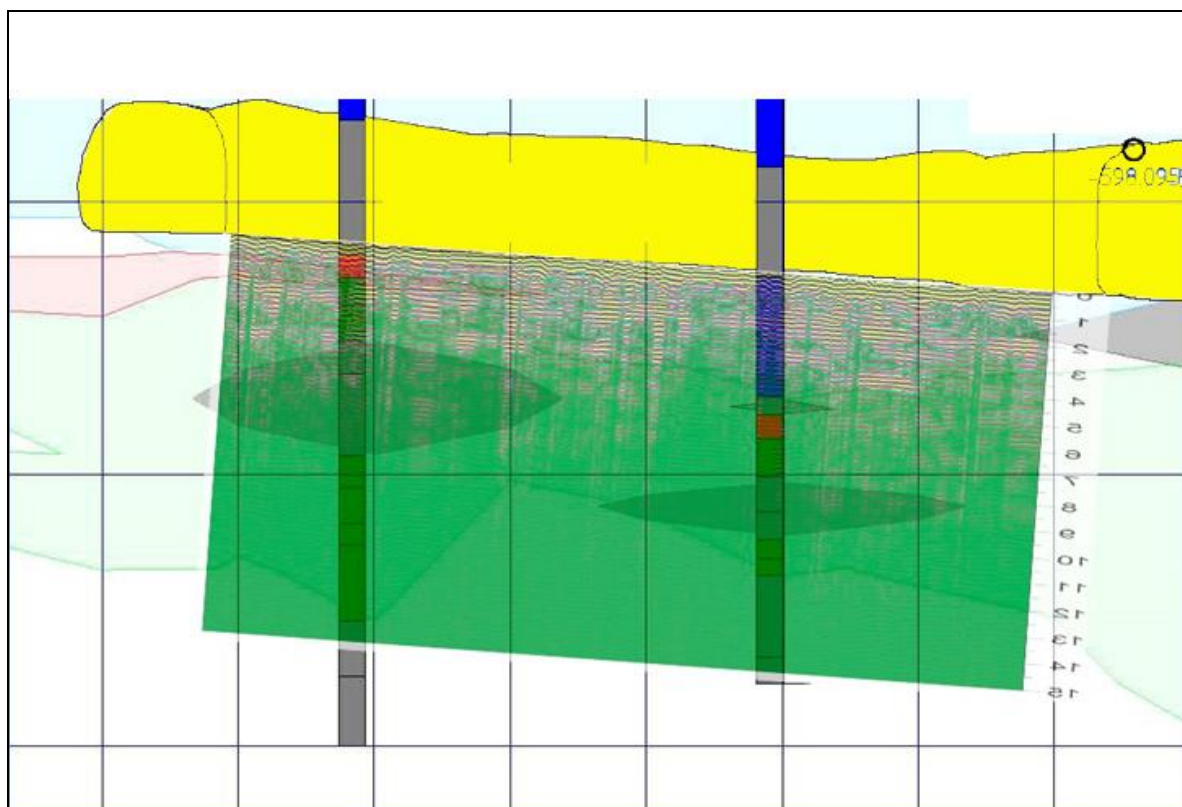


Рис. 8. Тестирование метода ГРЗ для определения границ «руда-порода»

Что касается метода ССП, то результаты, полученные при проведении тестовых измерений, оказались даже лучше ожидаемых. На рис. 9 представлены результаты тестирования оборудования в кровлю и почву выработки. Точность определения границы рудного тела и вышележащей горной выработки оказалась в пределах 1,0 – 2,0 м при глубине исследований до 20,0 – 30,0 м.

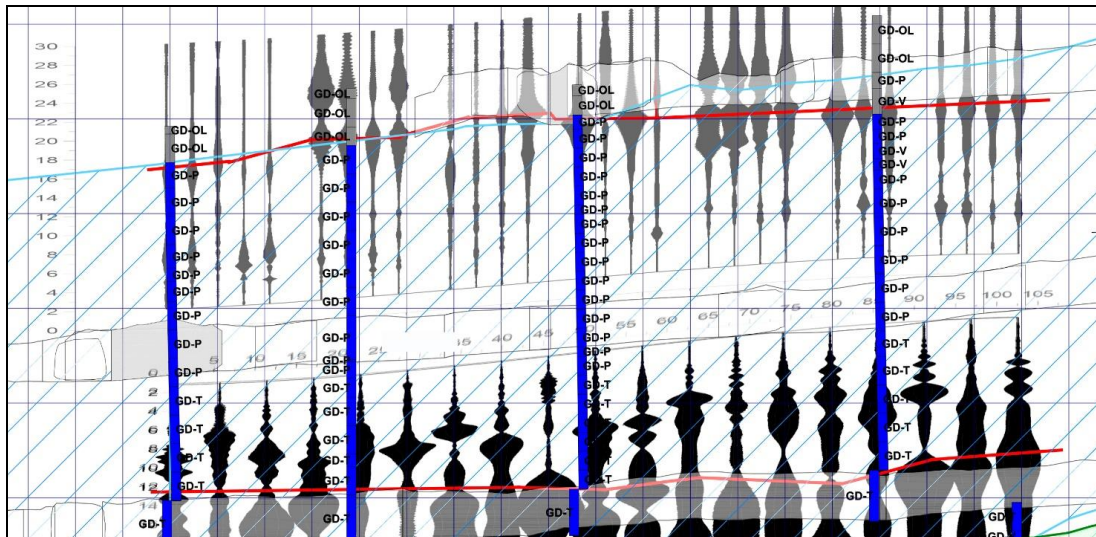


Рис. 9. Тестирование метода ССП для определения границ «руда – порода»

Однако для того, чтобы получить такую высокую сходимость результатов, пришлось провести достаточно большой объем их измерений и обработки, в процессе чего выяснилось, что расстояние до получаемых границ, кроме всего прочего, зависит от длины приемного провода и при расчетах необходимо изменять параметр скорости прохождения волны в зависимости от используемого провода. В частности, в кровлю выработки использовался провод 5,0 м, а в подошву – 1,5 м. В большинстве работ на протяжении 20 лет длинные провода для выполнения измерений не использовались и таких манипуляций производить не приходилось. Соблюдение правил безопасности при выполнении измерений в выработках высотой 4,5 м внесло свои коррективы и дополнения в методику.

Конечно, зная скорости распространения продольных и поперечных волн в разных породах, следует вносить коррективы в скорость при расчетах даже без учета длины провода, однако для достижения необходимой точности измерений методом ССП пока достаточно используемых параметров.

Кроме уточнения параметров расчета для лучшей визуализации получаемых границ проведена модернизация используемого программного аппарата для обработки результатов измерений ССП. На рис. 10 представлен разрез в кровлю уже с использованием данной методики.

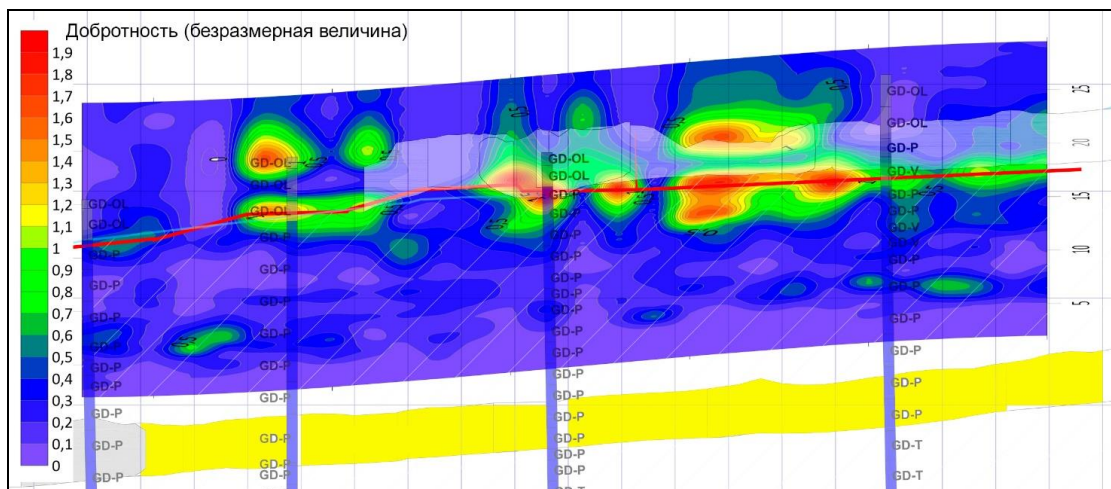


Рис. 10. Численная визуализация результатов ССП с использованием параметра добротности

Как видно из рис. 10, проведенная граница при использовании цветовой визуализации проявляется еще более ярко.

Заключение

Использование геофизических методов для уточнения структурного строения, геологических границ и прочих неоднородностей породного массива в шахтных условиях, безусловно, добавит детальности и точности при построениях сечений и моделировании развития горных работ. Это позволит своевременно вносить необходимые изменения в порядок отработки, параметры крепления, подсчитывать запасы полезного ископаемого и объемы вскрышных работ.

Не все методы геофизики пригодны для выполнения того или иного вида работ в подземных условиях, большинство из них просто непригодны из-за специфических условий шахты. Используемые отделом геомеханики ИГД УрО РАН методы ГРЗ и ССП при работах под землей помогают решать различные задачи по установлению параметров залегания и расположения изыскиваемых границ и пустот [13 – 16].

Выполненный комплекс испытаний методов георадарного зондирования и спектрального сейсмопрофилирования на предмет использования их при определении контакта «руда – порода» показал высокую точность и детальность прорисовки границ методом ССП и практически полную непригодность метода ГРЗ для этих же целей. Оставляем за методом ГРЗ использование в качестве диагностики закрепного пространства при строительстве и осушении шахтных стволов и при поисках скважин и пустот в пределах глубин 5,0 – 10,0 м.

Проведенные тестовые измерения метода ССП на данных работах не только показали положительные результаты, но и позволили модернизировать методику визуализации представляемых материалов в численных параметрах добротности и проработать вопрос использования приемных проводов разной длины для получения наиболее точных показателей.

Более подробно о выполненном комплексе работ планируется рассказать в отдельной статье, материал получен объемный и обладает высокой научной значимостью для внедрения геофизики в процесс проектирования подземных горных работ.

Список литературы

1. Гликман А.Г., 2002. *Физика и практика спектральной сейсморазведки. НТФ "Геофизпрогноз"*. URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (дата обращения: 29.01.2024)
2. Мельник В.В., 2005. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 10, С. 69 – 74.
3. 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.
4. 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.
5. Гапонов Д.А., Фоменко Л.Н., Шеремет Р.Д., 2016. Применение георадара для контроля качества закрепления грунтов. *Инженерный вестник Дона*, № 3(42), URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3724> (дата обращения: 29.01 2024)
6. Серегин М.Ю., 2012. Перспективы развития георадиолокации. *Наука и бизнес: пути развития*, № 5(11), С. 70 – 72.
7. 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, No. 2, P. 31 – 43.

8. Conyers L.B., 2016. Ground-penetrating radar for geoarchaeology. *Analytical methods in earth and environmental science*. N. Y: Wiley, 160 p.
9. 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.
10. 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.
11. Мельник В.В., 2008. Определение местоположения контакта руда-порода геофизическими методами в подземных условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 147 – 149.
12. Мельник В.В., 2005. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 10, С. 69 – 74.
13. 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.
14. 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. – EDN ZXHNYL.
15. Шевченко М.Д., Мельник В.В., 2023. Исследование геомеханического состояния массива горных пород на территории строительства шахтного эксплуатационного копра с использованием геофизических методов. *Проблемы недропользования*, № 4(39), С. 51 – 56. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.051.
16. Шевченко М.Д., 2021. Определение закономерностей расположения тектонических нарушений для прогноза проницаемости массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 – 2, С. 174 – 180. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_174.

References

1. Glikman A.G., 2002. Fizika i praktika spektral'noi seismorazvedki [Physics and practice of spectral seismography]. NTF "Geofizprognoz". URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (data obrashcheniya: 29.01.2024)
2. Mel'nik V.V., 2005. Primenenie metoda spektral'nogo seismoprofilirovaniya dlya otsenki geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornyx porod vokrug shakhtnykh vyrobotok [Application of the spectral seismic profiling method to assess the geomechanical state of the rock mass around the mine workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 10, P. 69 – 74.
3. Mel'nik V.V., Dalatkazin T.Sh., Zamyatin A.L., 2022. Reshenie zadach bezopasnosti vedeniya podzemnykh gornyx rabot pri otrabotke ugol'nykh lav s ispol'zovaniem sovremennykh metodov geofiziki [Solving the safety problems when 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.
4. D'yakov A.Yu., 2019. Georadar kak instrument dlya resheniya gornyx 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.
5. Gaponov D.A., Fomenko L.N., Sheremet R.D., 2016. Primenenie georadara dlya kontrolya kachestva zakrepleniya gruntov [The use of a georadar to control the quality of soil consolidation]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, № 3(42), URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3724> (data obrashcheniya: 29.01 2024)

6. Seregin M.Yu., 2012. Perspektivy razvitiya georadiolokatsii [Prospects for the development of georadiolocation]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, № 5(11), P. 70 – 72.
7. 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, No. 2, P. 31 – 43.
8. Conyers L.B., 2016. Ground-penetrating radar for geoarchaeology. *Analytical methods in earth and environmental science*. N. Y: Wiley, 160 p.
9. 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 ground penetrating radar]. *Inzhenernye izyskaniya v stroitel'stve: materialy tret'ei Obshcherossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh spetsialistov*, Moscow, 26 aprelya 2019 goda. Moscow: Geomarketing, P. 94 – 98.
10. Edemskii D.E., Petrov N.F., Prokopovich I.V., 2021. Primenenie nizkochastotnykh georadarov dlya izucheniya i kontrolya ekzogennykh geologicheskikh protsessov [Use of low-frequency ground-penetrating radars for study and control of exogenous geological processes]. *Razvedka i okhrana nedr*, № 9, P. 14 – 23.
11. Mel'nik V.V., 2008. Opredelenie mestopolozheniya kontakta ruda-poroda geofizicheskimi metodami v podzemnykh usloviyakh [Determination of the location of the ore-rock contact by geophysical methods in underground conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P. 147 – 149.
12. Mel'nik V.V., 2005. Primenenie metoda spektral'nogo seismoprofilirovaniya dlya otsenki geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornyx porod vokrug shakhtnykh vyrabotok [Application of the spectral seismic profiling method to assess the geomechanical state of the rock mass around the mine workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 10, P. 69 – 74.
13. Shevchenko M.D., 2021. Izuchenie izmenenii massiva gornyx porod v obla-sti vliyaniya podzemnykh gornyx vyrabotok . [Study of changes in the rock mass in the field of influence of underground mining]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(31), P. 55 – 60. DOI 10.25635/2313-1586.2021.04.055.
14. Kharisov T.F., Mel'nik V.V., Zamyatin A.L., 2020. Geofizicheskie poiskovo-otsenochnye issledovaniya v usloviyakh podzemnogo rudnika. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii* [Geophysical prospecting and evaluation studies in an underground mine]. *Gornyi zhurnal*, № 7, P. 49 – 55. DOI 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55. – EDN ZXHHYL.
15. Shevchenko M.D., Mel'nik V.V., 2023. Issledovanie geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornyx porod na territorii stroitel'stva shakhtnogo ekspluatatsionnogo kopra s ispol'zovaniem geofizicheskikh metodov [Study of the geomechanical state of the rock mass on the territory of the construction of a mine production copra using geophysical methods]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(39), P. 51 – 56. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.051.
16. Shevchenko M.D., 2021. Opredelenie zakonomernostei raspolozheniya tektonicheskikh narushenii dlya prognoza pronitsaemosti massiva gornyx porod Determination of the location regularities of tectonic disturbances for the prediction of the permeability of the rock mass]. *Gornyi in-formatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5 – 2, P. 174 – 180. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_174.