

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ

Б.Р. Раимжанов¹, А.Р. Хасанов², О.Э. Фарманов³

¹ Алмалыкский филиал НИТУ «МИСиС», Алмалык, Республика Узбекистан

² Узбекский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт
геотехнологии и цветной металлургии «УзГЕОРАНГМЕТЛИТИ»
при Государственном комитете Республики Узбекистан
по геологии и минеральным ресурсам, Ташкент, Республика Узбекистан,
e-mail: info@georang.uz

³ Навоийский горно-металлургический комбинат
Южное рудоуправление ЮРУ НГМК, Нурабад, Республика Узбекистан

Аннотация: Обобщены основные результаты производства натуральных исследований по определению и оценке напряженно-деформированного состояния массива горных пород геомеханическими и геофизическими методами, в числе которых: замеры напряжений методом дискования керна для оценки удароопасности участков месторождения; замеры напряжений методом щелевой разгрузки на характерных участках месторождений; визуальные обследования действующих горизонтов. Методом дискования керна установлено, что характерных признаков удароопасности участков месторождения, расположенных вне зоны влияния очистных работ, не обнаружено. Однако по совмещенным данным произведенных визуальных наблюдений и геофизических исследований с блочной тектонической структурой прослежена прямая взаимосвязь и приуроченность проявлений горного давления на контурах основных вскрывающих, подготовительно-нарезных выработок и эксплуатационных блоков к характерным участкам и геометрическим формам тектонических блоков в районе месторождений. Вместе с тем, следует отметить, что проявления горного давления происходят не во всех тектонических блоках, а только на участках, где сформированы условия для их развития в зависимости от геометрических форм и направлений действия главных тектонических напряжений. По результатам проведенных комплексных исследований приведены рекомендации по совершенствованию существующей технологии отработки рудных тел на участках с высоким напряженно-деформированным состоянием массива горных пород.

Ключевые слова: геомеханика, напряженно-деформированное состояние, горные удары, массив, горная порода, дискование керна, щелевая разгрузка, обследование, напряжение, выработка, добыча, крепление.

Для цитирования: Раимжанов Б. Р., Хасанов А. Р., Фарманов О. Э. Исследование гео-динамического состояния массива горных пород с целью прогнозирования горных ударов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10. – С. 29–41. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_29.

Analysis of geodynamic behavior of rock mass for the purpose of rock burst prediction

B.R. Raimjanov¹, A.R. Khasanov², O.E. Farmanov³

¹ Almalyk branch of National University of Science and Technology «MISIS»,
Almalyk, Republic Uzbekistan

² Uzbek Research and Design and Survey Institute of Geotechnology and Nonferrous Metallurgy
of «UzGEORANGMETLITI» at the State Committee of Republic Uzbekistan on Geology
and Mineral Resources, Tashkent, Republic Uzbekistan, e-mail: info@georang.uz

³ Navoi Mountain-Metallurgical Integrated Works Southern Mining Administration, URU NGMK,
Nurabad, Republic Uzbekistan

Abstract: The article generalizes in-situ research data on determination and estimation of the stress-strain behavior of rock mass by geomechanical and geophysical methods for the purpose of rockburst hazard prediction, including core diskings, borehole slotting in representative sites and visual inspection of operating levels in mines. Core diskings reveals no rockburst hazard signs in rock mass areas beyond the influence zone of stoping. However, the joint data of visual inspection and geophysical survey in rock mass structured as tectonic blocks exhibit that the confining pressure-induced phenomena at the boundaries of access, preparatory and production excavations are interconnected and confined to characteristic sites and geometrical shapes of tectonic blocks. It is observed that the confining pressure-induced phenomena occur not in all tectonic blocks but only in the suitable sites of certain geometry and with certain orientation of principal tectonic stresses. Based on the integrated research implementation, the recommendations are given for the improvement of the existing mining technology in sites with the poor stress-strain behavior of rock mass.

Key words: geomechanics, stress-strain behavior, rock bursts, rock mass, rock, core diskings, borehole slotting, inspection, stress, underground excavation, mining, support.

For citation: Raimjanov B. R., Khasanov A. R., Farmanov O. E. Analysis of geodynamic behavior of rock mass for the purpose of rock burst prediction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10):29-41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_29.

Введение

Месторождение «Чармитан» Зармитанской золоторудной зоны в последние годы по причине интенсивного ведения горных работ и ускоренных темпов понижения глубины разработок сталкивается с большим количеством сложностей в области сохранения безопасных условий разработки рудных тел и обеспечения добычи руды с оптимальным содержанием полезного компонента.

Для решения возникших проблем горного производства и сохранения интенсивности добычи руды и бесперебойного выполнения годовых планов

необходимо определить истинные поля напряжений, выявить границы участков месторождений со сложными горно-геологическими условиями и усовершенствовать существующие технологии добычи руды.

Решение было найдено путем комплексного обследования месторождения: натурных исследований по определению степени удароопасности участков месторождения, определению направлений главных напряжений на площади месторождения и разработкой технических решений для борьбы с повышенным горным давлением.

Исследование геомеханической обстановке на месторождении «Чармитан» в первую очередь проводилось комплексом визуального обследования горных выработок с увязкой геотектонической блочностью месторождения и применением методов щелевой разгрузки и дисконирования керна.

Как известно, одним из основных методов оценки напряженного состояния массива горных пород и контроля состояния выработок являются визуальные наблюдения, которые позволяют в короткие сроки на большой площади оценить уровень напряженности массива на обнажениях выработок, характер и интенсивность проявления горного давления, состояние и эффективность крепи [1 – 4].

При обследовании горных выработок обращалось внимание на характер разрушения пород на контуре выработок, уменьшения или увеличения сечения выработки в результате разрушения, а также насколько параллельно происходит отслаивание плитки контура выработки и как согласовываются поверхности отслоения с естественными поверхностями ослабления.

Визуальным обследованием месторождения «Чармитан» на горизонте +720 м в районе квершлага «Северный», пройденного в граносиенитах, в породах средней трещиноватости выявлены трещины, залеченные кварцем, чем объясняется высокая устойчивость массива. Трещиноватость массива представляет собой трещины свола, что объясняет вывалы небольшого объема при проходке выработок. Заколообразование в выработке объясняется повышенным напряженным состоянием массива в период проходки. Оно происходит, как правило, в кровле по плоскостям ослабления, что характеризует структуру массива как блочную. Район полевых выработок, пройденных в зоне оперяющих трещин

«Центрального» разлома, закреплен арочной крепью с железобетонной затяжкой кровли и бортов выработки.

Другая картина наблюдалась при обследовании полевого штрека «Восточный», проходка выработки производилась в зоне интенсивной трещиноватости, сопровождалась повышенным заколообразованием в кровле выработки, что свидетельствует о значительных горизонтальных тектонических напряжениях. Обрушение кровли происходило по плоскостям ослабления, что потребовало установки арочного крепления в период проходки. Наличие значительных отслоений в бортах выработки свидетельствует о преобладающем горном давлении со стороны кровли. Отсутствие видимых деформаций арочного крепления свидетельствует о затухании проявлений горного давления со временем.

На горизонте +600 м по полевому штреку «Западный» находится участок массива с интенсивной трещиноватостью, который закреплен арочным креплением. Он характеризуется проявлением горного давления со стороны кровли, вследствие чего возникают значительные обрушения в бортах выработки. В период проходки выработки по трещинам свола образовался шатровый свод, однако объем вывала и деформации арочного крепления были незначительны.

Также при обследовании квершлагов процесс проходки сопровождался незначительными вывалами и деформациями с образованием шатрового свода, однако после установки арочного крепления и образования свода естественного равновесия высотой до 1,0–1,5 м обрушения кровли прекратились. Впоследствии арочное крепление перестало нести нагрузку.

При обследовании ортов-заездов, находящихся в зоне опорного давления, выявлено, что целики между погрузоч-

ными ортами разрушены по плоскостям ослабления на высоту от $1/3$ до $0,5$ высоты орта на глубину до $1,5$ м, что свидетельствует о преобладании вертикальной составляющей напряжений, в свою очередь, это требует увеличения расстояния между погрузочными ортами.

На горизонте $+540$ м основные горно-капитальные выработки заложены в устойчивом массиве и проходятся без крепления. В период проходки выработка, когда напряжение на контуре выработки имело максимальное значение, на отдельных участках зафиксированы небольшие заколообразования по кровле с образованием свода шатровой формы.

При проходке «Квершлага 6001» зафиксировано проявление горного давления в виде треска и шелушения породы. Проявления наблюдались в течение 5 дней, а затем полностью прекратились. Участок выработки длиной 20 м закреплен арочным креплением с деревянной затяжкой, при этом деформаций крепи не наблюдалось.

По результатам визуального обследования горных выработок месторождения «Чармитан» можно сделать вывод, что не менее 90% всех выработок на месторождении проходятся без крепления или с использованием набрызг-бетонного крепления. В период проходки выработок, когда напряжения на контуре подготовительной выработки максимальное, по плоскостям ослабления и трещинам скола, особенно в местах, где эти трещины заполнены более мягким материалом, происходило заколообразование и обрушение небольшого объема. При пересечении выработок участка массива с интенсивной трещиноватостью или геологических нарушений установлено арочное крепление из спецпрофиля с полной затяжкой кровли и боков выработки.

В большей части участков массив находится в устойчивом равновесном со-

стоянии. Кровля выработок приобретает шатровую форму, что свидетельствует о действии в массиве горизонтальных напряжений, направленных как правило, вкрест простирания обрабатываемых рудных тел. Выработки, проходимые в зоне влияния очистных работ, испытывают в основном действие вертикальных нагрузок от веса вышележащих пород по причине того, что вышележащая часть рудных тел уже отработана, и подготовительная выработка попадает в зону опорного давления. Этот факт подтверждается тем, что при малом расстоянии между погрузочными ортами-заездами наблюдаются случаи разрушения междуортных целиков на откаточном горизонте, что, в свою очередь, вынуждает производить крепление погрузочных ортов, чтобы выпустить отбитую горную массу из эксплуатационного блока [5].

Для определения количественной информации о наличии значительного напряженно-деформированного состояния были проанализированы результаты более 120 замеров показателей акустической эмиссии, выполненных на месторождении «Чармитан» при проходке горно-капитальных и подготовительно-нарезных выработок, обеспечивающих вскрытие и доступ к рудным телам на новых горизонтах рудника, где наблюдались внешние признаки динамических проявлений горного давления (шелушение, потрескивание горных пород), полученных при замерах прибором СБ 32 «Сапфир».

По результатам анализа замеров установлено, что уровень напряжений в массиве повышается в первые часы после производства взрывных работ, а затем количество регистрируемых импульсов постепенно затухает, что говорит о снижении мощности процесса деформации горных пород со временем. Удельное количество высокоэнергетических им-

пульсов за весь период измерений приблизительно постоянное и не создает предпосылок для возникновения горных ударов, но характеризует наличие неустойчивого напряженного состояния массива. Принятый интервал измерений параметров акустической эмиссии, начиная с 2 ч и не позднее чем через 4 ч после производства взрывных работ в забое, позволяет получить достаточно объективную картину протекания процесса акустической эмиссии.

Для выявления качественной характеристики напряженно-деформированного состояния массива горных пород на месторождении выполнены исследования по методу щелевой разгрузки и дискованию керна [4–9].

Как известно, метод щелевой разгрузки основан на измерении деформаций стенки выработки или забоя, возникающих при создании в ней щели продолговатой формы [4, 10, 11]. При этом зона разгрузки массива пород достигает трех размеров щели, длина которой составляет порядка 0,3 м. Метод применим для крепких, упругих, слаботрещиноватых пород и руд, когда вблизи контура выработки не образуется зона неупругих деформаций, что характерно для рассматриваемого месторождения. С помощью метода щелевой разгрузки определены напряжения в борту подготавливаемой выработки — вертикальные и горизонтальные, — действующие вдоль оси выработки [6–8]. Образование щелей производилось перфоратором УТ-29 на пневмоподдержке.

На стенке выработки бурились шпур и закреплялись в них два репера, с помощью микрометра фиксировали расстояние между ними ($b \approx 300$ мм), затем перфоратором оформлялась щель между реперами и измерялось их смещение в результате частичной разгрузки стенки выработки. Величина напряжений, действующих перпендикулярно

к плоскости щели, определялась по формуле [4]:

$$\sigma_{\text{перп}} = \left[\frac{U_{A-B} \cdot E \cdot \pi}{8 \cdot R - \pi \cdot L \cdot (1 - K_{\text{перп}} + \mu \cdot K_{\text{паралл}})} \right] \quad (1)$$

где U_{A-B} — деформация массива между реперами после образования щели, см; E — модуль упругости породы, МПа; R — радиус щели, см; L — расстояние между реперами, см; $K_{\text{перп}}$, $K_{\text{паралл}}$ — концентрации напряжений в направлениях соответственно перпендикулярно и параллельно щели.

Определение величин напряжений, действующих в горном массиве, производилось в районе штрека по рудному телу № 17 на горизонте 540 м в выработке, расположенной параллельно рудным структурам. На участке измерений наблюдались разноориентированные крутопадающие от 700 до 800 тектонические трещины, основные физико-механические свойства пород приняты по данным лабораторных исследований при детальной разведке нижних горизонтов месторождения: модуль упругости граносиенитов — $E = 4,50 \cdot 10^4$ МПа; деформация участка после образования щели — $U_{1-2} = -0,004$ см; радиус щели — $R = 30,2$ см; расстояние между реперами — $L = 30,5$ см; коэффициент Пуассона — $\mu = 0,21$; коэффициенты концентрации вблизи щели, перпендикулярно и параллельно ее контуру, принимались $K_{\text{перп}} = 0,01$, $K_{\text{паралл}} = 0,098$.

Доверительный интервал определения средних величин напряжений составляет 12,7–40,3% от их абсолютных значений, что соответствует пределу точности замеров напряжений горных пород. Измеренные величины первоначальных напряжений использовались для оценки удароопасности месторождения и определения параметров конструктивных элементов эксплуатационных блоков. Однако, принимая во внимание

сложность строения горного массива, в процессе дальнейших исследований указанные величины уточнялись комплексными натурными замерами в различных участках месторождения [4, 8].

Неравномерность распределения напряжений в массиве обуславливается сложной тектонической структурой, в частности блочностью пород, ограниченной системами трещин и нарушений, влиянием отработанного пространства, а также гористым рельефом местности. Фактические вертикальные напряжения (σ_v) массива пород практически равны гравитационным напряжениям от веса налегающих пород, равным γH по Гейму, и составляют для месторождения «Чармитан» на горизонте +540 м, $\sigma_v = 10,26$ МПа, где γ — объемный вес пород, 0,027, МН/м³, H — глубина разработки от поверхности, 380 м. Горизонтальные напряжения (σ_r) на рассматриваемом горизонте, направленные по простиранию рудных тел, в 1,4–1,6 раз больше вертикальных напряжений. Максимальные значения имеют напряжения, действующие вкрест простирания рудных залежей, они в 2,5–3,5 раза превышают вертикальные напряжения (табл. 1).

Превышение горизонтальных напряжений над вертикальными можно объяснить наличием в массиве наряду с

гравитационными напряжениями значительных напряжений тектонического происхождения, поддерживаемых современными неотектоническими движениями земной коры, а также значительным перераспределением напряжений за счет оставленных пустот, незаложенных камер.

Наличие современных неотектонических движений земной коры ранее установлено на других рудных месторождениях Средней Азии И.Т. Айтматовым, Н.Г. Ялымовым, В.Р. Рахимовым, К.Д. Вдовиным, Г.А. Марковым и др. [12–15].

По результатам экспериментальных исследований установлена вариация напряжений на контуре выработок, вертикальные напряжения варьируются в диапазоне от 3,0 до 4,0 МПа, горизонтальные напряжения изменяются в диапазоне от 15,0 до 30,0 МПа. Основным фактором такого разброса данных, по видимому, является наличие нескольких систем трещин и, соответственно, блочное строение скального массива наряду с большим количеством незаложенных пустот, образованных в результате отработки рудных тел вышележащих горизонтов за счет перераспределения опорного давления на нижние горизонты [16–19].

Таблица 1

Характеристика первоначальных напряжений массива горных пород месторождения «Чармитан»

Characteristic of initial stress in rock mass of Charmitan deposit

Место производства замера	Действие напряжений	Теоретическое напряжение по А. Гейму $\sigma_v = \gamma H$, МПа	Тектонические напряжения по данным натурных измерений	
			результаты определения напряжений методом щелевой разгрузки, МПа	σ_r/σ_v
Горизонт +540 м по простиранию рудных структур	вертикальное	10,26	3,95	3,87
	горизонтальное		15,30	
Горизонт +540 м вкрест простирания рудных структур	вертикальное	10,26	3,85	7,6
	горизонтальное		29,1	

Таблица 2

Результаты производства замеров дисков
Core diskling measurement data

Название месторождения, горизонт, высота выработки (h)	Керн																			
	1 м (t, мм)					2 м (t, мм)					3 м (t, мм)					4 м (t, мм)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Чармитан, гор. +480 м; квершлаг № 7004, h = 4,0 м	45, 230	30, 20	60, 20	125, 115	125, 160	395, 95	60, 155	135	40	40	372	65	280	140	100	150, 280	80	90	90	255
Чармитан, гор. +480 м; штрек по рудному телу 1 ^а , h = 4,0 м	40, 65	15, 115	87	80	350	230	240	360	—	—	435	470	—	—	—	75, 215	215	245	210	—

Таблица 3

Определение на месторождении «Чармитан» максимальных напряжений, действующих на контуре выработок
Maximal stresses at boundary of stopes in Charrmitan deposit

№	Горизонт, выработка	X _{max} , см	t _{min} ^р , см	t _{min} ^д , см	t _{min} ^л /d	σ _{max} /σ _{ск}	h, см	X _{max} /h	σ _{ск} , МПа	σ _{max} , МПа	σ _в = γ·H, МПа	σ _{ос} = σ _{max} - 0,2, МПа
1	Горизонт +660 м, штрек по рудному телу	228,2	1,3	0,33	0,54	260	0,8	49,02	26,3	7,02	5,25	
2	Горизонт +480 м, квершлаг № 7004	35,3	2,4	0,62	0,39	440	0,1	51,8	20,2	11,88	4,03	
3	Горизонт +480 м, штрек по рудному телу	по результатам бурения дискование керна не обнаружено										

Опыт разработки удароопасных месторождений в СНГ и других странах показал, что склонность руд (пород) к накоплению упругой потенциальной энергии и к хрупкому разрушению, а также близость уровня действующих напряжений к пределу прочности пород надежно определяется по эффекту деления керна породы (руды) на выпукловогнутые диски при бурении скважин кольцевыми коронками. Причем выпуклость дисков направлена от выработки в глубь массива [1, 4].

Для прогноза удароопасности и оценки напряженности массива использовался буровой станок «Diamex 232» с режимом бурения: скорость вращения бурового става 350–450 об/мин; усилие подачи порядка 1,0 МПа; скорость бурения 1–2 см/мин. Бурение производилось алмазной керновой коронкой диаметром 49 мм. Бурение колонковых скважин, по которым отбирался керн, производилось в выработках, находящихся вне зоны влияния очистных работ для определения естественного поля напряжений [4].

Участки производства буровых работ на месторождении «Чармитан» выбирались в зависимости от заложения выработок относительно рудных структур. Буровые работы производились в квершлагах горизонта +480 м и в штреке по рудному телу на этом же горизонте, керн отбирался из горизонтальных скважин длиной до 5 м и исследовался в интервале бурения через 1 м, результаты замеров дисков приведены в табл. 2.

По результатам проведенных буровых работ на месторождении «Чармитан» определялись: расстояния от борта выработки до точки максимальных напряжений X_{\max} , см, минимальная толщина дисков керна, t_{\min} , см, отношение минимальной толщины дисков керна к диаметру керна t_{\min}/d . В соответствии с инструкцией [4] определены макси-

мальные напряжения (σ_{\max}) в массиве по дискованию керна, соотношения максимальных напряжений в зоне опорного давления к пределу прочности на одноосное сжатие в массиве ($\sigma_{\text{сж}}$) для соответствующих горных пород в местах бурения ($\sigma_{\max}/\sigma_{\text{сж}}$) и напряжения по оси скважины ($\sigma_{\text{ос}}$). Результаты приведены в табл. 3.

Предел прочности на одноосное сжатие в массиве определялся на основании данных физико-механических свойств пород исходя из прочности пород на сжатие в образцах в пересчете на коэффициент структурного ослабления массива для среднетрещиноватых пород [17–19].

По результатам оценки бурения кернов в месте производства буровых работ на горизонте +480 м месторождения «Чармитан» определенные параметры критерия удароопасности располагаются в области категории массива со значением «Неопасно».

Поле напряжений нетронутого массива принимается неравнокомпонентным, что объясняется действием тектонических сил.

Из опыта изучения напряженно-деформированного состояния и проявлений горного давления в динамической форме при переходе на нижние горизонты рекомендуют определять главные горизонтальные максимальные и минимальные напряжения нетронутого массива в условиях предельного напряженного состояния, которые связаны с главными напряжениями зависимостью [16]:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_{\text{сжк}} + \sigma_3 \cdot \text{tg}^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right); \\ \sigma_2 &= \sigma_{\text{сжк}} - \sigma_3 \cdot \text{tg}^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где σ_1 , σ_2 , σ_3 — главные горизонтальные, промежуточные и вертикальные напряжения, МПа; $\sigma_{\text{сжк}}$ — предельное сопротивление одноосному сжатию, МПа; φ — угол внутреннего трения породы.

Таблица 4

Результаты расчета горизонтальных (σ_1 и σ_2) и вертикального напряжения σ_3
Calculated horizontal stresses (σ_1 and σ_2) and vertical stresses σ_3

№	Наименование	$\sigma_3 = \gamma \cdot H$, МПа	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$\sigma_3 = \gamma \cdot H + \lambda \cdot \sigma_1$, МПа
1	Горизонт +660 м, Квершлаг +660-1	7,02	22,66	19,22	14,57
2	Горизонт +480 м, Квершлаг № 7004;	11,88	21,73	18,03	19,12
3	Горизонт +480, Штрек по рудному телу;	по результатам бурения дискование керна не обнаружено			

$$\sigma_3 = \gamma \cdot H + \lambda \cdot \sigma_1; \lambda = \frac{\mu}{1 - \mu}. \quad (3)$$

Из (2) и (3) получено (табл. 4):

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{сжк}}{1 + \lambda \cdot tg^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)} + \frac{tg^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}{1 + \lambda \cdot tg^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)},$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{сжк}}{1 + \lambda \cdot tg^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)} - \frac{tg^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}{1 + \lambda \cdot tg^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}.$$

На основе физико-механических свойств основных горных пород, слагающих массив месторождения, для расчета приняты следующие данные: коэффициент Пуассона $\mu = 0,25$; угол внутреннего трения породы $\varphi = 41^\circ$, коэффициент бокового распора λ [17, 18].

На основании произведенных расчетов определены соотношения главных напряжений, действующих в массиве по отношению к вертикальному напряжению, из которых следует: главное максимальное горизонтальное напряжение, действующее вкрест простирания рудных структур, составляет $\sigma_1 = 1,83^*$

$\sigma_1 = 1,83^* \gamma \cdot H$, МПа; промежуточное горизонтальное напряжение, действующее по простиранию рудных структур, составляет $\sigma_2 = 1,52^* \gamma \cdot H$, МПа; вертикальные напряжения, действующие в массиве, являются минимальными и составляют $\sigma_3 = 1,00^* \gamma \cdot H$, МПа. По результатам бурения скважин под керна в выработках, расположенных вне зоны влияния очистных работ, признаков удароопасности массива не обнаружено.

Для пространственной привязки мест обнаружения проявления горного давления и результатов исследований было произведено совмещение с границами тектонических блоков, образованных главными разломами месторождения. Следует отметить, что зафиксированные нарушения при ведении подготовительных и очистных работ на месторождении имеют прямую взаимосвязь с блочной структурой, что оказало особое влияние на геомеханическое состояние горных выработок.

Наиболее опасными участками в отношении геомеханической устойчивости горных выработок, как оказалось, являются узлы пересечения границ тектонических блоков. К опасным также отнесены участки, на которых характеризующие тектонику района линии нескольких структур сливаются, соприкасаются, пересекаются или располагаются близко. Наибольшую опасность для горных работ представляют собой

места встречи отличающихся по типу и значимости тектонических структур. Это связано с тем, что в узлах пересекаются системы нарушений различной ориентировки, глубины заложения и кинематики [19 – 20].

Выводы и рекомендации

По результатам произведенных натурных измерений и аналитических расчетов видно, что полученные значения вертикальных напряжений меньше горизонтальных напряжений, в связи с этим можно сделать вывод о значительном влиянии тектонических напряжений на напряженное состояние массива на месторождении «Чармитан». Причем наличие достаточно высоких горизонтальных напряжений может проявляться в связи с влиянием значительного количества отработанных блоков, накопленных пустот. Кроме того, за счет большого пролета боковой плоскости выработанного пространства в массиве возникают высокие растягивающие напряжения, превышающие предел прочности пород при растяжении, что может приводить к обрушению боков выработанного пространства.

Значительный объем выработанного пространства за счет отработанных вышележащих горизонтов кардинально меняет напряженно-деформированное состояние массива горных пород нижних горизонтов вследствие развития зоны

высокого опорного давления. При этом в массиве образуется зона опасных сдвижений, внутри которой происходят обрушения и сдвижения пород с образованием разломов и трещин, нарушающих или существенно ухудшающих устойчивость пород и руд и, тем самым, создающих опасные условия для эксплуатации подготовительных выработок и выемки рудных тел в пределах этих зон.

Обрушение бортов выработанного пространства происходит за счет высоких растягивающих напряжений из-за больших боковых пролетов обнажения сформированного ранее выработанного пространства, но деформации носят затухающий характер.

При планомерном опускании горных работ на нижних горизонтах при нынешней технологии добычи наиболее рациональным способом создания безопасных условий для отработки запасов является заполнение выработанного пространства и увеличение объемов крепления подготовительных выработок комбинированной крепью (анкер с сеткой Рабица и набрызгбетоном) в местах сопряжений и пересечении нарушений, повышенной трещиноватости. При выборе типа крепи в условиях горного давления в динамической форме предпочтение следует отдавать крепям, взаимодействующим с приконтурным массивом и особенно комбинированным крепям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров А. Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. – М.: Изд-во «Горная книга», 2006. – 391 с.
2. Кузьмин Е. В., Святецкий В. С., Стародумов А. В., Иоффе А. М., Величко Д. В. Определение параметров геомеханического состояния породного массива на контурах выемочных камер // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 12. – С. 177 – 186.
3. Влох Н. П. Управление горным давлением на подземных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 207 с.
4. Инструкция по безопасному ведению горных пород на рудниках и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склоновых и опасных по горным ударам. <http://docs.cntd.ru/document/1200029699>.

5. Раимжанов Б. Р., Мухитдинов А. Т., Хасанов А. Р. Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород месторождения «Чармитан», влияющие на выбор технологии отработки запасов нижних горизонтов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 5. — С. 282–292.

6. Лизункин М. В., Бейдин А. В. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород Стрельцовского рудного поля / Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 4–5 июня 2014 г. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. — С. 30–38.

7. Ручкин В. И., Желтышева О. Д., Турсуков А. Л. Динамика напряженно-деформированного состояния «искусственного массива» горных пород с учетом подземных работ и тектоники данного района / Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 1–3 октября 2013 г. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. — С. 138–145.

8. Сайидкосимов С. С., Казаков А. Н., Хакбердиев М. Р. Модели полей тектонических напряжений в массиве горных пород в условиях подземной разработки золоторудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 1. — С. 23–37.

9. Асанов В. А., Токсаров В. Н., Самоделкина Н. А., Бельтюков Н. Л., Ударцев А. А. Оценка напряженно-деформированного состояния нетронутого массива на месторождении «Жаман-Айбат» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2014. — № 12. — С. 56–66. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.7.

10. Сергеев С. В., Сеница И. В., Карякин В. Ф. Оценка склонности массива пород на КМА к горным ударам // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. — 2015. — № 9(206). — С. 132–137.

11. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. — М.: Изд-во «Горная книга», 2008. — 329 с.

12. Сосновский Л. И., Филонюк В. А., Сосновская Е. Л. Указания по безопасному ведению горных работ на Дарасунском месторождении, склонным к горным ударам. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. — 94 с.

13. Макаров А. Б., Мосякин Д. В., Карпиков А. А. Оценка природного напряженного состояния массива на руднике «Жаман-Айбат» // Горный журнал. — 2005. — № 9-10. — С. 49–52.

14. Рахимов В. Р., Казаков А. Н., Хасанов А. Р. Исследование напряженно-деформированного состояния горных пород // Вестник ТашГТУ. — 2011. — № 1–2. — С. 167–171.

15. Айтматов И. Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. — Фрунзе: Илим, 1987. — 246 с.

16. Тагильцев С. Н. Прогноз современного напряженного состояния земной коры на Урале / Тезисы доклада на международной конференции «Геомеханика в горном деле-96». — Екатеринбург, 1996. — С. 221–222.

17. Zhang L. Evaluation of rock mass deformability using empirical methods. A review // Underground Space. 2017, vol. 2, no. 1. DOI: 10.1016/j.undsp.2017.03.003.

18. Zhishen Wang, Yong Li, Weishen Zhu, Yiguo Xue, Bei Jiang, Yanbo Sun Field monitoring of splitting failure for surrounding rock masses and applications of energy dissipation mode // Geomechanics and Engineering. 2017, vol. 12, no. 4, pp. 595–609.

19. Zhijie Zhu, Hongwei Zhang, Jun Han, Youchang Lv A risk assessment method for rock-burst based on geodynamic environment // Shock and Vibration. 2018, vol. 2018, article 2586842. DOI: 10.1155/2018/2586842.

20. Jiang F., Liu Y., Zhai M., Guo X., Jinglin Wen, Liu X., Ma X. Evaluation of rock burst hazard based on the classification of stress and surrounding rock // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2017, vol. 36, no. 5, pp. 1041–1052. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Makarov A. B. *Prakticheskaya geomekhanika*. Posobie dlya gornyykh inzhenerov [Practical geomechanics. The grant for mining geologists], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2006, 391 p.
2. Kuz'min E. V., Svyatetskiy V. S., Starodumov A. V., Ioffe A. M., Velichko D. V. Definition of parameters of a geomechanical condition of a pedigree file on contours excavation chambers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 12, pp. 177 – 186. [In Russ].
3. Vlokh N. P. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* [Management's a rock pressure on underground ore mines], Moscow, Nedra, 1994, 207 p.
4. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh porod na rudnikakh i nerudnykh mestorozhdeniyakh, ob"ektakh stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* [Instruction on safety conducting rocks on ore mines and nonmetallic deposits, installations of building of the underground structures inclined and dangerous on rock bumps]. [In Russ]. <http://docs.cntd.ru/document/1200029699>.
5. Raimjanov B. R., Muhitdinov A. T., Khasanov A. R. Research of the is intense-deformed condition of a rock mass of a deposit Charmitan influencing sampling of production engineering of working off of stocks of the bottom horizons. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 5, pp. 282 – 292.
6. Lizunkin M. V., Beidin A. V. Assessment of the stress-strain state of the rock massif of the Strel'tsovskoe ore field. *Geomekhanika v gornom dele: doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem 4–5 iyunya 2014 g.* [Geomechanics in mining: reports of the All-Russian scientific and technical conference with international participation June 4–5, 2014], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2014, pp. 30 – 38. [In Russ].
7. Ruchkin V. I., Zheltysheva O. D., Tursukov A. L. Dynamics of the stress-strain state of the «artificial massif» of rocks, taking into account the underground work and tectonics of this area. *Geomekhanika v gornom dele: doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem 1–3 oktyabrya 2013 g.* [Geomechanics in mining: reports of the All-Russian scientific and technical conference with international participation, October 1–3, 2013], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2014, pp. 138 – 145. [In Russ].
8. Sayyidkosimov S. S., Kazakov A. N., Khakberdiev M. R. Models of fields of tectonic stresses in a rock mass in the conditions of underground mining of gold deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 1, pp. 23 – 37. [In Russ].
9. Asanov V. A., Toksarov V. N., Samodelkina N. A., Belyukov N. L., Udartsev A. A. Assessment of the stress-strain state of the intact massif at the Zhaman-Aibat deposit. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo.* 2014, no. 12, pp. 56–66. [In Russ]. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.7.
10. Sergeev S. V., Sinitsa I. V., Karjakin V. F. Assessment of the propensity of rock mass on the KMA to rock bumps. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki.* 2015, no. 9(206), pp. 132–137. [In Russ].
11. Rasskazov I. Yu. *Kontrol' i upravlenie gornym davleniem na rudnikakh Dal'nevostochnogo regiona* [Control's and management of a rock pressure on ore mines of Far East region], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2008, 329 p.
12. Sosnovskiy L. I., Filonyuk V. A., Sosnovskaya E. L. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na Darasunskom mestorozhdenii, sklonnym k gornym udaram* [Directions for to safety conducting mountain works on the Darasun deposit, inclined to rock bumps], Irkutsk, Izd-vo IrGTU, 2006, 94 p.
13. Makarov A. B., Mosyakin D. V., Karpikov A. A. Estimation of natural stressed state of a massif at Zhaman-Aibat mine. *Gornyi Zhurnal.* 2005, no. 9-10, pp. 49 – 52. [In Russ].
14. Rakhimov V. R., Kazakov A. N., Khasanov A. R. Research of the is intense-deformed condition of rocks. *Vestnik Tashkentskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* 2011, no. 1–2, pp. 167 – 171. [In Russ].
15. Aytmatov I. T. *Geomekhanika rudnykh mestorozhdeniy Sredney Azii* [Geomechanics of ore fields of Central Asia], Frunze, Ilim, 1987, 246 p.

16. Tagiltsev S. N. Forecast of the current stress state of the earth's crust in the Urals. *Teziy doklada na mezhdunarodnoy konferentsii «Geomekhanika v gornom dele-96»* [Abstracts of report at the international conference «Geomechanics in Mining-96»], Ekaterinburg, 1996, pp. 221 – 222. [In Russ].

17. Zhang L. Evaluation of rock mass deformability using empirical methods. A review. *Underground Space*. 2017, vol. 2, no. 1. DOI: 10.1016/j.undsp.2017.03.003.

18. Zhishen Wang, Yong Li, Weishen Zhu, Yiguo Xue, Bei Jiang, Yanbo Sun Field monitoring of splitting failure for surrounding rock masses and applications of energy dissipation mode. *Geomechanics and Engineering*. 2017, vol. 12, no. 4, pp. 595 – 609.

19. Zhijie Zhu, Hongwei Zhang, Jun Han, Youchang Lv A risk assessment method for rock-burst based on geodynamic environment. *Shock and Vibration*. 2018, vol. 2018, article 2586842. DOI: 10.1155/2018/2586842.

20. Jiang F., Liu Y., Zhai M., Guo X., Jinglin Wen, Liu X., Ma X. Evaluation of rock burst hazard based on the classification of stress and surrounding rock. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2017, vol. 36, no. 5, pp. 1041 – 1052.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Раимжанов Бахадиржан Раимжанович — д-р техн. наук, профессор, Алмалыкский филиал НИТУ «МИСиС», Республика Узбекистан, e-mail: afnitumisis@mail.ru,
Хасанов Алексей Рашидович — начальник лаборатории, Узбекский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт геотехнологии и цветной металлургии «УзГЕОРАНГМЕТЛИТИ» при Государственном комитете Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам, Республика Узбекистан, e-mail: info@georang.uz,
Фарманов Озод Эркинович — начальник горного отдела, Навоийский горно-металлургический комбинат, Южное рудоуправление, Республика Узбекистан, e-mail: info@uru.ngmk.uz,

Для контактов: Хасанов А.Р., e-mail: info@georang.uz.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

B.R. Raimjanov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Almalyk branch of National University of Science and Technology «MISIS», Almalyk, Republic Uzbekistan, e-mail: afnitumisis@mail.ru,
A.R. Khasanov, Head of the Mining Research Laboratory, Uzbek Research and Design Institute of Geotechnology and Non-Ferrous Metallurgy «UzGEORANGMETLITI» under the State Committee of the Republic of Uzbekistan on Geology and Mineral Resources, Tashkent, Republic of Uzbekistan, e-mail: info@georang.uz,

O.E. Farmanov, Head of the Mining Department, Navoi Mountain-Metallurgical Integrated Works Southern Mining Administration, URU NGMK, Nurabad, Republic Uzbekistan, e-mail: info@uru.ngmk.uz.

Corresponding author: A.R. Khasanov, e-mail: info@georang.uz.

Получена редакцией 26.01.2021; получена после рецензии 01.03.2021; принята к печати 10.09.2021.
Received by the editors 26.01.2021; received after the review 01.03.2021; accepted for printing 10.09.2021.