

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОМЕХЕНИКИ

3D SIMULATION IN SOLVING THE PROBLEMS OF GEOMECHANICS

*A. Baibatsha,**doctor of geological-mineralogical sciences,
professor;**T. Shaiyakhmet,**PhD student;**D. Muratkhanov,**PhD student;**D. Shikhov,**PhD student,**KazNRTU named after K.I. Satpaev,
The Republic of Kazakhstan.*

To solve the problem of geomechanics associated with the assessment of the stability of underground mine workings, work was carried out to quantify the engineering-geological conditions (EGC) of thin-vein gold deposits using three-dimensional modeling on a platform of modern computer technologies. The studies used the results of theoretical and methodological work in the field of engineering geology, as well as the results of a comprehensive survey of the rock mass state during exploration and operation on the example of the Beskempir gold deposit.

Keywords: engineering-geological conditions, three-dimensional simulation, database, gold deposit, rock mass, stability of mine workings.

Успех рациональной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых требует современного комплексного подхода к решению этого вопроса. В связи с этим важную роль играют безопасность, рациональность и эффективность отработки рудных тел в недрах, что определяется степенью изученности и оценки инженерно-геологических условий месторождений. Это в свою очередь имеет большое значение для оценки устойчивости выработанного пространства подземных горных выработок горнодобывающего предприятия. Это позволит максимально увеличить объемы добычи руды и уменьшить разубоживание горной массы.

Полнота и самодостаточность изучения и прогноза инженерно-геологических условий (далее — ИГУ) месторождений полезных ископаемых достигается при синхронизации этих исследований с геологоразведочными работами на этапах разведки и эксплуатации месторождения. Полученные данные будут использованы при строительстве и эксплуатации горнодобывающего производства, его подземных горных выработок.

Инженерно-геологические исследования проводились на тонкожилном золоторудном месторождении Бескемпир. Подбор основных методов обучения и методов исследования, сочетание которых позволит осуществить рациональный комплекс полевых, лабораторных и камеральных иссле-

*А.Б. Байбатша,**доктор геолого-минералогических наук,
профессор;**Т.К. Шайяхмет,**докторант;**Д.Б. Муратханов,**докторант;**Д.Э. Шихов,**докторант,**КазННТУ им. К.И. Сатпаева,**Республика Казахстан.*

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, трехмерное моделирование, база данных, золоторудное месторождение, горный массив, устойчивость горных выработок.

дований ИГУ. Они продиктованы необходимостью решения следующих задач: 1) изучение ИГУ на основе специальных геологических исследований и целенаправленной обработки известной информации геологической базы данных; 2) оценка прогнозных параметров ИГУ и процессов при эксплуатации месторождений. Достижение поставленной цели будет основываться на 3D моделировании геологической среды, с помощью которого будут последовательно решаться задачи оценки количественных параметров ИГУ месторождения.

Объективная оценка всех компонентов, составляющих ИГУ Бескемпирского золоторудного месторождения, позволяет сделать наиболее достоверный и объективный прогноз устойчивости горного массива. Основные составляющие ИГУ рудных тел и вмещающих пород обусловлены их петрографическим составом, наличием структурно-тектонических элементов, зон дробления с разной степенью нарушенности пород и развитием систем трещин, образующих зоны ослабления, и физико-механическими свойствами [1-3].

Месторождение Бескемпир локализовано в пределах Акбакайского рудного поля и представляет собой восточный фланг месторождения Акбакай, сдвинутый на 1800 м к востоку по пострудному разлому Бескемпир и выше Акбакайского на 300 м. Район месторождения сложен породами кызылжартаасского (ранне-среднедевонского) габбро-диоритового комплекса, представленного несколькими интрузивными фазами.

Рудные тела представлены жилами кварц-березитового или существенно березитового состава, залегающими в контактах даек диорит-порфиринов, реже в дайках и рудно-кварцевых, хлоритизированных дайках. Выделены разнообразные руды, контролирующие участки рокового выхода рудоконтролирующих даек. Контакты кварцевых жил с березитами и березитов с вмещающими гранодиоритами или дайками четкие и часто представлены тектоническими швами с зеркальным скольжением. Рудные тела с крутыми (70-80°) и пологими (40-55°) углами падения.

Почти все подземные горные работы выполнены без крепления горного массива. Лишь в редких случаях, в местах

локального увеличения мощности зоны дробления трещин, устойчивость пород была низкой. На таких участках требовалась сплошная подземная крепь отдельных интервалов горных выработок. Мелкие тектонические разломы не оказывают существенного отрицательного влияния на устойчивость горных пород [4-6].

Коэффициенты прочности массива горных пород месторождения по проф. М.М. Протодяконову составляют: для кварцевых руд — 16-18; березиты — 11-14; лампрофировые дайки — 11-12; гранодиориты — 14-16; терригенные породы — 11-12. Наиболее слабыми являются участки сопряжения кварцевых жил, а также их контакты с рудоконтролирующими дайками. Руды не склонны к слеживанию, размоканию, вспучиванию, самовозгоранию.

В условиях месторождения Бескемпир изучение трещиноватости массива как в рудных телах, так и во вмещающих породах подземных выработок проводилось визуальным осмотром и с использованием специальных инструментов (рулетка, буссоль, специальная лазерная аппаратура и др.). Кроме того, такие работы проводились на кернах инженерно-геологических и эксплуатационных разведочных скважин. В целом массив пород умеренно трещиноватый, местами имеются зонки дробления, сложенные породами с жесткими структурными связями, относящимися к классу очень прочных и крепких пород. Режим пространственной изменчивости свойств массива можно отнести к устойчивым как по простиранию, так и по падению. Тектонические структуры контролируют степень фрагментации массива и интенсивность трещиноватости, а также развитие систем трещиноватости в горном массиве. Основными аспектами, определяющими формирование трещиноватости и развитие их интенсивности, а также ориентировку трещиноватости в массиве горных пород в пределах всего месторождения, являются рудообразующие процессы и тектонические нарушения, развитые практически поперек простирания рудных тел. Об этом свидетельствует наличие трех основных систем трещин по падению и простиранию рудных тел и поперек их простирания. На участках прерывистых разломов трещины развиты интенсивнее.

Трещины, разбивающие массив пород, большей частью косые, сколы зеркалами и шлифовками. Система трещиноватости приводит к анизотропии свойств массива и блочной структуры, например трещины разной ориентации в массиве горных пород, пересекаясь, взаимно складываются в разные отдельные формы (прямоугольные, призматические, черепичные и др.) и размеры. Наиболее крупные трещинные пустоты приурочены к областям развития тектонически нарушенных пород. Наличие ослабленных зон является результатом разгрузки горных массивов. Отмечено снижение средних значений прочности пород в ослабленных зонах и зонах повышенной трещиноватости [7-9].

База данных — фундаментальная основа 3D моделирования при оценке инженерно-геологических условий месторождений (необходимые исходные данные для формирования базы данных). База данных инженерно-геологических условий должна постоянно обновляться при ведении горных работ. Формирование баз данных осуществляется по результатам поисково-разведочных и оперативно-разведочных работ со сбором данных. Эти данные отражают реальное состояние массива горных пород в соответствии с конкретными

системами. При документировании керна скважин вышеперечисленные типы баз данных создаются в одном поле пространственных координат и их обязательные таблицы (файл координат и файл инклинометрии) должны быть одинаковыми.

Геологическая база данных необходима для построения трехмерной модели рудных тел и вмещающих пород в трехмерном пространстве. В этой базе данных есть дополнительные таблицы интервалов, такие как assay (файл данных образца) и lithology (файл данных литологии) [10-11].

База данных ИГУ предназначена для визуализации результатов документирования и исследований по геологическому изучению массива горных пород и их использования при интерполяции количественных параметров в блочную модель (оценка в трехмерной среде) с использованием современных компьютерных технологий. Этот тип базы данных составляется в двух формах: первая — для документации подземных горных выработок (geotech_drive), а другая — для документации образцов керна из скважины (geotech_drillhole). Для формирования файлов geotech_drive и geotech_drillhole необходимы данные о важных компонентах ИГУ, которые используются для интерполяции (оценки) по значению рейтинга Бертона с составлением литологического кода (ROCK).

Характеристика массива по рейтинговому индексу Бартона (Q): при Q меньше 1 значение «очень неустойчивое», 1-4 значения «нестабильное», 4-10 значения «средне-стабильный», 10-40 значений — «стабильный», 40-1000 значений — «очень стабильный».

После формирования базы данных в условиях месторождения Бескемпир, она была проверена на целостность, наличие систематических ошибок и т.д. в горно-геологической информационной системе «Микромайн». Далее все возможные ошибки устраняются с помощью программного обеспечения. В результате выполненной работы получим достоверную базу данных, которая, в свою очередь, использовалась при моделировании и интерполяции количественных параметров в трехмерном пространстве [12].

При трехмерном моделировании массива горных пород учитывались особенности геологического и структурного строения месторождения, его изученность и данные геологоразведочных работ. Затем в программе Micromine были использованы стандартные методы 3D-моделирования и методики оруденения руды в пределах месторождения. Порядок выполнения работы состоял из определенных этапов.

Для оценки ИГУ использовалось обратное взвешивание расстояния — метод интерполяции, так как этот метод наиболее подходит для месторождения Бескемпир. Имеется четкий структурный контроль оруденения, а разбивка на структурные домены осуществлялась только по геологическим критериям. Для этого, разумеется, используется метод взвешивания с обратным расстоянием. Отличие от других методов — здесь весовой коэффициент рассчитывается не только к ближайшему индикатору, но и ко всем соседним индикаторам. При этом весовой коэффициент обратно пропорционален возведенному в степень расстоянию от точки до соседнего индикатора. Естественно, ближайший индикатор будет иметь больший вес, также учитывается влияние других индикаторов.

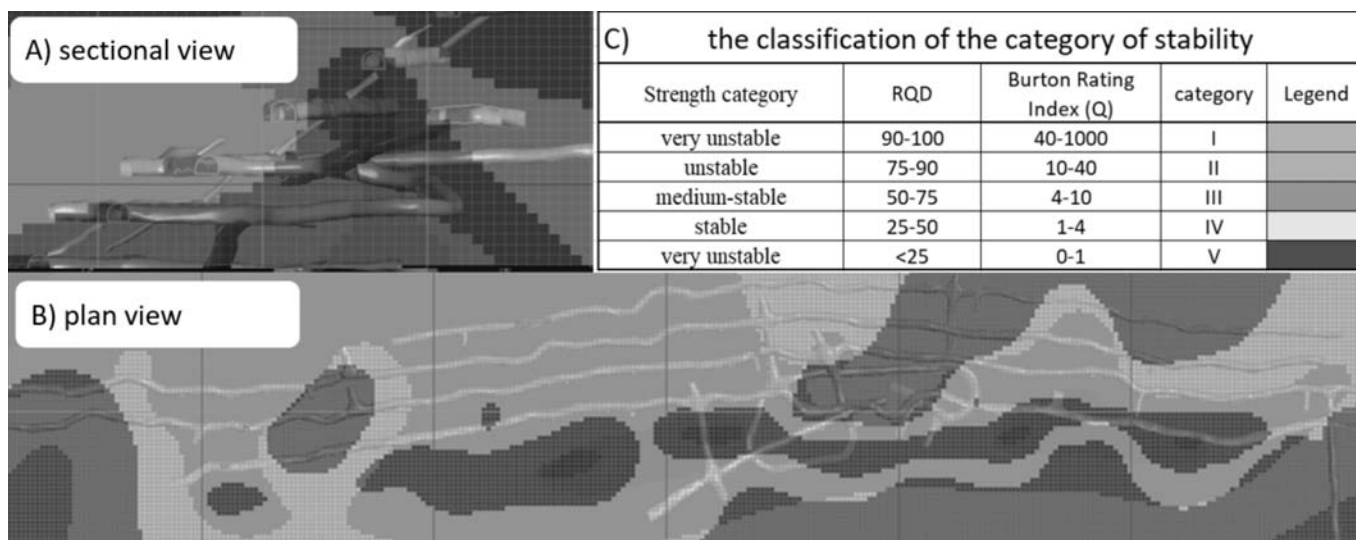


Рис. 1. Фрагмент блочной 3D-модели: А - разрез; В) вид сверху; С) классификация категории устойчивости по системе Бартон с определенными цветами.

В результате была получена экспериментальная блочная 3D-модель месторождения, наглядно отображающая ИГУ геологической среды в режиме реального времени в трехмерном пространстве (рис. 1).

Выводы. В горных выработках к инженерно-геологическим явлениям относятся: деформация пород в стенках и на дне шахтных стволов, вспучивание (выдувание, выдавливание) пород в грунте выработок, смещение и различного рода обрушения горных пород в кровле (продавливание, образование куполов, обрушение фальшкровли), выбросы горных пород и полезных ископаемых, продавливание и обрушение в зонах пониженной устойчивости и на границах смены классов устойчивости и др.

Для предотвращения возникновения опасных процессов необходимо использовать эффективные методы, обеспечивающие безопасное и рациональное ведение подземных горных работ. В целом прогнозирование развития инженерно-

геологических процессов при разработке месторождений в определенных геологических условиях при ограниченном объеме доступной информации представляет собой весьма сложную задачу из-за неоднозначности и многогранности взаимовлияющих факторов.

В настоящее время для решения вышеуказанных задач реализована оценка инженерно-геологических условий месторождения Бескемпир на основе 3D моделирования геологической среды. В ходе работы были собраны данные по реальным критериям, сформулированным по результатам комплексного анализа геологических, структурно-тектонических, инженерно-геологических особенностей месторождения. Трехмерная модель инженерно-геологических условий месторождения на руднике послужит ценным материалом на пути достижения максимально безопасной, рациональной и эффективной подземной добычи руд месторождения. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Байбатша А.Б. (2003) Инженерная геология месторождений полезных ископаемых с основами геоинформатики. Алматы: Научно-издательский центр «Гылым», 2003. - 320 с.
2. Капутин Ю.В. Э. (2002) Горные компьютерные технологии и геостатистика. М., ISBN 5-86093-097-6. - 424 с.
3. Коробейникова Т.Ф. (2018) Основы инженерной геологии. Кемерово. - 93 с.
4. Kvartsberg S. (2013) Review of the Use of Engineering Geological Information and Design Methods in Underground Rock Construction Gothenburg, Sweden. - 69 p.
5. Передельский Л.В., Приходченко О.Е. (2006) Инженерная геология. Ростов: Феникс ISBN 5-222-09505-3. - 448 с.
6. Байбатша А.Б. (2014) Модели месторождений благородных металлов. Алматы, ISBN 978-601-7367-58-9. - 452 с.
7. Bartlett D., Bilki F., Greenhill A. and et all. (2016) Introduction to Micromine. Australia, Pert: MICROMINE (Head office). - 320 p.
8. Боровиков А.А., Васильева Н.В., Лейко Д.М. (2018) Инженерная геология и гидрогеология. ISBN: 978-985-467-767-5. БГША, Горки. - 298 с.
9. Hakkinen T., Merjama S., Monkkinen H. (2014) Rock Mechanics Model (RMM). ONKALO, Finland. - 39 p.
10. Ворошилов В.Г. (2001) Математическое моделирование в геологии. Томск. - 109 с.
11. Baibatsha A.B., Muszy'ski A., Shaiyakhmet T.K., Shakirova G.S. (2020) 3D modeling for estimation of engineering-geological conditions of operating mineral deposits//News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 4 (442), <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.80>. ISSN: 2224-5278. - PP. 19-27.
12. Шайыхмет Т.К. (2020) Формирование базы данных при оценке инженерно-геологических условий месторождений в 3D среде//Вестник КазНУ. 2020, № 4. - С. 90-97.