

ИЗУЧЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АМАНТАЙТАУ И РАЗРАБОТКА ЕГО ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ



Рузиев Н.Б.,
зам. главного инженера
по горным работам НГМК



Садинов Ш.М.,
главный маркшейдер
НГМК



Мусаев Г.М.,
руководитель группы
по внедрению новых технологий
ИЦВНТ НГМК



Ильясов Б.Т.
зав. лаб. устойчивости бортов
карьеров Уральского филиала АО
«ВНИМИ», к.т.н.

Maqolada Amantaytau konlarini kompleks geomekanik tadqiq etishning amaliy tajribasi tasvirlangan. Bu ish mavjud ochiq chuquring yon bag'ridagi tosh sinishlarini o'rganish, quduqlarning ma'lumotlar bazasini yaratish va to'ldirish, qo'shimcha quduqlarni burg'ulash, namunalarni olish va jinslarning fizik-mexanik xususiyatlarini laboratoriya tadqiqotlaridan iborat edi. Laboratoriya sinovlari ma'lumotlari va sinish izlanishlarini fazoviy yo'naltirish amalga oshirildi.

Amalga oshirilgan ishlar asosida litologik, strukturaviy-geologik modellar va tog 'massasi modeli ishlab chiqilgan, massiv sinish orqali rayonlashtirildi.

Tayanch iboralar: tog 'jinslarining sinishi, geomekanik model, geomekanik tasnif, strukturaviy va geologik rayonlashtirish, chuqur devorlari barqarorligi.

В статье описан практический опыт проведения комплексного геомеханического изучения месторождения Амантайтау. Работы включали съёмку трещиноватости горных пород на откосах существующего карьера, создание и заполнение базы данных скважин, проведение дополнительного бурения скважин, отбор проб и проведение лабораторных исследований физико-механических свойств пород. Также была выполнена пространственная привязка данных лабораторных испытаний и изучения трещиноватости.

На основе проведенных работ разработаны литологическая, структурно-геологическая модели и модель породного массива, выполнено районирование массива по трещиноватости.

Ключевые слова: трещиноватость горных пород, геомеханическая модель, геомеханическая классификация, структурно-геологическое районирование, устойчивость бортов карьера.

Месторождение золота Амантайтау располагается в Тамдынском районе Навоийской области Республики Узбекистан, в 30 км к юго-востоку от г. Зарафшана. Месторождение состоит из двух участков: Северный и Центральный Амантайтау. На месторождении в настоящее время ведутся вскрышные работы для добычи запасов месторождения открытым способом. Площадь рудного поля сложена дислоцированными метаморфизованными песчано-сланцево-алевролитовыми образованиями бесапанской свиты ордовик-силурского возраста.

Рудные тела месторождения локализируются в секущих разломах субмеридионального и северо-западного простирания, образующих единую Амантайтаускую рудную зону. Протяженность ее более 3 км, мощность 800-1000 м, падение к северо-востоку под углами 55-90°С. Рудные тела изменчивой мощности (1-30 м) и протяженности (150-170 м). Руды перекрыты на севере чехлом мезокайнозойских отложений мощностью 60-150 м, на юге выходят на поверхность. Руды месторождения представляют собой раздробленные, окварцованные, карбонатизированные и сульфидизированные песчаники и алевролиты [1].

Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания выполнены в рамках детальной разведки месторождения в 1990-1994 гг. [1, 2]. В 2019-2020 гг. по решению технического руководства НГМК проведено дополнительное геомеханическое изучение месторождения и разработана геомеханическая модель месторождения с целью выполнения качественного обоснования устойчивости бортов карьера на месторождении Амантайтау.

На откосах пяти небольших карьеров, отработанных в предыдущие годы на месторождении, специалистами Уральского филиала ВНИМИ выполнена съёмка трещиноватости горных пород. Количество точек производства замеров составило 22 шт.

Замеры пространственной ориентации трещин, плоскостей сланцеватости и отдельности производились с использованием двух приборов: традиционного горного компаса ГК-2 и электронного трещиномера на базе лазерного

дальномера Leica. Помимо величин, характеризующих пространственную ориентацию трещин, в полевой журнал заносились следующие дополнительные сведения, учитываемые впоследствии при разработке геомеханической модели:

- разновидность пород, слагающих откос в точке измерений;
- ширина раскрытия и характер стенок (шероховатость, следы скольжения и т.п.);
- отсутствие или наличие заполнителя, его вид и консистенция;
- обводненность трещин;
- расстояние между трещинами одной системы (размер блоков).

В нескольких точках измерений было произведено опробование вскрытых в откосах горных пород для последующих лабораторных испытаний. Штуды скальных и глинистых пород отбирались непосредственно из откосов, при этом соблюдалась их пространственная ориентация по трещиноватости, что в дальнейшем позволило провести испытания по той плоскости образца, в которой он находился в естественном залегании. В общей сложности из откосов уступов на лабораторные испытания было отобрано 8 проб, состоящих из 25 образцов (либо пар образцов, как в случае с испытаниями на сдвиг по естественной трещине или контакту).

Основной формой представления результатов замеров стали круговые диаграммы трещиноватости, построение которых при занесении цифровой базы измерений в ГИС «ГЕОМИКС» происходит автоматически. На рис. 1 приведена для примера диаграмма трещиноватости, построенная по одной из точек съёмки.

В процессе сбора имеющихся материалов по геологическому строению месторождения и сведений, касающихся особенностей физико-механических свойств пород месторождения, выяснилось, что недостаточными изученными являются физико-механические параметры мезокайнозойских отложений, перекрывающих палеозойские рудовмещающие скальные породы. Учитывая, что в этих породах в обозримом будущем будут отстраиваться верхние уступы карьера Северного участка, установление их прочностных и иных физических и механических характеристик (а также их мощности и распространения в плане) совершенно необходимо.

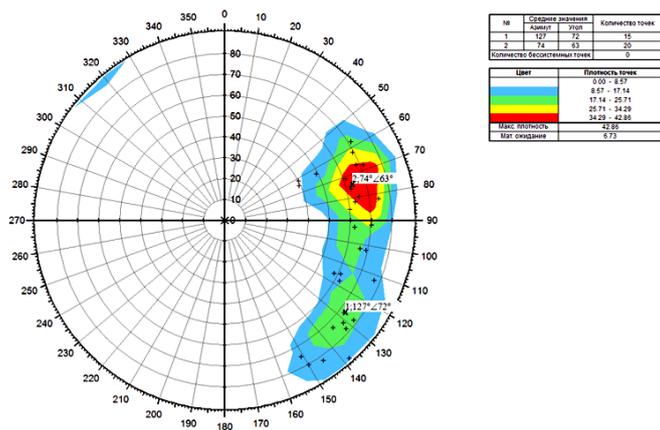


Рис.1. Диаграмма трещиноватости, построенная по одной из точек съёмки

Кроме того, практически неизученным оказался геологический разрез прибортовой полосы северного участка проектируемого карьера: все поисково-разведочные скважины, пройденные при детальной разведке месторождения [1, 2] были пробурены в центральной части проектируемого карьера.

По этой причине выполнено бурение 8 дополнительных геотехнических скважин глубиной до 140,0 м. Глубина скважин определялась достаточной глубиной вскрытия палеозойских скальных пород для отбора проб и установления параметров их трещиноватости (сланцеватости).

При описании керна в буровых журналах указывалось литологическое (петрографическое) наименование породы (грунта), измерялись и фиксировались углы наклона к оси скважин плоскостей естественных трещин и отдельных частей, измерялась средняя величина шероховатости поверхностей трещин, описывался характер заполнителя (при его наличии), определялась величина RQD. Для проведения лабораторных испытаний из пробуренных скважин было отобрано 46 проб, состоящих из 1-3 образцов (всего 69 образцов).

В лабораторных условиях проведены испытания по определению следующих физико-механических характеристик грунтов (горных пород): естественная влажность, плотность грунта, плотность сухого грунта, влажность на границе текучести, влажность на границе раскатывания, гранулометрический состав, коэффициент водонасыщения, число пластичности, сцепление и угол внутреннего трения грунтов, сцепление и угол внутреннего трения методом одноплоскостного среза в естественном и замоченном состояниях, предел прочности при сжатии, предел прочности при растяжении, предел прочности при срезе, угол естественного откоса.

Все точки съёмки трещиноватости и отбора проб внесены в геоинформационную модель месторождения в виде таблиц, содержащих изученные характеристики в привязке к пространственному положению.

Сведения о скважинах, пробуренных в рамках геомеханического доизучения месторождения, внесены в базу данных скважин, состоящую из таблиц с данными по интервалам скважин, инклинометрии и устьям скважин. Помимо вновь пробуренных скважин произведена оцифровка 550 буровых журналов и геологических колонок скважин, пробуренных в рамках детальной разведки месторождения [1, 2]. В таблицу интервалов помимо данных о породах внесены показатели трещиноватости: оценочная интенсивность трещиноватости, угол падения к оси скважины, доля осколочного материала в интервале, размер осколков, доля плашек в кернах, мощность плашек.

База данных скважин прошла процедуру верификации. Для верификации базы данных произведено сопоставление имеющихся данных между собой с целью исключения несоответствий.

На рис. 2 приведено графическое отображение базы данных скважин. Для построения литологической и структурно-геологической модели помимо создания базы данных осуществлена пространственная привязка геологических разрезов и планов. Это было необходимо, поскольку большой объём геологической информации при детальной разведке получен посредством проходки разведочных выработок подземного рудника. Перед привязкой растровых файлов были предварительно устранены деформации бумажного носителя.

Построение литологической каркасной модели произведено вручную с привязкой границ каркасов к границам интервалов в стволах скважин.

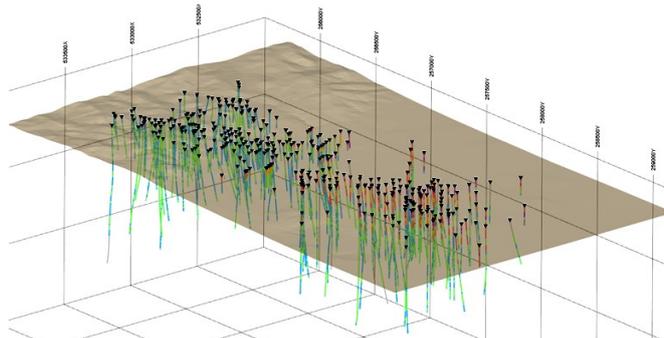


Рис.2. Трассирование скважин с окраской по породам

В процессе доизучения геологических особенностей месторождения специалистами УФ ВНИМИ выделены комплексы глин различного генезиса. Значимое различие физико-механических свойств глин подтверждено в дальнейшем лабораторными испытаниями. При документировании скважин в ходе детальной разведки [1, 2] различные виды глин не выделялись. В связи с этим разделение глин в литологической модели в отдалении от вновь пробуренных скважин выполнено по выявленному закономерностям морфологии.

На рис.3 представлена разработанная литологическая каркасная модель месторождения.

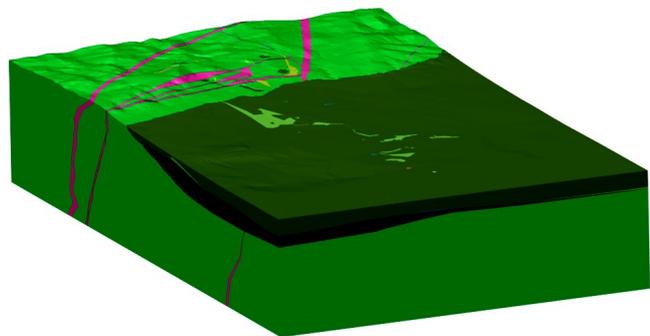


Рис.3. Блочная модель месторождения, окрашенная по породам

В структурно-геологической модели месторождения отстроены главные структурные элементы – многочисленные разломы, разбивающие скальный массив месторождения на отдельные блоки. При построении структурно-геологической модели были использованы графические материалы к отчету о детальной разведке [1] и данные о бурении в ноябре 2019 г. и прошлых лет. При построении структурных элементов учтены также описания пород по скважинам, спутниковые снимки и рельеф местности. Положение разломов уточнялось по базе данных скважин по доле обломочного материала в кернах и по резкому изменению угла падения сланцеватости (плашек) к оси керна. На рис. 4 приведена результирующая структурно-геологическая модель месторождения.

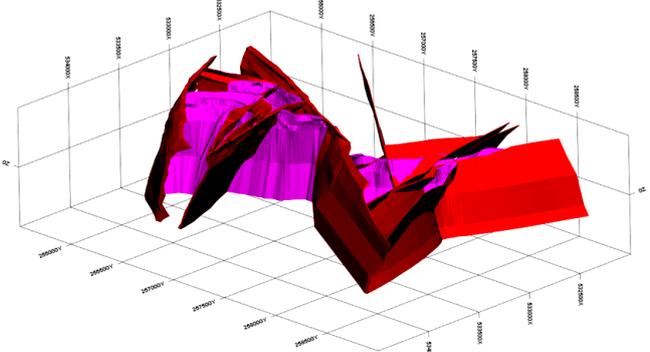


Рис.4. Структурно-геологическая модель месторождения

Кроме показателей трещиноватости, полученных в ходе съёмки трещиноватости, в геоинформационную модель занесены из буровых журналов сведения о соотношении и размерах обломочного материала и плашек по интервалам скважин, на основе которых выполнен расчёт величины RQD.

Объём имеющихся данных по RQD позволил выполнить анализ изменения данного показателя в массиве по 3 направлениям: среднее значение RQD по породам, изменение с глубиной, изменение в приразломных зонах. Анализ показал:

- среднее значение RQD в разломах, ненарушенной (условно) породе и катаклазитах, соответственно, составило 1,48, 7,42, 16,27;
- зависимость RQD от глубины отсутствует;
- на расстоянии 20 м и 50 м от разлома не отмечается уменьшения величины RQD.

Далее выполнен расчёт рейтинговых показателей массива в блочной модели.

Рейтинг RMR не применим для «плохих» и «очень плохих» пород с величиной RMR<30 и RQD близким к нулю [3]. Широко известно соотношение рейтингов GSI = RMR-5, которое используется для расчёта GSI, однако считается, что оно также неприменимо при величинах RMR менее 30 [4]. В связи с этим в модели рассчитывается только индекс GSI.

Индекс GSI рассчитан тремя различными способами.

Во-первых GSI вычислен двумя наиболее актуальными на сегодняшний день способами, рекомендуемыми Эвертом Хуком [5]:

$$GSI = 1.5 J_{Cond_{89}} + RQD/2, \quad (1)$$

где: $J_{Cond_{89}}$ – это рейтинг состояния трещин (Joint Condition rating) в формулировке З.Т.Бенявски 1989 г. [6];

$$GSI = \frac{52J_r/J_a}{1+J_r/J_a} + RQD/2, \quad (2)$$

где: J_r и J_a – это, соответственно, показатель шероховатости трещин и показатель измененности трещин по Бартону [7].

Определенные различными способами величины GSI (назвали их GSI1, GSI2, GSI3) для пород месторождения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рейтинги GSI пород месторождения Амантайтау			
Породы	GSI1	GSI2	GSI3
Ненарушенный массив	23	21	32
Разломы	16	11	20
Катаклазиты	23	18	25

Из табл. 1 можно увидеть, что определенные различными способами значения геологического индекса прочности GSI дают схожие, но не идентичные результаты. Данные значения занесены по породам в блочную модель месторождения.

Для учёта пространственных закономерностей трещин в геомеханической модели в международной практике [8] принято выделять структурные домены. Границами структурных доменов чаще всего являются тектонические нарушения, разломы и контакты различных типов пород.

Как уже было отмечено ранее, палеозойские породы месторождения Амантайтау в силу своего происхождения являются сланцеватыми, то есть абсолютно преобладает одна система трещиноватости, параметры пространственного расположения которой, однако, достаточно сильно варьируются в массиве.

Дополнительные измерения азимута и угла падения трещин получены в точках сильного сближения стволов отдельных пар скважин. Учитывая, что падение сланцеватости, в основном, восточное, угол и азимут падения в таких точках рассчитываются однозначно, если известны углы падения сланцеватости относительно оси скважины в интервалах обоих скважин. Определение истинных значений азимуты и углов падения таким способом произведено графически.

Все собранные в базе данных и привязанные в пространстве измерения углов и азимуты падения использованы для присвоения значений в блочную модель с применением геостатистики. Значения в блоках вычислены с использованием метода наименьших квадратов. При присвоении значений в структурном домене использованы только значения, измеренные внутри домена. Такой подход выбран вместо нахождения средних значений в доменах в связи с тем, что пространственные параметры сланцеватости могут достаточно сильно изменяться внутри домена. Аналогичным образом сланцеватость отображается и в геологических планах горизонтов 20±380 м в отчёте о детальной разведке месторождения [1].

На рис. 5 представлен в качестве примера план средней части карьера в проектом контуре с отображением соответствующих данному контуру показателей трещиноватости. План построен на базе блочной модели, содержащей азимуты и углы падения трещин.

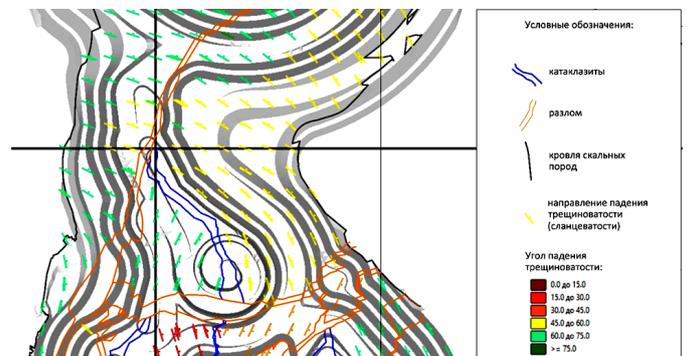


Рис.5. Пример районирования карьера по трещиноватости в проектом контуре

Комплексное изучение геомеханических условий месторождения Амантайтау позволило подробно отразить в геомеханической модели особенности месторождения и произвести детальное районирование пород месторождения по пространственным характеристикам трещиноватости. Благодаря этому достаточно точно для раннего этапа проектирования карьера могут быть выделены структурные домены, сектора проектирования и предложена оптимальная конфигурация бортов карьера.

Разработка геомеханической модели позволяет собрать и обработать большой объём данных, упрощая тем самым решение комплексных, многофакторных задач, коими являются задачи устойчивости. Наличие геомеханической модели упрощает верификацию результатов, уменьшает вероятность ошибок и позволяет работать в одном ключе множеству исполнителей. При получении новых сведений о месторождении в процессе его разработки развитие изученности месторождения отражается и в геомеханической модели.

Библиографический список:

1. «Сводный подсчёт запасов по золоторудному месторождению Амантайтау. Детальная разведка месторождения». ГПГ «Самаркандгеология». Дауызтауская ГРЭ, Амантайтауская ГРП. 1994 г.
2. А.А. Пулатов, М.М. Мираслянов. «Результаты гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, проведённых на месторождении Амантайтау за 1990-1994 г.г.». Глава к Отчёту Амантайтауской ГРП Дауызтауской ГРЭ за 1990-1994 г. «Узбекгидрогеология», Западно-Узбекистанская гидрогеологическая экспедиция. Ташкент, 1994 г.
3. Marinos, P. & Hoek, E. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation // Proceedings of GeoEng2000 International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne. Lancaster: Technomic Publishers, 2000. pp. 1422-1446.
4. V. Marinos, P. Marinos, E. Hoek. The geological strength index: applications and limitations // Bull Eng Geol Environ №64. 2005. 55–65 pp. DOI 10.1007/s10064-004-0270-5.
5. Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S. Quantification of the Geological Strength Index Chart // 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium held in San Francisco, CA, USA, 23-26 June 2013.
6. Bieniawski, Z.T. Engineering rock mass classification. New York: Wiley Interscience, 1989. 249 p.
7. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support // Rock Mech. 6(4). 1974. pp. 189-239.
8. Руководство по проектированию бортов карьера. Guidelines for open pit slope design : научное издание / под ред.: Д. Рид, П. Стейси ; пер. с англ. А. С. Бентхен ; науч. ред. пер. А. Б. Макаров. Екатеринбург: Правовед, 2015. 528 с.