

ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧАРМИТАН

С.С. Саййидкосимов¹, А.Н. Казаков¹, М.Р. Хакбердиев¹, М.Х. Рахимова¹

¹ Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан,
e-mail: muxlisa.xasanovna@gmail.com

Аннотация: Золоторудное месторождение Чармитан отнесено к удароопасным, в связи с чем необходимо дать оценку геомеханических условий его разработки. Для исследований применен метод геодинамического районирования. Установлена блочная структура месторождения, характер взаимодействия блоков и смоделировано напряженное состояние горного массива с выделением участков высокой концентрации тектонических напряжений. Для месторождения установлены три системы трещиноватости. Согласно сделанному прогнозу, выработки, пройденные в направлении простираения продольных и диагональных трещин или пересекающие их под косым углом, будут наименее устойчивыми, особенно в зонах высокой концентрации напряжений. Результаты работы могут быть использованы в проектных решениях и при разработке рекомендаций по безопасному ведению горных работ на больших глубинах.

Ключевые слова: месторождение Чармитан, удароопасность, метод геодинамического районирования, массив горных пород, напряженное состояние, трещиноватость, безопасность, горные работы.

Для цитирования: Саййидкосимов С. С., Казаков А. Н., Хакбердиев М. Р., Рахимова М. Х. Оценка геомеханических условий разработки золоторудного месторождения Чармитан // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 29–39. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_29.

Geomechanical conditions of gold mining in Charmitan Mine

S.S. Sajjidosimov¹, A.N. Kazakov¹, M.R. Hakberdiev¹, M.H. Rahimova¹

¹ Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, e-mail: muxlisa.xasanovna@gmail.com

Abstract: Charmitan Gold Mine is rockburst-hazardous, which requires geomechanical assessment of mining conditions. The investigation used the method of geodynamic zoning. The block structure and the behavior of rock mass blocks are determined, and the stress state of rock mass is modeled with identification of high concentration areas of tectonic stresses. Three jointing systems are distinguished. The implemented prediction says that roadways driven along the strike of longitudinal and diagonal cracks, or cutting the cracks at skew angles are the least stable, especially in the high concentration zones of stresses. The research results are usable in project designing and in development of recommendations on safe deep-level mining.

Key words: Charmitan Mine, rockburst hazard, geodynamic zoning method, rock mass, stress state, jointing, safety, mining.

Введение

Вопросы обеспечения геомеханической и геоэкологической безопасности при горных работах имеют большое значение для устойчивого развития горно-промышленных районов [1 – 6]. Одной из важных и длительно существующих является проблема горных ударов [7 – 8]. В работах российских ученых было выделено два основных фактора, влияющих на опасность проявления горных ударов: склонность пород к накоплению упругой энергии и хрупкому разрушению, а также достаточно высокие напряжения в массиве пород [9]. На золоторудных месторождениях Узбекистана, отрабатываемых подземным способом, имеются породы и руды, склонные к аккумуляции упругой энергии и хрупкому разрушению [10]. Если методы определения физико-механических свойств горных пород в настоящее время достаточно хорошо разработаны [11], то изучение и оценка напряженного состояния массива месторождения представляет собой сложную геомеханическую задачу.

В начале 1960-х факт превышения горизонтальных напряжений над вертикальными был установлен на месторождении Таштагол [12], а после — и на других месторождениях [1, 13]. Для изучения напряженно-деформированного состояния массива были разработаны геотехнические средства [14], подходы к использованию получаемых данных [15 – 19], выдвинуты гипотезы формирования полей напряжений в районе месторождений [20 – 21]. В настоящее время имеется положительный опыт использования для таких оценок компьютерного [22 – 26] и физического [27] мо-

делирования, однако для корректных расчетов требуется обоснованное задание граничных условий.

На золоторудных месторождениях со сложной геомеханической и геодинамической обстановкой главным принципом, способствующим безопасному ведению горных работ, является достижение такого порядка отработки, при котором в массиве горных пород в максимальной степени исключаются чрезмерные концентрации напряжений на отдельных участках и снижается возможность динамического проявления горного давления в местах интенсивного ведения горных работ. В связи с этим для прогноза удароопасности в условиях больших глубин отработки месторождения Чармитан актуальной является задача оценки напряженного состояния горного массива. Анализ исходных данных о состоянии недр в условиях подземной разработки золоторудных месторождений, полученных на базе геолого-маркшейдерских съемок, не позволяет обоснованно раскрыть механизм формирования поля напряжений в массиве горных пород. Одним из методов оценки напряженного состояния массива и выявления геодинамически опасных зон является метод геодинамического районирования, позволяющий на основе принципа «от общего к частному» получить целостное представление о естественном напряженном состоянии массива [20].

Основными этапами геодинамического районирования района месторождения являются:

- выявление блочной структуры земной коры района месторождения;

- оценка и определение активности взаимодействия блоков с выделением зон проявления тектонических напряжений;
- определение граничных условий для системы выделенных блоков и выполнение компьютерного или физического моделирования для оценки напряженного состояния массива;
- классификация участков месторождения по геодинамической опасности.

В данной статье представлены результаты исследований по оценке геомеханических условий разработки золоторудного месторождения Чармитан с учетом данных геодинамического районирования.

Методы

Выделение активных тектонических блоков земной коры методом геодинамического районирования основано на морфоструктурном анализе рельефа земной поверхности [20]. Устанавливают минимальную разницу высот, достаточную для отнесения двух соседних участков к разным блокам. В каждом конкретном районе с учетом контрастности рельефа и масштаба карты за минимальную разницу высот h_0 можно принять $0,1(H_{\max} - H_{\min})$, где H_{\max} и H_{\min} — соответственно максимальная и минимальная абсолютная высота рельефа.

Выявление блочной структуры при переходе на более крупные масштабы затруднено из-за малочисленности поверхностей выравнивания. Поэтому для выявления подвижной микроблочной структуры внутри блоков IV ранга рекомендуется использовать известные геоморфологические и морфометрические методы. Границы блоков IV ранга переносят на более крупные масштабы 1:10 000, 1:5000 и 1:2000. Точность топографической съемки указанных масштабов должна быть такой, чтобы на топографическом плане были отображены все микроформы рельефа.

После установления границ блоков и построения блоково-структурной карты исследуемого месторождения необходимо определить динамику взаимодействия тектонических блоков, для чего используют картографические и полевые методы. Например, результаты тектонофизического анализа могут служить основой определения динамического взаимодействия блоков.

На основе изучения взаимодействия блоков производят оценку условий их нагружения с учетом соотношения сил растяжения, сжатия и сдвига [20]. Прогнозные карты напряженного состояния массива горных пород вблизи выработок составляются на основе компьютерного или физического моделирования с учетом блочной структуры массива и условий нагружения блоков, что позволяет перейти к практическим оценкам и рекомендациям.

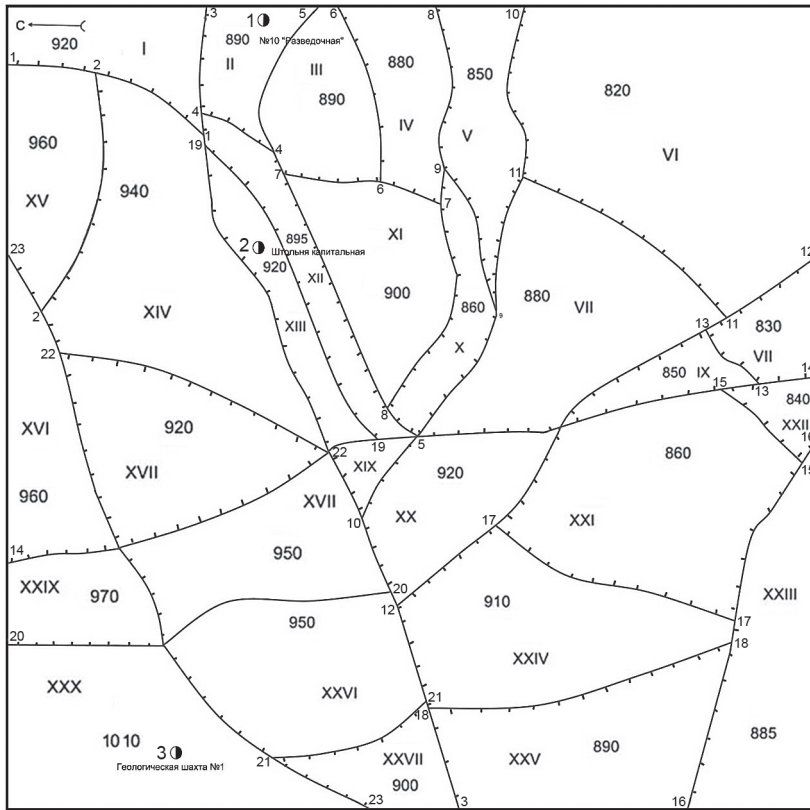
В большинстве случаев трещиноватость способствует развитию опасных явлений, таких как сдвигание пород, горные удары, обвалы, обрушения.

При исследовании трещиноватости массива основное внимание уделяется следующим задачам [28]:

- установление главных направлений развития трещин по их пространственным ориентировкам;
- выделение региональных и локальных трещин по их генетическим типам;
- оценка интенсивности трещиноватости пород и выделение участков, различающихся по степени интенсивности трещиноватости;
- оценка влияния трещин и систем трещин на прочность, деформируемость и водопроницаемость пород, а также на устойчивость места проектируемых сооружений.

Результаты

На рис. 1 представлена блочная структура месторождения Чармитан, установленная с использованием топогра-



1● – № 10 Разведочная; 2● – штольня капитальная; 3● – геологическая шахта № 1

Рис. 1. Карта блоков территории рудника Чармитан
Fig. 1. Rock mass block map of Charmitan Mine

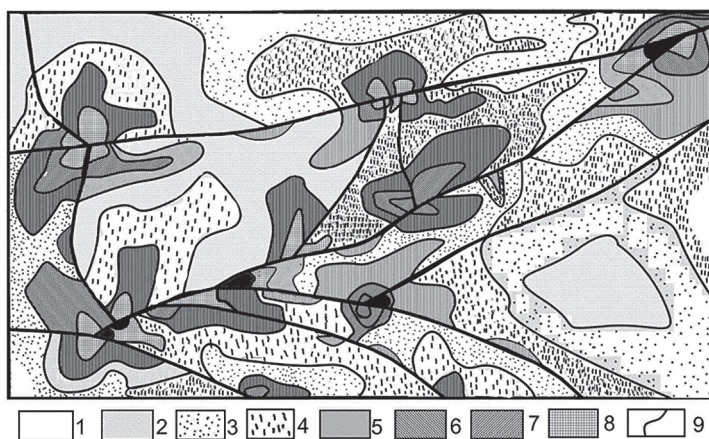
фической карты масштаба 1:5000. Максимальная отметка H_{\max} исследованной площади составила 1100 м, минимальная H_{\min} – 820 м. Учитываемая амплитуда смещения блоков по их границам составила примерно $A = 0,1 (H_{\max} - H_{\min}) \approx 30$ м. Дешифрирующими признаками границ структурных геодинамических блоков служили такие фрагменты рельефа, как конфигурация горизонталей, положение русел рек и ручьев. На участке месторождения по результатам геодинамического районирования выявлены 23 границы блоков, совпадающие с тектоническими разломами, и еще 30 других границ блоков [22].

Выполнен анализ распределения блоков по длине и ориентировке. Длина

блоков изменяется в диапазоне 0,6 – 1,0 км и 1,6 – 2,0 км. По ориентировке преобладают блоки с северо-восточным расположением их длинных осей, также блоки различаются по высоте, конфигурации и площади. Наиболее часто встречаются высоты блоков 870 – 920 м, максимальные достигают 970 – 1020 м.

На рис. 2 приведены результаты моделирования распределения тектонических напряжений в структурах Чармитанского рудного поля.

Анализом обрушений горных выработок на Чармитанском месторождении установлено, что около 80% от общего их числа вызвано интенсивно развитой трещиноватостью горных пород. По данным элементов залеганий тектонических



1 – нейтральные зоны; 2, 3 – поля слабых напряжений; 4, 5 – поля умеренных напряжений; 6, 7, 8 – поля сильных напряжений; 9 – линии разрывных нарушений

Рис. 2. Карта распределения тектонических напряжений в структурах Чармитанского рудного поля: величина максимальных касательных напряжений (в порядке увеличения значений τ_{max} $1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7 < 8$)

Fig. 2. Tectonic stress map of Charmitan Mine field: Maximum shear stresses (in increasing order of τ_{max} $1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7 < 8$)

трещин были построены диаграммы-розы для трех горизонтов горных выработок Чармитанского месторождения и получены сводные диаграммы-розы мелкоамплитудных разрывных нарушений (рис. 3).

Обсуждение результатов

Как показывают результаты геомеханических исследований, одним из основных факторов возникновения горных ударов является наличие локальных и региональных тектонически напряженных зон, в которых горизонтальные тектонические напряжения превышают вертикальные в нескольких раз [19, 22]. Известно, что на месторождениях с высоким гипсометрическим уровнем горное давление обусловлено в основном весом вышележащих пород. Однако в Узбекистане имеются удароопасные месторождения, расположенные в гористой местности. Для таких условий характерна заметная неравномерность распределения напряженного состояния отдельных участков массива под влиянием неотектонических процессов, которые

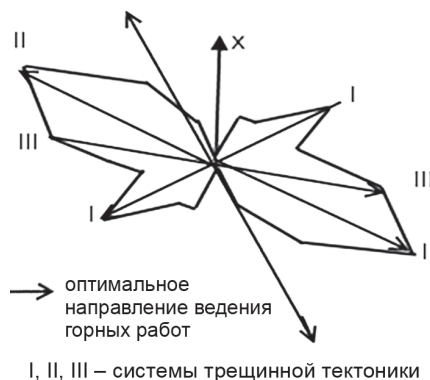


Рис. 3. Обобщенная диаграмма-роза разрывных нарушений горных пород по горизонтам горных работ

Fig. 3. Generalized rose diagram of rock fractures per mining levels

в свою очередь накладывают отпечаток на характер динамических проявлений горного давления.

Главной особенностью геодинамической позиции удароопасных месторождений Центральноазиатского региона является их приуроченность к тектонически активному району земной коры. В формировании структуры месторождений решающая роль принадлежит раз-

равной тектонике Караулхана-Чармитанской зоны разломов, которые являются рудоконтролирующими структурами, а разрывы запад-северо-западной ориентировки — рудовмещающими. Широко развиты также разрывы в форме «конского хвоста» — веерообразно расходящиеся тектонические швы с крутыми углами (80–90°) на северо-запад и северо-восток, которыми площадь месторождения разделена на отдельные блоки.

Мы полагаем, что увеличение напряжений вдоль центрального разлома до $\tau_{\max} = 12,0–20$ МПа связано с сопряжениями его с северо-восточными структурами, а на западе — с оперяющим разломом (см. рис. 2). Зоны высокой концентрации напряжений оконтуривают поля более слабых тектонических напряжений.

На основе анализа результатов эксперимента по Чармитанской рудной площади можно отметить, что формирование и распределение тектонических напряжений в условиях регионального горизонтального сжатия в рудном поле зависит, во-первых, от позиции изучаемого объекта в региональных структурах; во-вторых, от блокового строения рудного поля; в третьих, от морфологии каждого блока и его тектонической позиции в структуре рудного поля; в четвертых, от пространственной ориентации разрывных структур рудного поля, являющихся граничными элементами его блоков.

По результатам моделирования, зоны концентрации тектонических напряжений занимают более 20% площади и наблюдаются в местах пересечения разломов. Наиболее высокие напряжения возникают вдоль северо-западной граничной структуры блоков в виде полукруга. На рис. 2 видно, что локальные зоны сжатия и растяжения чередуются и создают мозаичную картину распределения напряжений. В целом в цент-

ральной части большинства блоков поле напряжений более однородно, в то же время в зонах влияния разломов оно намного сложнее. Здесь отмечается более высокий уровень касательных напряжений. Полученная карта распределения тектонических напряжений в структурах Чармитанского рудного поля позволяет сделать вывод, что формирование природно-тектонических полей напряжений в массивах горных пород рассматриваемых месторождений происходит под влиянием природных сил.

Детальный анализ результатов моделирования тектонических напряжений в структурах Чармитанского рудного поля показал следующее:

- отмечается значительная концентрация тектонических напряжений в 5, 9, 10 блоках, где вариация достигает от 0 до 22 МПа (нумерация блоков согласно рис. 1);
 - центральная часть площади отдельных блоков (1, 3, 7 и 8) остается относительно тектонически ослабленной;
 - участки сопряжений и пересечений разломов являются зонами концентрации тектонических напряжений. Зоны разгрузки в виде удлинённых линз обычно отмечаются вдоль разломов, а также во внутренних частях блоков;
 - оси почти всех линзообразных зон разгрузки ориентированы на северо-запад под некоторым углом к направлению горизонтального смещения по разломам, вдоль которых они образовались;
 - образование тектонически ослабленных зон между крупными разрывными структурами можно связывать только со сдвиговыми смещениями по этим разломам в процессе тектонического сжатия.
- Так как участки с высокой концентрацией касательных напряжений в массиве создают условия для образования потенциально удароопасных зон, заблаговременное выявление наиболее напряженных участков горного массива поз-

воляет принять соответствующие меры для их контроля и управления геомеханическими процессами.

Как известно, структурные особенности массива горных пород являются одними из основных факторов, влияющих на устойчивость горных выработок, и главным показателем структурных особенностей массива является трещиноватость горных пород.

По результатам анализа диаграмм трещиноватости выявлены направления основных систем трещин, образовавшихся на этих участках. Сопоставление систем трещин по различным участкам показало, что их пространственная ориентировка варьирует в незначительных пределах, что позволяет выделить основные системы трещин для Чармитанского месторождения. На месторождении преобладают продольные и диагональные трещины. С точки зрения устойчивости наиболее опасными будут выработки, пройденные по таким или по пересекающим их под косым углом трещинам [28]. Наиболее часто встречаются трещины с углами падения от 21° до 40° и от 61° до 80° . Более опасными являются трещины с углами падения от 61° до 80° , которые в случае подсечения их выработками могут стать поверхностями скольжения.

Выявлено, что на месторождении имеются три типа участков по степени трещиноватости с модулем трещиноватости соответственно 1,5; 2,6 и 5 тр/п.м. Пространственное размещение коэффициента структурного ослабления тесно связано с геометрией размещений трещиноватости и напряженно-деформи-

рованного состояния горного массива. Выделение элементарного структурного блока породного массива показало необходимость учета этого фактора при оценке устойчивости горных выработок.

В целом следует отметить, что влияние трещиноватости на устойчивость выработок рудника Чармитан заключается в том, что такие явления, как отслоения, вывалы и т.д., происходят по наиболее развитым системам трещин. Также более опасными, с точки зрения устойчивости, будут выработки, пройденные по продольным и диагональным трещинам или пересекающие их под косым углом.

Заключение

На основе подхода, используемого в методе геодинамического районирования, включающего выделение тектонически активных блоков горного массива, оценку их взаимодействия, определение граничных условий и компьютерное моделирование, для месторождения Чармитан выделены участки с высокой концентрацией тектонических напряжений, что необходимо учитывать при планировании развития горных работ в условиях удароопасности. Для месторождения установлены три системы трещиноватости, влияющие на устойчивость горных выработок. Согласно сделанному прогнозу, выработки, пройденные в направлении простираения продольных и диагональных трещин или пересекающие их под косым углом, будут наименее устойчивыми, особенно в зонах высокой концентрации напряжений. Результаты работы могут быть использованы в проектных решениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рассказов И. Ю.* Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. — М.: Изд-во «Горная книга», 2008. — 317 с.
2. *Куликова А. А., Овчинникова Т. И.* К вопросу снижения геоэкологических рисков на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 251–262. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

3. Баловцев С. В., Скопинцева О. В., Коликов К. С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

4. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Мухина А. С., Мосейкин В. В. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы восстановления нарушенных земель при отвалобразовании на открытой угольной добыче в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5. — С. 5–24. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

5. Kulikova E. Yu., Ivannikov A. L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining // Journal of Physics: Conference Series. 2019, vol. 1425, no. 1, article 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012062.

6. Adams R. A review of mine water rebound predictions from the VSS-NET model // Mine Water and the Environment. 2014, vol. 33, no. 4, pp. 384–388.

7. Kozyrev A., Fedotova Iu., Kasparyan E. Management of geomechanical processes — the basis for selecting the optimal technologies for the development of mineral deposits // E3S Web of Conferences. 2018, vol. 56, no. 68, article 02005. DOI: 10.1051/e3sconf/20185602005.

8. Manchao He, Tai Cheng, Yafei Qiao, Hongru Li A review of rockburst: Experiments, theories, and simulations // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2022. DOI: 10.1016/j.jrmge.2022.07.014.

9. Петухов И. М. Горные удары на угольных шахтах. — СПб., 2004. — 237 с.

10. Sayyidkosimov S. S., Kazakov A. N. Forecast of probability of shock hazard in conditions of underground development of Zarmitan gold deposit zones / Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. CRC Press, 2018, pp. 499–504.

11. Fedotova Iu. V., Kuznetsov N. N., Pak A. K. Specific strain energy assessment of hard rocks under different loading modes // Procedia Engineering. 2017, vol. 191, pp. 317–323. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.187.

12. Батугин С. А. Шаманская А. Г. Исследование напряженного состояния массива горных пород методом разгрузки в условиях Таштагольского железорудного месторождения // ФТПРПИ. — 1965. — № 2. — С. 28–33.

13. Влох Н. Н. Управление горным давлением на подземных рудниках. — М.: Недра, 1994. — 208 с.

14. Шкуратник В. Л. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. — М.: МГГУ, 2012. — 111 с.

15. Сайидкосимов С. С. Горно-геометрические основы маркшейдерского мониторинга геомеханических процессов, происходящих в массиве горных пород при подземной разработке полиметаллических месторождений: Автореф. дис.... докт. техн. наук. — Т.: ТашГТУ, 2020. — 42 с.

16. Эфендиева З. Дж. Увеличение надежности и долговечности горных выработок путем регулирования напряженного состояния горных пород / Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. — С. 90–92.

17. Зубков А. В., Сентябрьев С. В. Выбор методов управления горным давлением на Гайском подземном руднике // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5-2. — С. 64–79. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_64.

18. Avetisian I. M., Dmitriev S. V. Development of a geomechanical model for the effective rock mass state management during underground mining of the Oleniy Ruchey deposit // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. 2019, pp. 133–140. DOI: 10.1201/9781003014577-17.

19. Раимжанов Б. Р., Хасанов А. Р., Фарманов О. Э. Исследование геодинамического 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.

20. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и строительстве рудников. — М.: Недра, 1988. — 165 с.

21. Сашурин А. Д. Современные геодинамические движения и их роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород / Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. — 296 с.

22. Markov A., Kazakov A., Haqberdiyev M., Muhitdinov Sh., Rahimova M. On the calculation of tectonic stresses in the earth's crust of South Western Uzbekistan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 937, no. 4, article 042087. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042087.

23. Мазина И. Э., Стельмахов А. А., Муллагалиева Л. Ф. Моделирование напряженно-деформированного состояния очистного забоя с технологией управления кровлей полным обрушением и закладкой выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 99–106. DOI: 10.25018/02361493-2020-61-0-99-106.

24. Kozyrev A. A., Semenova I. E., Zemtsovskii A. V. Geomechanical evaluation of the parameters of the open-stopping method for the Oleniy Ruchey deposit / Geomechanics and geodynamics of rock masses, vol. 2. CRC Press, 2018, pp. 1031–1036.

25. Tianwei Lan, Chaojun Fan, Hongwei Zhang, Batugin A. S., Luo Ruibin, Yu Yang, Ce Jia Seepage law of injected water in the coal seam to prevent rock burst based on coal and rock system energy // Advances in Civil Engineering. 2018, vol. 2018, article 8687108, DOI: 10.1155/2018/8687108.

26. Kobylkin S. S., Pugach A. S. Rock burst forecasting technique and selecting a safe coal face advance direction // Mining Science and Technology. 2022, vol. 7, no. 2, pp. 126–136. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-2-126-136.

27. Рахимов В. Р., Турапов М. К., Казаков А. Н. Прогнозирование удароопасности месторождений методом моделирования // Горный вестник Узбекистана. — 2014. — № 3. — С. 60–66.

28. Тагильцев С. Н. Оценка геомеханических характеристик на основе изучения трещинной и фильтрационной стратификации скальных массивов / Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. — С. 172–178. **MIAB**

REFERENCES

1. Rasskazov I. Yu. *Kontrol' i upravlenie gornym davleniem na rudnikakh Dal'nevostochnogo regiona* [Control and management of rock pressure in the mines of the Far East region], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2008, 317 p.

2. Kulikova A. A., Ovchinnikova T. I. On the issue of reducing geocological risks at mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 251–262. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

3. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kolikov K. S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 85–94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

4. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Mukhina A. S., Moseykin V. V. Geological, geotechnical and geocological problems of reclamation of land disturbed by dumping in open pit coal mining in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5, pp. 5–24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

5. Kulikova E. Yu., Ivannikov A. L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining. *Journal of Physics: Conference Series.* 2019, vol. 1425, no. 1, article 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012062.

6. Adams R. A review of mine water rebound predictions from the VSS-NET model. *Mine Water and the Environment.* 2014, vol. 33, no. 4, pp. 384–388.

7. Kozyrev A., Fedotova Iu., Kasparyan E. Management of geomechanical processes — the basis for selecting the optimal technologies for the development of mineral deposits. *E3S Web of Conferences*. 2018, vol. 56, no. 68, article 02005. DOI: 10.1051/e3sconf/20185602005.

8. Manchao He, Tai Cheng, Yafei Qiao, Hongru Li A review of rockburst: Experiments, theories, and simulations. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2022. DOI: 10.1016/j.jrmge.2022.07.014.

9. Petukhov I. M. *Gornye udary na ugol'nykh shakhtakh* [Rock burst in mines], Saint-Petersburg Горные удары на угольных шахтах. СПб., 2004, 237 p.

10. Sayyidkosimov S. S., Kazakov A. N. Forecast of probability of shock hazard in conditions of underground development of Zarmitan gold deposit zones. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses*. CRC Press, 2018, pp. 499 — 504.

11. Fedotova Iu. V., Kuznetsov N. N., Pak A. K. Specific strain energy assessment of hard rocks under different loading modes. *Procedia Engineering*. 2017, vol. 191, pp. 317 — 323. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.187.

12. Batugin S. A., Shamanskaya A. T. Investigations of the stressed state of a rock mass by the stress-relieving method under conditions of the Tashtagol iron-ore deposit. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 1965, no. 2, pp. 28 — 33. [In Russ].

13. Vlokh N. N. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* [Management of rock pressure in underground mines], Moscow, Nedra, 1994, 208 p.

14. Shkuratnik V. L. *Metody opredeleniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornykh porod* [Methods for determining the stress-strain state of a rock mass], Moscow, MGGU, 2012, 111 p.

15. Sayyidkosimov S. S. *Gorno-geometricheskie osnovy marksheyderskogo monitoringa geomekhanicheskikh protsessov, proiskhodyashchikh v massive gornykh porod pri podzemnoy razrabotke polimetallicheskikh mestorozhdeniy* [Mining and geometric foundations of mine surveying monitoring of geomechanical processes occurring in a rock mass during underground mining of polymetallic deposits], Doctor's thesis, Tashkent, TashGTU, 2020, 42 p.

16. Efendieva Z. J. Increasing the reliability and durability of mine workings by regulating the stress state of rocks. *Geomekhanika v gornom dele. Doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Geomechanics in Mining. Reports of the All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2014, pp. 90 — 92. [In Russ].

17. Zubkov A. V., Sentyabov S. V. Choice of rock pressure control methods at the Gaisky underground mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-2, pp. 64 — 79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_64.

18. Avetisian I. M., Dmitriev S. V. Development of a geomechanical model for the effective rock mass state management during underground mining of the Oleniy Ruchey deposit. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources*. 2019, pp. 133 — 140. DOI: 10.1201/9781003014577-17.

19. 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, no. 10, pp. 29 — 41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_29.

20. Batugina I. M., Petukhov I. M. *Geodinamicheskoe rayonirovanie mestorozhdeniy pri proektirovanii i stroitel'stve rudnikov* [Geodynamic zoning of mineral deposits for planning and exploitation of mines], Moscow, Nedra, 1988, 165 p.

21. Sashurin A. D. Modern geodynamic movements and their role in the formation of the stress-strain state of a rock mass. *Geomekhanika v gornom dele. Doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Geomechanics in Mining. Reports of the All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2014, 296 p.

22. Markov A., Kazakov A., Haqberdiyev M., Muhitdinov Sh., Rahimova M. On the calculation of tectonic stresses in the earth's crust of South Western Uzbekistan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 937, no. 4, article 042087. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042087.

23. Mazina I. E., Stelmakhov A. A., Mullagalieva L. F. Simulation of the stress-strain state of a stope with the technology of controlling the roof with complete caving and backfilling of the mined-out space. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 99–106. [In Russ]. DOI: 10.25018/02361493-2020-61-0-99-106.

24. Kozyrev A. A., Semenova I. E., Zemtsovskii A. V. Geomechanical evaluation of the parameters of the open-stopping method for the Oleniy Ruchey deposit. *Geomechanics and geodynamics of rock masses*, vol. 2. CRC Press, 2018, pp. 1031–1036.

25. Tianwei Lan, Chaojun Fan, Hongwei Zhang, Batugin A. S., Luo Ruibin, Yu Yang, Ce Jia Seepage law of injected water in the coal seam to prevent rock burst based on coal and rock system energy. *Advances in Civil Engineering*. 2018, vol. 2018, article 8687108, DOI: 10.1155/2018/8687108.

26. Kobylkin S. S., Pugach A. S. Rock burst forecasting technique and selecting a safe coal face advance direction. *Mining Science and Technology*. 2022, vol. 7, no. 2, pp. 126–136. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-2-126-136.

27. Rakhimov V. R., Turapov M. K., Kazakov A. N. Forecasting rock burst hazard of deposits by modeling. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2014, no. 3, pp. 60–66. [In Russ].

28. Tagiltsev S. N. Assessment of geomechanical characteristics based on the study of fracture and filtration stratification of rock masses. *Geomekhanika v gornom dele. Doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Geomechanics in Mining. Reports of the All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2014, pp. 172–178. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Саййидкосимов Саййиджаббар Саййидкасымович¹ – д-р техн. наук DSc, профессор, e-mail: SAYYIDJABBAR@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5954-2790,

Казакон Азиз Нигманович¹ – PhD, зав. кафедрой, e-mail: Azlik19@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9862-6594,

Хакбердиев Музаффар Рустамкулович¹ – научный сотрудник, e-mail: zafarzafar2066@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8386-4036,

Рахимова Мухлиса Хасановна¹ – старший преподаватель, e-mail: muxlisa.xasanovna@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1539-4191,

¹ Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан.

Для контактов: Рахимова М.Х., e-mail: muxlisa.xasanovna@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.S. Sajjidkosimov¹, Dr. Sci. (Eng.) DSc, Professor,

e-mail: SAYYIDJABBAR@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-5954-2790,

A.N. Kazakov¹, PhD, Head of Chair, e-mail: Azlik19@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0001-9862-6594,

M.R. Hakberdiev¹, Researcher, e-mail: zafarzafar2066@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-8386-4036,

M.H. Rahimova¹, Senior Lecturer,

e-mail: muxlisa.xasanovna@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-1539-4191,

¹ Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, Uzbekistan.

Corresponding author: M.H. Rahimova, e-mail: muxlisa.xasanovna@gmail.com.

Получена редакцией 09.03.2022; получена после рецензии 16.01.2023; принята к печати 10.02.2023.

Received by the editors 09.03.2022; received after the review 16.01.2023; accepted for printing 10.02.2023.