

УДК 622.83:550.8

Мельник Виталий Вячеславович

кандидат технических наук,
заведующий отделом геомеханики,
Институт горного дела УрО РАН,
Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: melnik@igduran.ru,

Бермухамбетов Валихан Айдарович

директор ТОО «ИГД Казахстан»,
Республика Казахстан, г. Астана,
ул. Куйши Дина, 17
e-mail: igd.kazakhstan@gmail.com

Князбаева Жайнагуль Рахимгалиевна

менеджер технической службы,
Донской ГОК – филиал АО «ТНК «Казхром»,
Республика Казахстан,
г. Хромтау, площадь Мира, 25
e-mail: Zh.Knyazbayeva@erg.kz

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ
И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ МАССИВА ГОРНЫХ
ПОРОД В РАЙОНЕ ОЧИСТНЫХ РАБОТ
ШАХТЫ «10-ЛЕТИЕ НЕЗАВИСИМОСТИ
КАЗАХСТАНА»****Аннотация:*

Исследование структурного строения массива горных пород при ведении подземных горных работ является актуальной задачей как при решении задач устойчивости выработок, так и при их осушении. В настоящей работе приведен пример выполненных работ на одном из крупнейших горнообогатительных комбинатов Республики Казахстан – Донском ГОКе. При выполнении работ использовался метод спектрального сейсмопрофилирования, хорошо зарекомендовавший себя в шахте, основанный на определении акустических свойств массива горных пород. Цель исследований заключалась в поиске структурно-тектонических нарушений и связанных с ними зон повышенной трещиноватости. Такие области являются основными каналами поступления подземных вод в шахту, и их выделение позволит выбирать оптимальные условия расположения дренажных скважин при решении задач осушения рудных тел. В результате выполненных исследований были построены карты развития трещиноватости для каждого горизонта шахты, а впоследствии объемная модель распределения трещиноватости в шахте, которая была внедрена в модель месторождения предприятия. По результатам районирования были пробурены заверочные скважины, подтвердившие эффективность выбранной методики и ее достоверность.

Ключевые слова: структурное строение, геофизические исследования, шахтное поле, вертикальные горные выработки, дренажные скважины, осушение, спектральное сейсмопрофилирование, рудное тело, трещиноватость.

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.04.077

Melnik Vitalii V.

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department of Geomechanics,
Institute of Mining UB RAS,
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: melnik@igduran.ru

Bermukhambetov Valikhan A.

Director TOO IGD Kazakhstan,
Republic of Kazakhstan, Astana,
17 Kuishi Dina Str.
e-mail: igd.kazakhstan@gmail.com,

Knyazbayeva Zhainagul R.

Technical Service Manager,
Donskoy GOK – Branch of TNK Kazchrome,
Republic of Kazakhstan, Khromtau,
25 Mira Square
e-mail: Zh.Knyazbayeva@erg.kz

**GEOPHYSICAL STUDIES
OF STRUCTURAL, TECTONIC
AND HYDROGEOLOGICAL
FEATURES OF THE ROCK MASS
IN THE AREA OF THE MINE TREATMENT
WORKS "10TH ANNIVERSARY
OF INDEPENDENCE OF KAZAKHSTAN"***Abstract:*

The study of the structural composition of an array of rocks in during underground mining is an urgent task both in solving problems of the stability of workings and in their drainage. This paper provides an example of the work performed at one of the largest mining and processing plants in the Republic of Kazakhstan – Donskoy GOK. During the work, the spectral seismic profiling method was used, which has proven itself well in the mine, based on the determination of the acoustic properties of the rock mass. The purpose of the research was to search for structural and tectonic disturbances and associated areas of increased fracturing. Such areas are the main channels of groundwater supply to the mine and their allocation will allow you to choose the optimal conditions for the location of drainage wells when solving problems of draining ore bodies. As a result of the performed research, fracture development maps were constructed for each mine horizon, and subsequently a volumetric model of fracture distribution in the mine, which was implemented into the enterprise's field model. According to the results of zoning, test wells were drilled, which confirmed the effectiveness of the chosen technique and its reliability.

Key words: structural composition, geophysical research, mine field, vertical mining, drainage wells, dewatering, spectral seismic profiling, ore body, fracturing.

* Работа выполнена в рамках Госзадания № 075-00412-22. Тема № 3.

Введение

Ведение горных работ при подземном способе разработки месторождений всегда связано с решением задач осушения горных выработок, и особенно важной задачей является снижение обводненности руды при очистных работах. Существует множество способов осушения месторождений: скважинные водозаборы, дренажные кольцевые подземные выработки вокруг месторождения с сетью водосбросных скважин и др. Такие меры обычно являются достаточными для безопасного ведения горных работ, однако рудные тела от насыщения водой они не защищают. Мокрая руда – это не только дополнительные материальные и временные затраты на сушку, но и сложности с перепуском ее через вертикальные горные выработки на нижние горизонты для транспортировки к месту подъема на земную поверхность, т.е. к скиповым стволам. В настоящей статье хочется остановиться на одном из примеров решения задач осушения горных выработок и рудных тел с помощью разгрузки водоносных горизонтов путем бурения разгрузочных скважин.

Само по себе бурение разгрузочных и перепускных скважин является общепринятым способом уменьшения обводненности горных выработок при ведении подземных горных работ, однако точки размещения этих скважин, как правило, выбираются только по аналитическим данным, с учетом визуальных наблюдений за участками поступления воды и направлением развития очистных работ. Такой подход является логически обоснованным и не подвергается критике, хотя получаемый при буровых работах объем воды зачастую является минимальным.

Для увеличения производительности дренажных скважин, кроме обозначенных выше параметров, при выборе точек бурения скважин следует учитывать расположение трещиноватости в массиве горных пород, поскольку вода в скальных массивах идет по трещинам. Зная пространственное расположение зон повышенной трещиноватости, можно с большой вероятностью получения максимальной водоотдачи скважин задавать точки их расположения, необходимую глубину и азимуты бурения.

К сожалению, традиционные геофизические методы в большинстве случаев использовать в условиях шахты не представляется возможным, поскольку существуют различные помехи, препятствующие проведению измерений, такие как бетонная крепь, металлические конструкции, забутовочная сетка и, конечно, небольшой размер самих горных выработок.

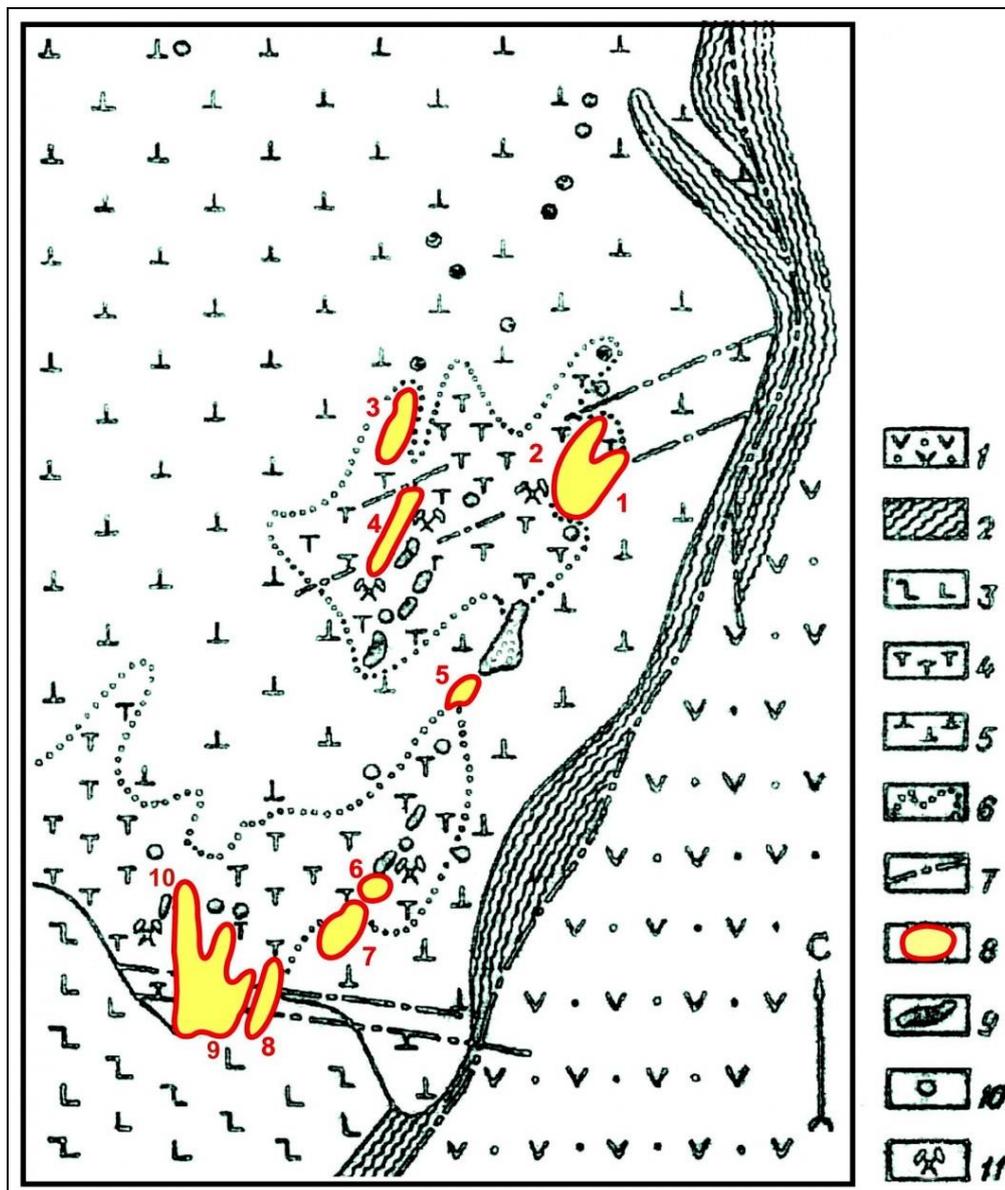
Для решения задач картирования структурных нарушений в условиях подземных горных выработок используется хорошо зарекомендовавший себя метод спектрального сейсмопрофилирования (ССП), разработанный в свое время НПФ «Геофизпрогноз» в г. Санкт-Петербурге [1]. Данный метод уже более двадцати лет успешно применяется специалистами отдела геомеханики ИГД УрО РАН при решении подобных задач, в условиях как подземных горных работ, так и наземных [2 – 8]. Один из примеров использования метода СПП при моделировании структурного строения массива горных пород шахты для выбора точек заложения разгрузочных гидрогеологических скважин приведен в настоящей статье.

Предпосылки проведения исследований

Как уже упоминалось выше, геофизический метод спектрального сейсмопрофилирования позволяет оперативно и с достаточной точностью выявлять области повышенной трещиноватости, являющиеся основными каналами фильтрации подземных вод в скальных массивах [9 – 10]. Информация о расположении этих трещин позволяет пробурить дренажные и заверочные скважины в наиболее перспективных точках, обеспечив их максимальную производительность.

Массив горных пород шахт Донского ГОКа (Республика Казахстан), где проводились работы, обладает высокой трещиноватостью, однако, как показывает практика, распределяется трещиноватость неравномерно. Этот факт уже несколько лет использу-

ется при выборе мест расположения восстающих выработок и подбора вариантов крепления стволов при их строительстве. Основные породы, слагающие массив, представлены серпентинитами, дунитами, габбро и другими скальными породами (рис. 1).



Геологическая схема Южно-Кемпирсайских хромитовых месторождений (по Г.А. Елпашеву):
1 – палеозойские вулканогенно-осадочные отложения; 2 – протерозойские метаморфические породы;
3 – габброамфиболиты; 4 – серпентиниты по дунитам; 5 – серпентиниты по перидотитам;
6 – границы пород; 7 – разрывные нарушения;
8 – крупные хромитовые месторождения (1 – Молодежное, 2 – 40 лет КазССР,
3 – Геофизическое XII, 4 – 20 лет КазССР, 5 – Геофизическое VI, 6 – Спорное,
7 - №21, 8 – Первомайское,
9 – Алмаз-Жемчужина, 10 – Миллионное); 9 – средние и мелкие месторождения;
10 – рудопроявления; 11 – разрабатываемые месторождения

Рис. 1. Выкопировка из геологической карты района

Данные породы без наличия трещиноватости являются практически водоупорными, однако раскрытые трещины, приуроченные к активным тектоническим нарушениям, значительно повышают их фильтрационные характеристики. Это в свою очередь доставляет множество проблем при отработке данных месторождений.

На поле шахты «10-летие независимости Казахстана» (ДНК), где проводились исследования, представленные в настоящей статье, широко развиты разрывные нарушения преимущественно субширотного, северо-восточного, северо-западного и в меньшей степени субмеридиональных направлений. Большинство из них имеют пострудный возраст, зачастую они расчленяют рудные тела на отдельные блоки и смещают их относительно друг друга.

Разрывные нарушения представлены зонами интенсивной серпентинизации и дробления пород с многочисленными серпентинитовыми прожилками, содержащими примесь брусита. Отдельные нарушения трассируются маломощными дайками габбро-диабазов.

Все рудное поле расчленяется разрывами указанных направлений на блоки с поперечником от 100 до 700 м. Протяженность их составляет 1 – 5 и более км, а мощность колеблется от первых дециметров до десятков метров. На фоне такой решетки разрывных нарушений проявлены многочисленные разрывы более высокого порядка и, в конечном счете, весь массив рудовмещающих серпентинизированных гипербазитов разбит системой мелких трещин различных направлений на элементарные блоки размером 0,5 – 2,0 м, а вблизи разрывных нарушений – до 0,1 м.

При обводнении массива горных пород в зонах, нарушенных структурными трещинами, регулярно наблюдаются и задокументированы отслаивание горных пород, а также и вывалообразование (рис. 2).



Рис. 2. Обводненность и отслаивание стенок выработки

Для борьбы с повышенной обводненностью горных выработок было принято решение использовать дренажные скважины, позволяющие своевременно разгружать водоносный горизонт скальных пород до начала очистных работ на определенных участках. При этом, как уже упоминалось, без трещин массив является практически безводным, поэтому вопрос, как выбрать точки и направление бурения дренажных скважин, стал основным при данном способе осушения.

Результаты исследований

Геофизические исследования методом спектрального сейсмопрофилирования проводятся на данном горно-обогательном комбинате уже больше 15 лет как специалистами отдела геомеханики ИГД УрО РАН совместно с ТОО «ИГД-Казахстан», так и специалистами Донского ГОКа. В связи с этим метод определения расположения областей повышенной трещиноватости был выбран однозначно – метод ССП.

Крепление выработок на шахте ДНК выполнено металлической решеткой ма-

ленького размера с забутовкой. В связи с этим выполнять измерения в стенки или кровлю выработок не представлялось возможным. Исследования массива горных пород производилось бурением и сейсмопрофилированием в почву выработок. Учитывая, что такой способ измерений не позволяет оценить состояние массива в разных направлениях, выполнять исследования было решено на всех доступных горизонтах для получения объемной модели и возможности интерполировать выявленные нарушения на различные глубины и в пространстве. На рис. 3 приведен пример получаемых разрезов.

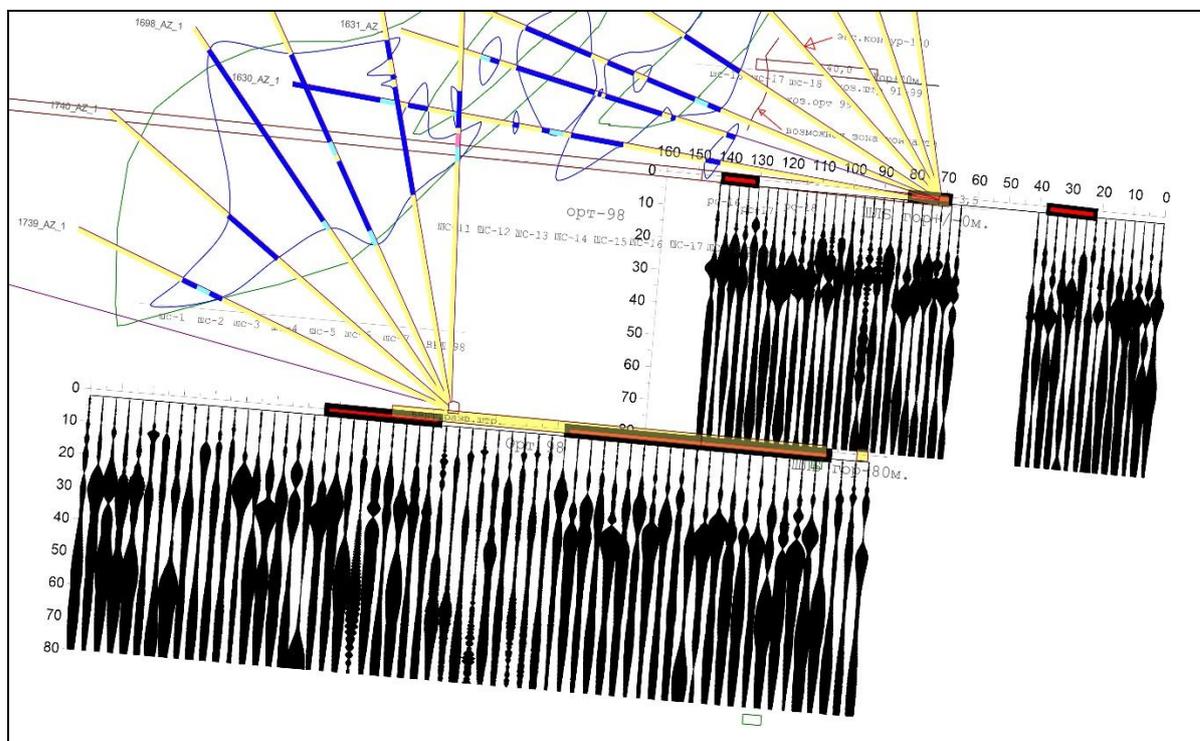


Рис. 3. Пример получаемых сейсморазрезов по двум горизонтам

Все разрезы подвергались тщательной привязке к горизонтам и внедрялись в структурную модель шахты ДНК.

На рис. 4 представлено внедрение результатов геофизических измерений на разрез по двум горизонтам шахты, совпадающим по осям в плане.

По каждому разрезу в отдельности проводилась интерпретация с выделением наиболее нарушенных участков, кроме того, учитывая, что массив на данном объекте и так достаточно сильно нарушен, при выделении структур предпочтение отдавалось косым трещинам, т.е. нарушениям, имеющим признаки современной геодинамической подвижности.

Кроме того, на каждый горизонт была вынесена информация из архивных данных по имеющимся на площадке подтвержденным тектоническим нарушениям и выходам воды в стенках и кровле выработок. Вся информация досконально изучалась, сопоставлялась, это позволило вынести на план каждого горизонта области, рекомендуемые для бурения дренажных скважин. Пример представления данных приведен на рис. 5.

Выделенные области повышенной трещиноватости были внедрены в трехмерную модель шахты для дальнейшего использования специалистами предприятия при решении различных задач, связанных с проходкой горных выработок и дренажных скважин. На рис. 6 представлена выкопировка из данной модели.

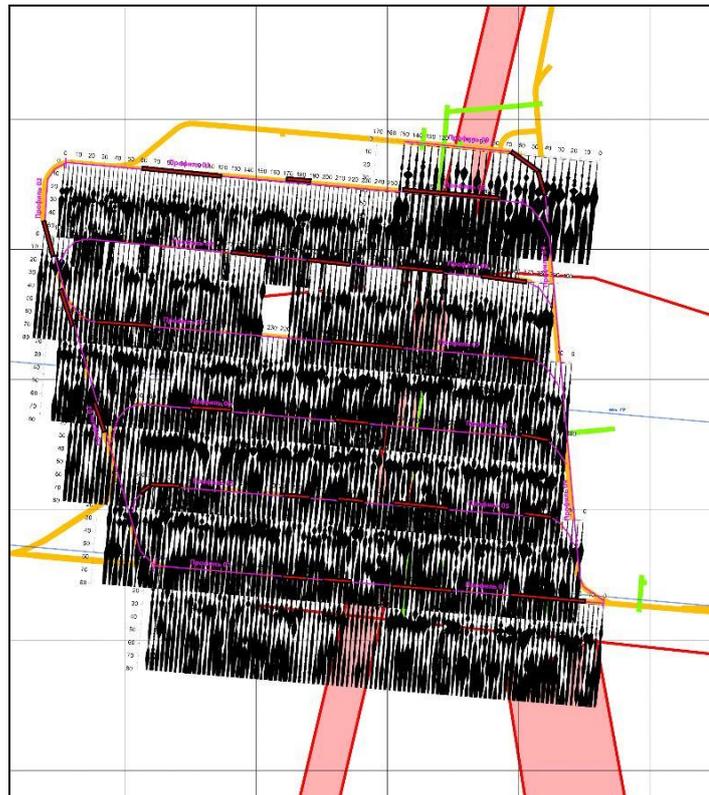


Рис. 4. Визуальное представление результатов исследований



Рис. 5. Структурно-тектоническая модель горизонта

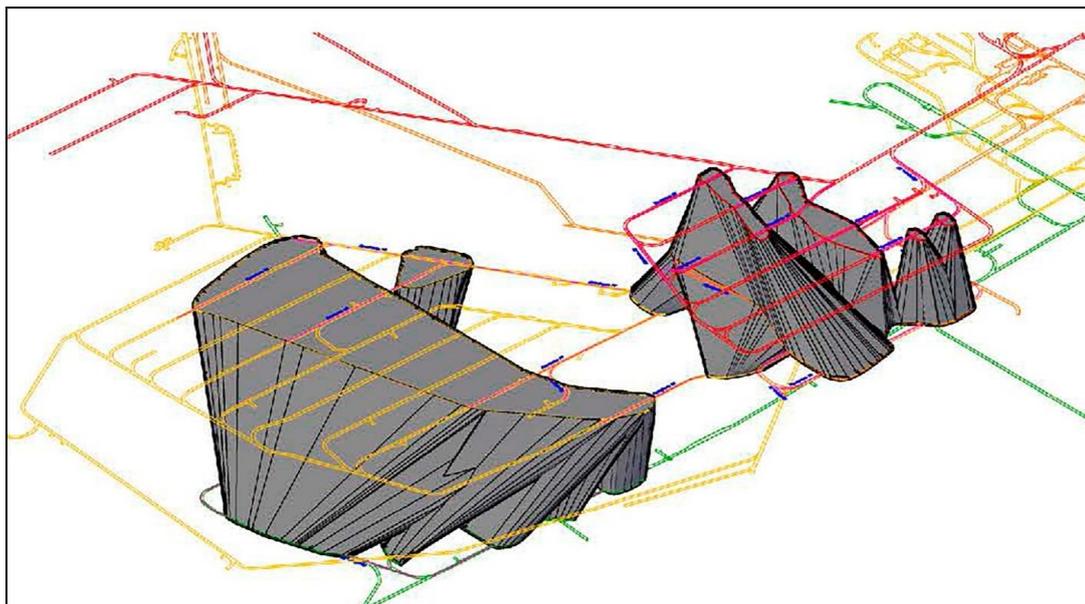


Рис. 6. Выкопировка из трехмерной модели участка исследований

По результатам районирования было произведено заверочное бурение вееров скважин. Для этого совместно со специалистами шахты были выбраны точки бурения и направления вееров. При этом точки были заданы как на участках, рекомендованных для бурения, так и за пределами выделенных областей для сравнения полученных результатов.

Первый веер был отбурен за пределами выделенной зоны, скважины оказались сухими, и массив, по информации буровых мастеров, достаточно устойчивый.

Второй и третий веера пробурены с учетом выделенных неоднородностей. Во втором вода вышла, хотя и дебит оказался незначительным, в третьем воды не было, но весь массив также, по информации бурового мастера, оказался сильно нарушенным, стволы скважин сильно изогнуты из-за встречи наклонной трещиноватости.

Нужно отметить, что бурение первых трех вееров проводилось на практически сухом нижнем горизонте в кровлю выработок, причем, как говорилось раньше, нарушенные области выделялись по зондированиям в почву и интерполировались на остальной массив.

Далее предстоит бурение на остальных горизонтах, однако уже сейчас можно сделать вывод о том, что выбранная методика исследований оказалась достаточно информативной, а результаты были подтверждены бурением, т.е. результаты достоверные.

Исследования структурно-тектонического строения массива горных пород при ведении горных работ – необходимая задача не только для осушения горного массива, но и для обеспечения безопасности проходки горных выработок, что подтверждается многими международными исследованиями [11 – 15].

Заключение

Использование метода спектрального сейсмопрофилирования для диагностики массива горных пород, вмещающего шахтное поле, показало свою эффективность и достоверность при выявлении зон повышенной трещиноватости. В данном случае исследования проводились в почву выработок, однако при других способах крепления выработок зондирования можно проводить и в стенки и кровлю выработок, что позволяет изучить массив горных пород в разных плоскостях [16].

Результаты исследований прошли экспериментальную оценку путем бурения заверочных дренажных вееров скважин, построенная по результатам геофизических ра-

бот объемная модель развития трещиноватости шахтного поля будет использоваться специалистами предприятия для решения задач строительства и размещения горных выработок и дренажных скважин. Следует отметить, что при окончательном выборе мест размещения восстающих выработок следует проводить дополнительные геофизические исследования с уменьшением шага зондирования (шаг профиля не более 1 м) для получения более точной и полной информации, пример выполнения таких работ на комбинате уже имеется [17].

Список литературы

1. Гликман А.Г., 2018. *Физика и практика спектральной сейсморазведки*. URL: <http://www.newgeophys.spb.ru> (дата обращения 20.08.2024).
2. Мельник В.В., 2021. Геомеханический мониторинг геофизическими методами при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. *Проблемы недропользования*, № 4(31), С. 36-43. DOI 10.25635/2313-1586.2021.04.036. EDN NWOQF.
3. Мельник В.В., 2021. Решение проблемы повышенной обводненности руды при ведении очистных работ на шахте "Десятилетие независимости Казахстана" (ДНК). *Проблемы недропользования*, № 2(29), С. 17-26. DOI 10.25635/2313-1586.2021.02.017. EDN XDCQWH.
4. Левин Е.Л., Сердюков А.Л., 2017. Вероятностные модели предельного равновесия, деформации борта проектируемого карьера с динамическим прогнозированием параметров поверхностей скольжения при использовании метода спектрального сейсмопрофилирования. *Проблемы недропользования*, № 4(15), С. 43-51. EDN ZXKYFH.
5. Мельник В.В., Харисов Т.Ф., Замятин А.Л., 2020. Методические основы комплексных геомеханических исследований для выбора оптимальных параметров осушения обводненных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № 3-1, С. 127-137. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-127-137. EDN TFMPKG.
6. Семенов С.Н., 2018. Опыт прогнозирования зон тектонических нарушений и повышенной трещиноватости в массиве горных пород на шахтах Донского горно-обогатительного комбината. *Проблемы горного давления*, № 1-2(34-35), С. 81-86. EDN XYFFFI.
7. Мельник В.В., 2006. Диагностика карстоопасности методом спектрального сейсмопрофилирования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 7, С. 153-156. EDN HZUYDF.
8. 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. EDN DOQHKM.
9. Далатказин Т.Ш., Ведерников А.С., Григорьев Д.В. и др., 2022. Опыт применения геофизических методов в комплексе геодинамической диагностики горного массива. *Горная промышленность*, № S1, С. 105-110. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-105-110. EDN HODQHC.
10. 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. EDN IFAQTV.
11. 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.

12. Conyers L.B., 2016. *Ground-penetrating radar for geoarchaeology. Analytical methods in earth and environmental science*. N. Y: Wiley, 160 p.
13. Junjie Cai, Xijian Li, Longxing Guo, Haiteng Xue, Bize Xu, 2022. Fracture Development and Multifield Coupling Evolution Law of Soft Overburden Rock in a Medium-Thick Coal Seam Mine " *Geofluids*, vol. March, Article ID 6371887, 14 p., DOI 10.1155/2022/6371887
14. Shichuan Zhang, Baotang Shen, Yangyang Li, Shengfan Zhou, 2019. Modeling Rock Fracture Propagation and Water Inrush Mechanisms in Underground Coal Mine " *Geofluids*, vol. 12, Article ID 1796965, 15 p., DOI 10.1155/2019/1796965.
15. Халимендик Ю.М., Бруй А.В., Чемакина М.В., 2010. Исследование закономерностей вывалообразований в очистных забоях угольных шахт. *Записки Горного института*, Т. 188, С. 70-73. EDN RENUCX.
16. Мельник В.В., Замятин А.Л., 2024. Оценка точности и информативности геофизических методов для решения задач картирования структурных неоднородностей в шахте. *Проблемы недропользования*, № 1(40), С. 90-101. DOI 10.25635/2313-1586.2024.01.090. EDN CBRZTJ.
17. Князбаева Ж.Р., Насыров Р.Ш., Мельник В.В., 2024. Укрепление массива горных пород с использованием геофизических методов контроля его состояния для обеспечения возможности проходки вертикальной горной выработки. *Conference: «Ресурсосберегающие технологии в минерально-индустриальном мегакомплексе в условиях устойчивого развития экономики». 14-15 марта 2024*. Ат: Алматы: КазННТУ, С. 110-113.

References

1. Glikman A.G., 2018. *Fizika i praktika spektral'noj sejsmorazvedki [Physics and practice of spectral seismic exploration]*. URL: <http://www.newgeophys.spb.ru> (data obrashcheniya 20.08.2024).
2. Mel'nik V.V., 2021. Geomekhanicheskij monitoring geofizicheskimi metodami pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh otkryтым способом [Geomechanical monitoring by geophysical methods in the development of mineral deposits in an open pits]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(31), S. 36-43. DOI 10.25635/2313-1586.2021.04.036. EDN NWOQF.
3. Mel'nik V.V., 2021. Reshenie problemy povyshennoj obvodnennosti rudy pri vedenii ochistnyh rabot na shahte \"Desyatiletie nezavisimosti Kazahstana\" (DNK) . [Solution of the problem of increased water content of ore during treatment operations at the mine \"Decade of Independence of Kazakhstan\"]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2(29), S. 17-26. DOI 10.25635/2313-1586.2021.02.017. EDN XDCQWH.
4. Levin E.L., Serdyukov A.L., 2017. Veroyatnostnye modeli predel'nogo ravnovesiya, deformacii borta proektiruемого kar'era s dinamicheskim prognozirovaniem parametrov poverhnostej skol'zheniya pri ispol'zovanii metoda spektral'nogo sejsmoprofilirovaniya . [Probabilistic models of marginal equilibrium, deformation of the side of the projected quarry with dynamic prediction of sliding surface parameters using the spectral seismic profiling method]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(15), P. 43-51. EDN ZXKYFH.
5. Mel'nik V.V., Harisov T.F., Zamyatin A.L., 2020. Metodicheskie osnovy kompleksnyh geomekhanicheskikh issledovaniy dlya vybora optimal'nyh parametrov osusheniya obvodnennyh mestorozhdenij [Methodological foundations of complex geomechanical studies for the selection of optimal parameters for the drainage of flooded deposits]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)*, № 3-1, P. 127-137. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-127-137. EDN TFMPKG.
6. Semenov S.N., 2018. Opyt prognozirovaniya zon tektonicheskikh narushenij i povyshennoj treshchinovatosti v massive gornyh porod na shahtah Donskogo gorno-

obogatitel'nogo kombinata [Experience of forecasting zones of tectonic disturbances and increased fracturing in the rock mass at the mines of the Don Mining and processing plant]. Problemy gornogo davleniya, № 1-2(34-35), P. 81-86. EDN XYFFFI.

7. Mel'nik V.V., 2006. Diagnostika karstoopasnosti metodom spektral'nogo sejsmoprofilirovaniya [Karst hazard diagnostics by spectral seismic profiling method]. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', № 7, P. 153-156. EDN HZUYDF.

8. Shevchenko M.D., 2021. Izuchenie izmenenij massiva gornyh porod v oblasti vliyaniya podzemnyh gornyh 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. EDN DOQHKM.

9. Dalatkazin T.Sh., Vedernikov A.S., Grigor'ev D.V. i dr., 2022. Opyt primeneniya geofizicheskikh metodov v komplekse geodinamicheskoy diagnostiki gornogo massiva [Experience of using geophysical methods in the complex of geodynamic diagnostics of a mountain range]. Gornaya promyshlennost', № S1, P. 105-110. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-105-110. EDN HODQHC.

10. Mel'nik V.V., 2005. Primenenie metoda spektral'nogo sejsmoprofilirovaniya dlya ocenki geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornyh porod vokrug shahtnyh vyrabotok [Application of the spectral seismic profiling method to assess the geomechanical state of the rock mass around mine workings]. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', № 10, P. 69-74. EDN IFAQTV.

11. 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.

12. Conyers L.B., 2016. Ground-penetrating radar for ge archaeology. Analytical methods in earth and environmental science. N. Y: Wiley, 160 p.

13. Junjie Cai, Xijian Li, Longxing Guo, Haiteng Xue, Bize Xu, 2022. Fracture Development and Multifield Coupling Evolution Law of Soft Overburden Rock in a Medium-Thick Coal Seam Mine " Geofluids, vol. March, Article ID 6371887, 14 p., DOI 10.1155/2022/6371887

14. Shichuan Zhang, Baotang Shen, Yangyang Li, Shengfan Zhou, 2019. Modeling Rock Fracture Propagation and Water Inrush Mechanisms in Underground Coal Mine " Geofluids, vol. 12, Article ID 1796965, 15 p., DOI 10.1155/2019/1796965.

15. Halimendik Yu.M., Bruj A.V., Chemakina M.V., 2010. Issledovanie zakonmernostej vyvaloobrazovaniy v ochistnyh zaboyah ugol'nyh shaht [Investigation of the patterns of fallout formation in the treatment faces of coal mines]. Zapiski Gornogo instituta, Vol. 188, P. 70-73. EDN RENUCX.

16. Mel'nik V.V., Zamyatin A.L., 2024. Ocenka tochnosti i informativnosti geofizicheskikh metodov dlya resheniya zadach kartirovaniya strukturnyh neodnorodnostej v shahte [Assessment of accuracy and informativeness of geophysical methods for solving problems of mapping structural heterogeneities in a mine]. Problemy nedropol'zovaniya, № 1(40), P. 90-101. DOI 10.25635/2313-1586.2024.01.090. EDN CBRZTJ.

17. Knyazbaeva Zh.R., Nasyrov R.Sh., Mel'nik V.V., 2024. Ukreplenie massiva gornyh porod s ispol'zovaniem geofizicheskikh metodov kontrolya ego sostoyaniya dlya obespecheniya vozmozhnosti prohodki vertikal'noj gornoj vyrabotki [Strengthening of the rock mass using geophysical methods of monitoring its condition to ensure the possibility of sinking vertical mining]. Conference: «Re-sursosberegayushchie tekhnologii v mineral'no-industrial'nom megakomplekse v usloviyah ustojchivogo razvitiya ekonomiki». 14-15 marta 2024. At: Almaty: KazNITU, P. 110 - 113.