

УДК 622.831.312

Абдиев Арстанбек Раимбекович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры открытых горных работ
и взрывного дела,
Кыргызский государственный университет геологии,
горного дела и освоения природных ресурсов
им. акад. У. Асаналиева,
720001, Кыргызстан, г. Бишкек,
Проспект Чуй, д. 215
e-mail: abdiev_arstan@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНЫХ МАССИВАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация:

Статья посвящена вопросам разработки способов прогнозирования и оценки геомеханического состояния породного массива территорий месторождений, гидротехнических сооружений, транспортных дорог, других объектов народного хозяйства, которые расположены и/или будут расположены в различных частях хребтов гор и межгорных впадин.

Месторождение расположено в складчатой зоне, в которой по результатам первого этапа оценки (геологической оценки складчатой зоны) установлено, что в ней действуют горизонтальные тектонические силы неотектонической природы с зональным распределением по направлению действий, которые сыграли определяющую роль в геологическом строении месторождения и, соответственно, в геомеханических процессах, протекавших в породном массиве месторождения.

Топографическая поверхность территории месторождения сложная, с расчлененным рельефом, относящаяся согласно геоморфологической классификации к высокогорью.

Дано обоснование второму этапу метода зональной и поэтапной оценки геомеханического состояния породного массива – горно-геологической оценке породного массива на примере сложноструктурного месторождения Кара-Кече с учетом зон влияния рельефа и аналитическим расчетом распределений напряжений в породном массиве в зависимости от геометрических параметров хребтов с глубиной.

Определена ориентировка осей главных сжимающих и растягивающих тектонических напряжений, действующих на месторождении на современном этапе, в формировании которых основную роль играют мегантиклинали складчатой зоны, обрамляющие Кара-кечинскую впадину.

Установлены зоны влияния рельефа и аналитически рассчитано распределение напряжений в породном массиве в зависимости от геометрических параметров хребтов с глубиной в каждой зоне. Значения напряжений превышают значения напряжений, полученных по гипотезе А.Н. Динника.

Установлены зоны влияния тектонических нарушений на ориентировку и знак векторов напряжений, а также на изменчивость физико-механических характеристик идентичных пород.

Данный этап оценки позволяет разработать геомеханическую модель и прогнозную карту месторождения и перейти на третий этап оценки, который освещен в последующих публикациях автора.

Ключевые слова: прогнозирование, геомеханическое состояние, сложноструктурное месторождение, хребты гор, межгорная впадина, разрывные нарушения, физико-механические свойства, горизонтальные напряжения, зональное распределение

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.056

Abdiev Arstanbek R.

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Department of open cast mining and blasting,
Kyrgyz State University of Geology, Mining
and Development of Natural Resources
named after Academician U.A. Asanaliev,
Kyrgyzstan, 720001, Bishkek, 215 Chuy Ave
e-mail: abdiev_arstan@mail.ru

FORECASTING AND ESTIMATION OF GEOMECHANICAL PROCESSES IN ROCKS MASSES OF A DEPOSIT

Abstract:

The paper concerns the development of methods for predicting and assessing the geomechanical state of the rock mass of deposit's territories, of hydraulic structures, of transport roads, and other objects of the national economy, which are located and/or will be located in different parts of the mountain ranges and intermontane areas.

The field is located in the folded zone, in which, according to the results of the first stage of the assessment – geological assessment of the folded zone, it was established that it is affected by horizontal tectonic forces of a neotectonic nature with a zonal distribution in the direction of action, which played a decisive role in the geological structure of the field and, accordingly, in geomechanical processes, taking place in the rock mass of the field.

The topographic surface of the field is complex, with a dissected relief, and it is considered as highlands according to the geomorphological classification.

In this article, the author substantiates the second stage of zonal and phased assessment method of geomechanical state of the rock mass – the geological and mining assessment of the rock mass using the Kara-Keche complex structural field as an example, considering relief zones and analytical calculation of stress distributions in the rock mass depending on the geometric parameters of denotations with depth.

The orientation of the axes of the main compressive and tensile tectonic stresses acting on the field at the present stage in the formation of which the main role is played by the meganticlinals of the folded zone, framing the Kara-kechinsk depression, is determined.

The zones of influence of the relief are established and the stress distribution in the rock mass is analytically calculated depending on the geometric parameters of the ridges with depth in each zone. The stress values exceed the stress values obtained by A. N. Dinnik.

The zones of influence of tectonic disturbances on the orientation and sign of stress vectors, as well as on the variability of the physical and mechanical characteristics of identical rocks, are established.

This stage of the assessment allows us to develop a geomechanical model and a forecast map of the field and move on to the third stage of the assessment, which is considered in subsequent publications of the author.

Keywords: forecasting, geomechanical state, complex-structural field, mountain ranges, intermountain depression, discontinuous disturbances, physical and mechanical properties, horizontal stresses, zonal distribution

Введение

Буроугольное месторождение Кара-Кече расположено на высоте 3200 м над уровнем моря. Геомеханическое состояние породного массива месторождения сложное, с расчлененным рельефом с превышением вершин над долинами на 300÷500 м: в структурном отношении территория представляет собой альпийскую, преимущественно неотектоническую грабен-синклиналь протяженностью 10 км при ширине 2 км, ограниченную с севера и юга горст-антиклинальными поднятиями; большой диапазон изменчивости, неоднородности строения, механических характеристик и напряженного состояния породного массива в плане и на глубину; мощности угольных пластов колеблются от 1,15 м до 94,22 м с углами падения 50 – 70°.

Анализ геомеханического состояния породного массива месторождения

Структурно-петрофизический анализ с изучением опорных разрезов и детального площадного картирования произведен с привлечением имеющегося геологического материала и прежде всего данных детального геолого-структурного картирования [20].

Разрезы выбраны по линиям геологических профилей, которые располагались вдоль и поперек простирающихся угольных пластов, содержали горные выработки, скважины и естественные обнажения, позволяющие производить структурные наблюдения.

Детальное площадное картирование на локальных участках (карьеры, хорошо обнаженные участки) позволило составить специализированные геолого-структурные карты. Полное описание наблюдений включало сведения о породах, их составе; структурную информацию (слоистость, строение контактов, макро- и микроскладчатость, разломы, трещиноватость).

При визуальных обследованиях по линиям выбранных разрезов была изучена трещиноватость – с указанием типа, размеров (скола и отрывов) и по возможности отдельно для разновозрастных систем нарушений; выявлены сопряженные системы разрывов; опорные разрезы и участки, закартированные в детальном масштабе, явились первой основной частью структурных схем и карты месторождения.

Для анализа складок определялись ориентировка их геометрических элементов и параметров крыльев, шарнира, осей плоскости, оси. При анализе использованы кинематико-геометрическая, морфолого-геометрическая, структурно-геометрическая классификации и методы математического описания и анализа складок (статический анализ скалярных и векторных данных, обыкновенный корреляционный и многомерные анализы, цифровые записи ориентировки осей складок использованы для обработки полученных замеров).

На основании замеров залегания пластов в отдельных обнажениях, буровых скважинах и т.п., а также путем экстраполяции замеров реконструировалась складка. Реконструкции складок строились по геологическим разрезам. Полное представление о складчатой форме получено путем интерполяции между соседними разрезами. Выбор соответствующего метода реконструкции (концентрических складок, подобных складок, дисгармоничных складок) зависел, главным образом, от структуры складчатости на исследуемом участке месторождения. Структура складчатости определялась на основании анализа условий залегания слоев, геологических разрезов, составленных по прилегающим участкам, анализа картографического материала. При этом даже на небольшом участке встречались складки разных структурных типов, например, в породах различного литологического состава. И в вертикальном направлении на отдельных горизонтах проявлялись складчатые формы разного стиля. Особенно часто различные по своей форме складки относились к разным фазам тектогенеза или отражали разную степень и интенсивность складчатых процессов. При складкообразовании слои пород изгибались под воздействием либо горизонтальных сжимающих сил, направленных в их плоскости продольно, либо вертикальных сил, приложенных к слоям в поперечном направлении.

Анализ разрывных структур и реконструирование осей напряжений по ориентировке трещин и разрывных смещений сводится к определению их геометрической формы и ориентировки сместителя, крыльев, линии разрыва, амплитуд и перекрытия или зияния [9, 20]. При анализе ориентировки трещин возникает необходимость сопоставления выявленных статистической обработкой средних элементов залегания трещин с элементами залегания пласта, залежи, осевой плоскости складки или сместителя разрывного смещения. Решение этой задачи в стереографической проекции сводится к построению стереограммы в истинной или условной системе стереографических координат, связанной с элементами залегания пласта или залежи.

Делимость породного массива на блоки также является одним из факторов, определяющих физические свойства и состояние массива, а следовательно, его поведение вблизи горных выработок. Если известны средние значения элементов залегания систем трещин и средние нормальные расстояния между трещинами каждой системы, геометрическая форма и размеры блоков определяются при построении макета на основе стереограммы [6, 7, 9, 20].

Данные об ориентировке трещин представляли особую ценность, так как они получены по керну скважин во время проведения геологоразведочных работ [20].

Трещины отрыва возникают, когда максимальное растягивающее напряжение достигает предела прочности пород на отрыв. Они располагаются перпендикулярно оси наибольшего нормального растягивающего напряжения σ_1 (рис. 1). Поэтому, если известны элементы залегания трещин отрыва, можно реконструировать положение оси. Но при этом невозможно установить направление действия двух главных вертикальных σ_3 и промежуточных горизонтальных напряжений σ_2 .

Для реконструирования положения осей нормальных напряжений использовались выделенные на круговой диаграмме средние элементы залегания систем трещин скалывания. Решение задач производилось таким же способом, как и по элементам единичной пары трещин. Когда сопряженность систем трещин при полевых наблюдениях не была установлена, выбор на диаграмме сопряженных пар производился по ориентировке имеющихся на поверхности трещин борозд скольжения. Последние появляются в результате смещения пород в сторону оси средних нормальных напряжений и всегда ориентированы перпендикулярно к ней. Поэтому, если нам известно значение острого угла между направлением падения трещин данной системы и бороздами скольжения на поверхности, можно найти геометрическое место полюсов плоскостей тех трещин, которые связаны с данной конкретной системой общностью направления действия напряжений.

Особенности морфологии и ориентировки разрывных смещений, развивающихся путем разрастания и слияния трещин скалывания в одну сплошную зону разрыва, предопределяются пространственным положением трех составляющих тектонического давления – осями главных нормальных горизонтальных максимальных σ_1 , промежуточных напряжений σ_2 и вертикальных напряжений σ_3 .

Это положение тектонофизики [7] может служить различным целям, в том числе и реконструированию осей нормальных напряжений в реальных структурных объектах, по элементам наблюдаемых в них разрывных смещений (взбросов, взбросо-сдвигов, сбросов, сбросо-сдвигов, поддвигов, подбросов). В качестве необходимых данных для этого использованы элементы залегания сместителей разрывов, направление борозд скольжений, ориентировка оперяющих трещин, средний угол скалывания пород в районе исследований [20].

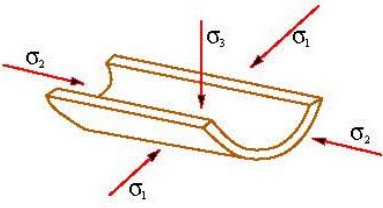
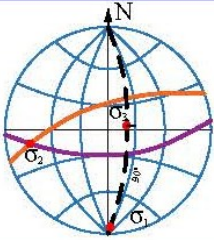
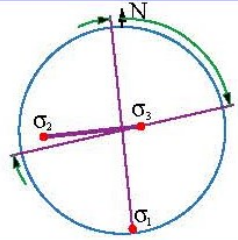

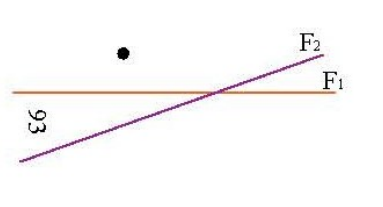
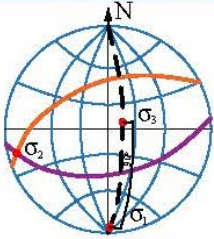
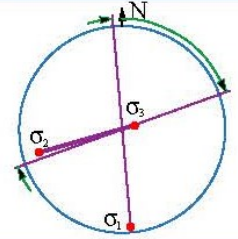
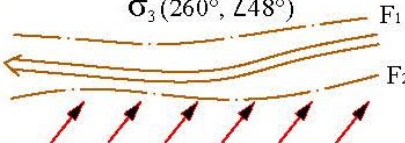
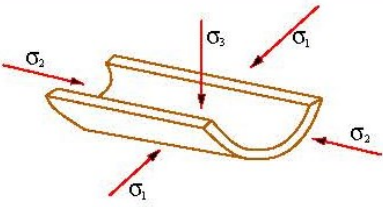
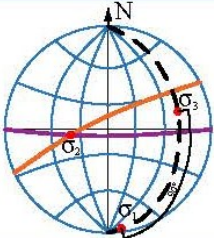
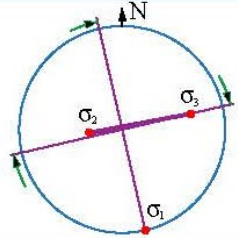

| Схема образования тектонических структур | Построение осей главных нормальных напряжений | Определение элементов залегания осей главных нормальных напряжений | Схема ориентировки осей главных нормальных сжимающих напряжений |
|---|---|--|---|
| а. По основной складке продольного изгиба (Каракечинской синклинали) | | | |
|  |  |  | <p style="text-align: center;"> $\sigma_1 (344^\circ, \angle 4^\circ)$ $\sigma_2 (74^\circ, \angle 3^\circ)$ $\sigma_3 (255^\circ, \angle 77^\circ)$ </p>  |
| б. По ограничивающим Каракечинскую впадину разломам (Северо-Кавакский взброс F1 и Минкуш-Каракечинский сброс F2) | | | |
|  |  |  | <p style="text-align: center;"> $\sigma_1 (351^\circ, \angle 1^\circ)$ $\sigma_2 (86^\circ, \angle 42^\circ)$ $\sigma_3 (260^\circ, \angle 48^\circ)$ </p>  |
| в. По дизъюнктивным структурам III порядка (складки выжимания, отражения и приразломовые, внутренние разломы) | | | |
|  |  |  | <p style="text-align: center;"> $\sigma_1 (348^\circ, \angle 2^\circ)$ $\sigma_2 (80^\circ, \angle 62^\circ)$ $\sigma_3 (258^\circ, \angle 28^\circ)$ </p>  |

Рис. 1 – Анализ тектонической структуры месторождения Кара-Кече на уровне синклинали, разломов и по складкам третьего порядка

Таблица 1

**Направления действия главных нормальных напряжений, определенных по элементам тектонических структур
месторождения Кара-Кече**

| Участок | Порядок складок, разломов | Элементы залегания складок, разломов, град | | Направления действия напряжений, град | | | | | |
|--------------------|--|--|----------|---------------------------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | | | | σ_1 | | σ_2 | | σ_3 | |
| | | аз. прост. | уг. пад. | аз. прост. | уг. пад. | аз. прост. | уг. пад. | аз. прост. | уг. пад. |
| Складчатая зона | Складка продольного изгиба 1-го порядка, ограниченная хр. Северный Кавак-Тоо и Молдо-Тоо | 80 40 | 50 40 | 142 | 2 | 52 | 72 | 234 | 18 |
| Складчатая подзона | Северо-Кавакский взброс Минкуш-Каракечинский сброс, 1-го порядка | 70 85 | 55 82 | 359 | 2 | 74 | 3 | 255 | 77 |
| Месторождение | Складка продольного изгиба 1-го порядка (Каракечинская синклиналь) | 70 265 | 40 70 | 344 | 4 | 83 | 14 | 255 | 76 |
| Месторождение | Северный сброс F_1 Южный сброс F_2 , 1-го порядка | 60 85 | 55 82 | 358 | 2 | 74 | 3 | 253 | 76 |
| Участок Западный | Внутренние разломы f_1 и f_{10} | 270 75 | 85 80 | 351 | 1 | 86 | 42 | 260 | 48 |
| Участок Восточный | Внутренние разломы f_2 и f_{13} | 270 240 | 85 80 | 348 | 2 | 80 | 62 | 258 | 28 |

Горно-геологическая оценка породного массива месторождения

На втором этапе проведена горно-геологическая оценка геомеханического состояния породного массива месторождения Кара-Кече, являющаяся среднесрочным (5 – 15 лет) прогнозированием состояния породного массива. Погоризонтно определены азимуты направления осей тектонических напряжений реконструированием осей напряжений по элементам складок и различных нарушений в пределах нагорного месторождения Кара-Кече (см. рис. 1), (табл. 1). Установлены зоны влияния рельефа и аналитически рассчитано распределение напряжений в породном массиве в зависимости от геометрических параметров хребта Молдо-Тоос глубиной [20]:

$$\begin{aligned}\sigma_{px} &= \lambda\gamma y - \gamma\epsilon\text{tg}2\beta(x + y\text{tg}\beta); \sigma_{py} = \gamma y - \gamma\epsilon(x + y\text{tg}\beta); \\ \tau_{pxy} &= \gamma\epsilon\text{tg}\beta(x + y\text{tg}\beta); \beta = \lambda\text{tg}\alpha; \\ \epsilon &= (1 + \lambda\text{tg}2\alpha)(3\text{tg}2\beta\text{tg}\alpha + 3\text{tg}\beta + \text{tg}3\beta\text{tg}2\alpha + \text{ctg}\alpha),\end{aligned}\quad (1)$$

где σ_{px}, σ_{py} – горизонтальные напряжения от геометрических параметров хребта Молдо-Тоос, соответственно, в меридиональном и широтном направлениях, МПа; τ_{pxy} – касательные напряжения от геометрических параметров хребта Молдо-Тоос, МПа; λ – коэффициент бокового давления; γ – объемный вес, т; x, y – горизонтальные и вертикальные координаты исследуемой точки в массиве, м; α – угол наклона склона к горизонту, град; β – угол, определяющий зону влияния склона, град.

Величины тектонических напряжений определяются по зависимостям:

$$\begin{aligned}\sigma_{xT}^T &= 4,5 + 0,037H - \text{в меридиональном направлении, МПа;} \\ \sigma_{yT}^T &= 5,0 + 0,022H - \text{в широтном направлении, МПа.}\end{aligned}\quad (2)$$

где 4,5 и 5,0 – модуль горизонтальных тектонических напряжений непосредственно у поверхности земли, где вертикальные напряжения равны нулю, МПа; 0,037 и 0,022 – градиенты изменения горизонтальных тектонических напряжений на 1 м глубины, МПа; H – глубина от поверхности земли до исследуемой точки в массиве, м.

Общее естественное напряженное состояние породного массива рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sigma_{\gamma H} + \sigma_p + \sigma_T, \quad (3)$$

где $\sigma_{\gamma H}$ – напряжения, обусловленные собственным весом пород до дневной поверхности, МПа; σ_p – напряжения от геометрических параметров хребта Молдо-Тоос, МПа; σ_T – тектонические напряжения определяются по зависимостям (2), МПа.

Распределение расчетных напряжений в нетронутым породном массиве по трем характерным геологическим разрезам месторождения Кара-Кече приведены в табл. 2.

Полученные результаты оценки геомеханического состояния породного массива месторождения [20] на основе реконструкции структур (табл. 1) и аналитических расчетов по определению величин главных нормальных напряжений (табл. 2) свидетельствуют о том, что в породном массиве в пределах месторождения Кара-Кече действуют горизонтальные растягивающие и сжимающие напряжения, превышающие напряжения по гипотезе А.Н. Динника, соответственно, в 9,0 и 7,0 раз и направленные на север почти перпендикулярно оси основной синклинали складки.

Кроме того, по линиям 1-1 и 2-2 на всех трех разрезах (см. рис.1, б) с поверхности земли до горизонта +2500 м проявляются растягивающие напряжения меридиональной направленности. Вероятной причиной этого, на наш взгляд, является северный ограничивающий сброс, в зоне влияния которого происходит выдавливание вверх юрских отложений. То есть такое выдавливание происходит вследствие тектонического сжатия, возникающего на глубине, в подковровых слоях в породах фундамента.

Такие процессы растяжения земной коры многие исследователи считают причиной формирования различных впадин поверхности земли. Общая площадь этих зон не превышает 1 – 2 % исследуемых территорий [1, 9, 10, 11, 14, 15, 17 – 23].

Таблица 2

| Горизонты (высотная от- метка над уровнем моря) | Глубина от дневной поверхности земли, м | Расчетные формулы | | |
|---|---|-------------------|------------|------------|
| | | σ_x | σ_y | σ_z |
| $\sigma = \sigma_{\gamma H} + \sigma_p + \sigma_T;$ $\sigma_{px} = \lambda_{\gamma\gamma} - \gamma \epsilon \text{tg}^2 \beta (x + y \text{tg} \beta); \sigma_{py} = \gamma\gamma - \gamma \epsilon (x + y \text{tg} \beta);$ $\beta = \lambda \text{tg} \alpha;$ $\tau_{pxy} = \gamma \epsilon \text{tg} \beta (x + y \text{tg} \beta);$ $\epsilon = \frac{1 + \lambda \text{tg}^2 \alpha}{3 \text{tg}^2 \beta \text{tg} \alpha + 3 \text{tg} \beta + \text{tg}^3 \beta \text{tg}^2 \alpha + \text{ctg} \alpha};$ $\sigma_x^T = 4,5 + 0,037H; \sigma_y^T = 5,0 + 0,022H.$ | | | | |
| <i>По линии 1-1 разреза I-I</i> | | | | |
| +3000 м | 125 | 12,0 | 17,1 | 3,04 |
| +2500 м | 625 | 38,6 | 29,2 | 16,6 |
| +2000 м | 1125 | 65,1 | 56,4 | 29,9 |
| <i>По линии 2-2 разреза I-I</i> | | | | |
| +3000 м | 375 | 22,9 | 19,3 | 10,2 |
| +2500 м | 875 | 48,8 | 47,5 | 21,3 |
| +2000 м | 1375 | 75,9 | 75,9 | 33,4 |
| <i>По линии 3-3 разреза I-I</i> | | | | |
| +3000 м | 300 | 20,6 | 22,1 | 8,0 |
| +2500 м | 800 | 29,0 | 39,6 | 21,3 |
| +2000 м | 1300 | 74,1 | 79,1 | 34,9 |
| <i>По линии 1-1 разреза II-II</i> | | | | |
| +2500 м | 450 | 28,2 | 23,5 | 12,0 |
| +2000 м | 950 | 54,7 | 41,0 | 25,3 |
| <i>По линии 2-2 разреза II-II</i> | | | | |
| +3000 м | 225 | 17,1 | 15,1 | 6,1 |
| +2500 м | 725 | 43,8 | 37,6 | 19,7 |
| +2000 м | 1225 | 69,7 | 65,4 | 29,8 |
| <i>По линии 3-3 разреза II-II</i> | | | | |
| +3000 м | 500 | 35,7 | 34,8 | 14,6 |
| +2500 м | 1000 | 65,1 | 63,3 | 27,9 |
| +2000 м | 1500 | 94,5 | 91,7 | 41,2 |
| <i>По линии 1-1 разреза III-III</i> | | | | |
| +2500 м | 500 | 32,0 | 22,1 | 12,2 |
| +2000 м | 1000 | 61,1 | 44,2 | 26,6 |
| <i>По линии 2-2 разреза III-III</i> | | | | |
| +3000 м | 225 | 17,8 | 15,2 | 6,8 |
| +2500 м | 725 | 44,9 | 38,8 | 20,4 |
| +2000 м | 1225 | 72,0 | 67,7 | 34,0 |
| <i>По линии 3-3 разреза III-III</i> | | | | |
| +3000 м | 450 | 28,4 | 30,6 | 12,0 |
| +2500 м | 950 | 55,4 | 59,0 | 25,3 |
| +2000 м | 1450 | 82,3 | 87,5 | 38,6 |

На месторождении Кара-Кече напряженное состояние, характеризующееся растяжением, охватывает узкую зону грабена, т.е. окраинную часть склонов хребтов, обрамляющих Каракечинскую впадину [20].

Заключение

Таким образом, на основании результатов первого этапа – геологической оценки породного массива складчатой зоны месторождения и второго этапа – горно-геологической оценки геомеханического состояния породного массива месторождения и/или объекта строительства, исходя из задач разработанного метода зональной и поэтапной оценки геомеханического состояния породного массива, строятся геомеханическая модель и прогнозная карта состояния породного массива с распределениями величин и направления действия горизонтальных и вертикальных напряжений в плане и с глубиной.

Геомеханическая модель и прогнозная карта дают возможность еще на стадии проектирования горных и горно-строительных работ определить схемы развития работ, места заложения вскрывающих и горно-капитальных выработок и отвалов, параметры подготовительных и очистных выработок, откосов и направления развития фронта работ, места и очередность расположения объектов строительства с учетом ожидаемых проявлений негативных геомеханических процессов.

С началом строительства и в период эксплуатации объекта исследований необходимо выполнять третий этап оценки – горно-технологическую оценку породного массива вблизи горных выработок и обнажений в динамике ведения работ геоакустическим или маркшейдерскими инструментальными методами, по полученным результатам вносить корректировки и дополнять разработанную геомеханическую модель и прогнозную карту объекта.

Литература

1. Садыбакасов И. Неотектоника высокой Азии / И. Садыбакасов. – М.: Наука, 1990. – 180 с.
2. Seltmann R., Konopelko D., Biske G., Divaev F., Sergeev S. Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatic evolution of the Tien Shan orogenic belt / рецензируемое сетевое периодическое научное издание/ Journal of Asian Earth Sciences. 2011. - Vol. 42. No. 5. - P. 821 – 838. – [Электронный ресурс] - Режим доступа: // <http://elibrary.ru>
3. Буртман В.С. Тектоника и геодинамика Тянь-Шаня в среднем и позднем палеозое / В.С. Буртман // Геотектоника: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. - 2015. - № 4. - С. 67 – 85. [Электронный ресурс] - Режим доступа: // <http://elibrary.ru>
4. Макаров В.И. Межгорные и внутригорные впадины Тянь-Шаня: формационные, структурные и геодинамические различия / В.И. Макаров // Геология и геофизика: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. - 2012. - Т. 53. № 4. - С. 476 – 488. [Электронный ресурс] - Режим доступа// <http://elibrary.ru>
5. Charvet J., Shu L., Laurent-Charvet S., Wang B., Faure M., Cluzel D., Chen Y., Jong K. D. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China // Science China Earth Sciences: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. - 2011. - Vol. 54. Iss. 2. P. - 166 – 184. [Электронный ресурс] – Режим доступа: // <http://elibrary.ru>
6. Гущенко О.И. Анализ ориентировок скальных тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции напряжений / О.И. Гущенко // ДАН СССР. – 1973. – Т. 220, № 2. – С. 331 - 335.
7. Гзовский М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. – М.: Наука, 1975. – 535 с.
8. Xiao W., Windley B. F., Allen M. B., Han C. Paleozoic multiple accretionary and

collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage / рецензируемое сетевое периодическое научное издание/ Gondwana Research. 2013. - Vol. 23. No. 4. - P. 1316 – 1341. [Электронный ресурс] – Режим доступа: // <http://elibrary.ru>

9. Мамбетов Ш.А. Прогнозирование и контроль напряженно-деформированного состояния массива пород в высокогорных районах / Ш.А. Мамбетов. – Фрунзе: Илим, 1988. – 187 с.

10. Айтматов И.Т. Некоторые результаты измерения напряжений в пределах Курусай-Туранглинского рудного поля / И.Т. Айтматов, К.Д. Вдовин, К.Ч. Кожугулов // Измерения напряжений в массиве горных пород. Ч.2. – Новосибирск: ИТД СО АН СССР. – 1976. – С. 32 - 35.

11. Айтматов И.Т. Экспериментальные исследования напряженного состояния массива горных пород на месторождениях Средней Азии / И.Т. Айтматов, К.Д. Вдовин, Н.Г. Ялымов // Изв. АН Кирг. ССР. – 1978. - № 4. – С. 34 - 38.

12. Современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня / Ф.Н. Юдахина, О.К. Чедия, Г.М. Сабитова и др. – М.: Наука, 1991 – 192 с.

13. Malyukova N. Hypogene zoning of polymetallic rare-earth and rare-metal deposits in the Ak-Tyuz ore field (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan) // Second International Workshop on Tethyan Orogenesis and Metallogeny in Asia. – Wuhan: China University of Geosciences, 2015. - P. 59 – 63.

14. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии / И.Т. Айтматов. – Фрунзе: Илим, 1987 – 246 с.

15. Барях А.А. О механизме формирования карстовых провалов на земной поверхности / А.А. Барях, А.К. Федосеев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2011. - № 4. - С. 12 – 22.

16. Сашурин А.Д. Современные геодинамические движения и их роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород / А.Д. Сашурин // Геомеханика в горном деле: матер. Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. - С. 3 – 12.

17. Мамбетов Ш.А. Геомеханические процессы в породных массивах / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев: учебник в 2-х томах, Т. 2. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. – 198 с.

18. Ялымов Н.Г. Теоретические основы управления давлением пород при разработке месторождений в горных районах / Н.Г. Ялымов. – Бишкек: Илим, 1992. – 184 с.

19. Мамбетов Ш.А. Горные работы в условиях Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. – 282 с. – Режим доступа// www.lib.krsu.edu.kg

20. Абдиев А.Р. Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече / А.Р. Абдиев. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. – 147 с.

21. Структурно-механические особенности породного массива Тянь-Шаня и вопросы прогнозирования состояния породного массива месторождений / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, К.Д. Изабаев, А.А. Раимжанов // Вестник КРСУ: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. – [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.lib.krsu.edu.kg

22. Абдиев А.Р. Оценка геомеханического состояния горных структур Тянь-Шаня для рационального ведения горных и горно-строительных работ / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, Ш.А. Мамбетов / Горный журнал – 2017. – № 4.

23. Мамбетов Ш.А. Геомеханическое состояние породного массива Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019. – 208 с.