

УДК 622.02:531

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Кожогулов¹ К.Ч., Мамбетов² Ш.А., Абдиев³ А.Р.

¹Институт геомеханики и освоения недр
НАН Кыргызской Республики

²Кыргызско-Российский славянский университет

³Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и
освоения природных ресурсов им. акад. У. Асаналиева

Проявления геомеханических процессов в массивах структурно-неоднородных месторождений многообразны и зависят от геомеханического состояния породных массивов: структурных особенностей; физико-механических свойств пород, слагающих массив; естественного напряженно-деформированного состояния. В предшествующих публикациях были рассмотрены структурные особенности и особенности физико-механических свойств пород слагающих массив структурно-неоднородных месторождений Тянь-Шаня. В этой статье обращается внимание на напряженно-деформированное состояние породного массива, которое возникает в процессе ведения горных работ и связано не только с эффективностью, но и с безопасностью разработок месторождений.

Ключевые слова: месторождение, полезное ископаемое, структурная неоднородность, свойства пород, напряженное состояние, деформации

СТРУКТУРАЛЫК-БИР ТЕКСИЗ ПАЙДАЛУУ КЕНДЕРДИН ГЕОМЕХАНИКАЛЫК АБАЛЫНЫН НЕГИЗГИ ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

Кожогулов¹ К.Ч., Мамбетов² Ш.А., Абдиев³ А.Р.

¹Кыргыз Республикасынын УИАнын

Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

²Кыргыз-Орус славян университетинин

³Академик У. Асаналиев атындагы Кыргыз мамлекеттик геология, тоо-кен
иши жана жаратылыш ресурстарын өздөштүрүү университети

Структуралык-бир тексиз кендердин массивдериндеги геомеханикалык процесстердин көрүнүштөрү ар түрдүү жана тоо тектеринин геомеханикалык абалына көз каранды: структуралык өзгөчөлүктөр; массивди түзгөн тоо тектердин физикалык-механикалык касиеттери; табигый чыңалган-деформациялык абалы. Буга чейинки басылмаларда Тянь-Шандын структуралык-бир тексиз кендеринин массивдерин түзгөн тоо тектеринин структуралык өзгөчөлүктөрү жана физикалык-механикалык касиеттеринин өзгөчөлүктөрү каралган. Бул макалада кенди казып алуу процессинде пайда болгон жана кенди иштетүүнүн эффективдүүлүгү менен гана эмес, коопсуздугу менен да байланышкан тоо массивиндеги чыңалган-деформациялык абалына көңүл бурулат.

Баштапкы сөздөр: кен, пайдалуу кен, структуралык ар түрдүүлүк, тоо тектеринин касиеттери, чыңалуу абалы, деформациялар

MAIN FEATURES OF THE GEOMECHANICAL STATE OF STRUCTURAL-INHOMOGENEOUS MINERAL DEPOSITS

Kozhogulov¹ K.Ch., Mambetov² Sh.A., Abdiev³ A.R.

¹Institute of Geomechanics and Subsoil Development NAS
of the Kyrgyz Republic

²Kyrgyz-Russian Slavic University

³Kyrgyz State University of Geology, Mining and Development of Natural Resources them named of acad. U. Asanalieva

The manifestations of geomechanical processes in the massifs of structurally heterogeneous deposits are diverse and depend on the geomechanical state of the rock massifs: structural features; physical and mechanical properties of rocks that make up the massif; natural stress-strain state. In previous publications, the structural features and features of the physical and mechanical properties of rocks composing the array of structurally heterogeneous deposits of the Tien Shan were considered. This article draws attention to the stress-strain state of the rock mass, which arises in the process of mining and is associated not only with the efficiency, but also with the safety of field development.

Keywords: deposit, minerals, structural heterogeneity, rock properties, stress state, deformations

1. Введение

Одним из трех важнейших характеристик геомеханического состояния породного массива является его естественное напряженно-деформированное состояние. Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования в разных странах, позволили существенно уточнить представления о распределении напряжений в массивах горных пород, и их деформациях под влиянием природных и техногенных факторов. Измерения напряжений непосредственно в породных массивах,

выполненные во многих местах земного шара, не подтвердили универсальность гипотез Гейма и Динника для оценки естественного напряженно-деформированного состояния породных массивов, в верхней части земной коры. Данные гипотезы не учитывают факторы, оказывающие непосредственное влияние на распределение естественных напряжений в массиве: последовательность развития геологических событий и основных этапов формирования структуры месторождений, действия современных тетконических сил напряжений; присущая месторождениям структурная неоднородность их массивов и особенности физико-механических свойств пород слагающих их; влияние пространственно-геометрических параметров рельефа, где расположено месторождение.

Анализ литературы, посвященных вопросам геомеханического состояния породных массивов, показал, что существует разобщенность между представлениями о структуре породного массива и о его напряженном состоянии. С одной стороны, признается, что для породных массивов характерны существенная структурная неоднородность и в то же время нередко при постановке и рассмотрении задач о напряженном состоянии массивов допускается возможность использовать модели однородных, изотропных упругих тел [1,2].

Очевидно, для определенного круга задач, когда масштабы факторов неоднородности существенно меньше масштабов изучаемого массива конкретного месторождения или масштабов горных выработок, взаимодействующих с элементами этого массива, можно принять модель сплошного однородного тела. Но в этих случаях рассматриваемый массив должен быть предварительно обстоятельно исследован экспериментальными методами. Схематически эта структурная модель должна отражать геометрию сетей трещиноватости, средние размеры блоков, их прочностные и деформационные характеристики, а также условия распределения в них природных напряжений. Естественно, такая структурная модель должна строиться на основе экспериментальных данных, полученных в процессе выполнения на месторождении геологоразведочных работ или специальных натуральных исследований [1,2].

Неотектонические структуры Тянь-Шаня, как главные исходные данные характеризующие условия общего субмеридионального сжатия земной коры для оценки и прогнозирования напряженно-деформированного состояния, далеко не всегда принимаются во внимание. Особо следует отметить, что по характеру асимметрии новейшие структурные формы (складки основания) объединяются в группы северной или южной асимметрии [1,2]. Подобные группы складок, рассматриваемые как складки продольного изгиба, своей вергентностью позволяют определить векторы действующий тектонических напряжений. Кроме регионального субмеридионального сжатия, необходимо принимать во внимание действие зональных тектонических сил, изменяющихся в своей направленности как в плане, так и на глубину.

2. Методика исследования

Анализ условий формирования структурно-неоднородных месторождений Юго-Западного Тянь-Шаня (Кадамжай, Хайдаркан, Сулюкта и др.) показал, что их образование тесно связано со структурно-тектонической деятельностью всего региона и проходило многоэтапно. К примеру, структуры Катранского антиклинория Кадамжайского месторождения развивались после среднекаменноугольного времени до поздней перми, с формированием складчатой структуры с образованием разрывных нарушений. По Северо-Катранскому взбросо-надвику, на северном крыле Катранского антиклинория, сланцы верхнего силура надвинуты с юга на терригенные отложения верхнего палеозоя. Далее к югу определены еще несколько нарушений аналогичного типа, что характеризует общее движение горных масс с юга на север под действием тектонических сил значительной величины. Современная форма Кадамжайского месторождения представляется в виде антиклинальной складки, характерной особенностью которой является наличие крупного широтного разлома (Северный разлом). По этому разлому проявляется взброс, амплитуда перемещения по которому достигает 700 м. Его возраст определяется как дорудный с неоднократным обновлением. Это нарушение служило основным рудопроводящим каналом месторождения.

Пликативные и дизъюктивные дислокации представляют собой две формы единого процесса деформации массива и встречаются совместно в тех или иных соотношениях. Зарождение таких форм происходит из обычных складок с изгибом слоев при продольном их сжатии в результате перехода пластических деформаций в разрывные. Взбросо-надвиги в районе Кадамжайского месторождения у поверхности имеют пологое падение, а с глубиной становятся более крутыми [1-2].

В южной части месторождения образовался крупный Диагональный разлом сколового характера, с крутопадающим взбросом амплитудой перемещения до 300 м. Диагональный взброс в отличие от Северного имеет противоположное падение. Это связано с тем, что в ядре складки, испытывающей тектоническое давление с юга, действует силы отпора, от ранее образовавшегося Северного разлома. Следовательно, механизм формирования Диагонального разлома соответствует действию максимальных главных напряжений в субмеридиональном направлении.

Диагональные крутопадающие сколовые разрывы северо-восточного простирания, сопряженные с Северным взбросом, по возрасту определяются как сорудные. Горизонтальные (сдвиговые) смещения по этим сколовым разломам достигают 40–50 м. Амплитуда вертикальных перемещений достигает нескольких десятков метров. Так, на юго-западном замыкании складки, где переориентация напряжений проявлена в более значительной степени, взброшен блок массива, ограниченный по простиранию и падению сколовыми разломами. Исходя из общей схемы

механизма тектонического развития складчатых и разрывных структур Кадамжайского месторождения, следует, что общее напряженное состояние массива характеризуется тангенциальным сжатием. Максимальные главные напряжения действуют в субмеридиональном направлении. Наибольшее изменение симметрии поля напряжений соответствует юго-западному периклинальному замыканию складки.

Формирование тектонических структур района Хайдарканского месторождения проходило также многоэтапно. Начиная со среднего карбона, рудное поле развивалось в обстановке формирования антиклинали. Последний этап развития структур района соответствует новейшему циклу тектогенеза. Механизм их формирования аналогичен механизму формирования Кадамжайского месторождения и также обусловлен горизонтальным сжатием, ориентированным преимущественно вкрест простирания основных складчатых структур, то есть меридионально. Складчатые формы рудного поля осложнены многочисленными разрывными структурами, среди которых выделяются надвиги, взбросы и взбросо-сдвиги.

Хайдарканское месторождение расположено в зоне высоких предгорий Алая. Общая панорама представляет горную цепь, состоящую из ряда параллельных хребтов. В рельефе этой области выделяется Хайдарканская продольная котловина шириной до 4 км, представляющая собой одно из звеньев весьма протяженной зоны впадин. Абсолютная высота составляет 1500–1900 м. С севера указанная котловина ограничена хребтом Катран с абсолютными отметками до 3000 м. С юга над ней высится громадная известняковая гряда Ходжа-Ачкан, простирающаяся на 20 км и достигающая высоты 5000 м. Рудные поля месторождений располагаются вдоль южного склона и под подножием хребта Катран, простирающегося в широтном направлении. На востоке горы располагаются дугой. Высота гор над уровнем котловины составляет 500–600 м.

В южном крыле антиклинория наиболее четко выражен Ишметауский надвиг, плоскость которого падает к северу. С возрастанием глубины угол падения меняется от 50° до 70-80°. По плоскости этого надвига верхнесилурийская известняково-сланцевая толща хребта Ишметау надвинута с севера на каменноугольные отложения Хайдарканского рудного поля. Несколько севернее выделяются Катранбашинский и другие надвиги, также падающие к северу. Генетически их следует рассматривать как сколы, развившиеся в обстановке сжатия и общего движения масс к югу [1-2].

3. Результаты и обсуждение

Формирование антиклинальных структур месторождения сопровождалось образованием крупных крутопадающих взбросов, расположенных параллельно относительно осевых плоскостей складок

(Кара-Арчинский, Центральный, Долинный). Амплитуда вертикальных перемещений по плоскостям разломов достигает 1000 м. Перемещения по тектоническим нарушениям предопределили расчленение площади месторождения на отдельные блоки. В результате оценки напряженного состояния массива для разных участков, выполненной на основании анализа тектонических структур, установлено, что в целом по месторождению ориентировка максимального главного напряжения имеет субмеридиональное направление.

Статистическая обработка экспериментального материала по естественным напряжениям в массивах горных пород рудных месторождений Средней Азии и Юго-Восточного Казахстана позволила получить уравнения регрессии, характеризующие изменение средних значений главных нормальных напряжений с глубиной [1]:

- для крепких пород с модулем упругости от $(5-6) \cdot 10^4$ до $(10-11) \cdot 10^4$ МПа:

$$\sigma_x + \sigma_y = 9,5 + 2,78\gamma H, \text{ МПа} \quad (1)$$

$$\sigma_x = 5,0 + 2,78 \gamma H, \text{ МПа} \quad (2)$$

$$\sigma_y = 4,5 + 1,12 \gamma H, \text{ МПа} \quad (3)$$

- для массивов средней прочности с модулем упругости пород от $(2\pm 3) \cdot 10^4$ МПа:

$$\sigma_x + \sigma_y = 5,0 + 2,14\gamma H, \text{ МПа} \quad (4)$$

$$\sigma_x = 3,0 + 1,14\gamma H, \text{ МПа} \quad (5)$$

$$\sigma_y = 2,0 + \gamma H, \text{ МПа} \quad (6)$$

где γ – объемный вес породы: $2,7 \cdot 10^{-2}$ МПа/м; H – глубина от дневной поверхности, м. Вертикальные напряжения σ_y приблизительно соответствуют γH .

Из приведенных формул (1-6) видно, что значения, полученные по Тянь-Шаню, оказались более низкими, чем у Н.Хаста, но выше, чем по гидростатическому закону. Полученные эмпирические зависимости отражают статистические средние значения нормальных напряжений для соответствующих глубин верхней части земной коры региона. Пространственная неоднородность геомеханических структур может обусловить в отдельных локальных местах значительное отклонение величин напряжений от их средних значений. Сложное строение месторождений обуславливает и сложное напряженное состояние массива пород, которое неоднородно и зависит от тектонических структур участков месторождений.

С целью выявления основных закономерностей распределения полей напряжений в массиве пород был проведен комплекс экспериментальных работ и обобщение результатов проведенных исследований. Так, измерениями методом разгрузки (ВНИМИ) на Кадамжайском руднике на горизонте 930 м установлено, что в южном крыле складки максимальное главное напряжение составляет 35,1 МПа и направлено в

субмеридиональном направлении (азимут 156°). На юго-западном периклинальном замыкании складки величина максимального главного напряжения равна 40,1 МПа, а его ориентация субширотная (азимут 282°). Это связано с изменением симметрии осей напряжений в процессе формирования тектонических структур месторождения. Наибольшая переориентация напряжений при формировании складок соответствует периклинальным замыканиям. Несмотря на противоположное направление действия максимальных главных напряжений относительно стран света, оба они ориентированы вкрест простирания крупных сколовых разломов взбросо-сдвигового характера, находящихся в районе измерений. Более высокое значение абсолютной величины напряжения на юго-западном замыкании обусловлено меньшим расстоянием до тектонического нарушения. Следовательно, различие между величинами напряжений связано не только с глубиной, о чем свидетельствует сравнение результатов измерений на разных участках [1-3].

Экспериментальный участок на горизонте 960 м находился на глубине 240 м, что на 90–140 м (за счет рельефа местности) меньше, чем на горизонте 930 м. Несмотря на то, что глубина от поверхности на горизонте 960 м меньше только в 1,4-1,5 раза, значения вертикальных напряжений оказались в 2,2–2,6 раза, а горизонтальных – в 1,6–2,0 раза ниже, по сравнению с горизонтом 930 м.

Такое значительное различие не может быть объяснено изменением гравитационных напряжений, а связано с тектоническими напряжениями, действующими на данных участках месторождения. На горизонте 960 м экспериментальный участок расположен на северном фланге известнякового ядра складки в районе Северного взброса, сместитель которого заполнен рудным материалом в виде джаспероидно-кварцевой брекчии. Как было показано выше, разрывные нарушения данного типа являются сформировавшимися разломами, не способствующими образованию зон с высокой концентрацией напряжений. На горизонте 930 м измерения проведены вблизи крупных сколовых взбросо-сдвиговых разломов с амплитудами перемещения более 100 м. Формирование этих разломов происходило на более позднем этапе и продолжается в настоящее время, что способствует образованию зон повышенной концентрации напряжений в прилегающих блоках массива.

Следовательно, различия в напряжениях на участках месторождения обусловлены в основном тектоническими составляющими полного тензора напряжений за счет разного влияния разрывных нарушений. Величины главных максимальных напряжений существенно зависят не только от глубины, но и от местоположения участка массива относительно тектонически активных разрывных нарушений. Так, в Южном штреке (горизонт 930 м) на глубине 330 м от поверхности измеренные главные напряжения составляют 35,1 МПа, а в районе ствола шахты “Новая” на глубине 460 м – 18,6 МПа, то есть почти в два раза меньше. Это связано с

тем, что экспериментальный участок в Южном штреке находится на расстоянии 25 м от крупного тектонического нарушения и тектоническая составляющая напряжений за счет его влияния достигает 17,1 МПа, а участок ствола шахты “Новая” удален от нарушения (Диагональный разлом) на расстояние 690 м, в результате чего его влияние на напряженное состояние практически не проявляется. Характерной особенностью максимальных главных напряжений является их ориентация вкрест простирания разломов, а углы отклонения от горизонтали не превышают 30–40°. Максимум тектонической составляющей напряжений находится в непосредственной близости от разлома и составляет 22 МПа. По мере удаления от тектонического нарушения на расстояние до 200 м напряжения снижаются в 2 раза, а на расстоянии 800 м составляют всего 1 МПа, то есть влияние разлома становится незначительным. Аналогичный характер распределения напряжений установлен и в результате ультразвуковых измерений [2,3].

Чонкойское месторождение расположено в центральной части Карачатырского антиклинария и состоит из ряда субпараллельных крупных антиклинальных и синклиналиных складок. На месторождении выделено три рудоносные зоны, сложенные в основном кварц-карбонатными породами. Рудоносные зоны примерно параллельны друг другу, азимут простирания 270–310°, угол падения на север в пределах 50–70°. Строение Южной зоны сравнительно однородно, а Северная зона характеризуется многочисленными апофизами и крупным флексурным изгибом. Нами были проведены сравнительные измерения напряжений на экспериментальных участках, расположенных на одном горизонте в Южной и Северной зонах. Исследуемые участки массива находились на одной глубине (Н=160 м), однако напряжения на них отличаются в несколько раз. Так, в Южной зоне вертикальные напряжения равны 4,2 МПа, а горизонтальные – 7,4–9,6 МПа или 1,7–2,2 Н. В Северной зоне в районе флексурного изгиба вертикальные напряжения равны 21,3 МПа, а горизонтальные – 19,2–21,7 МПа, что, соответственно, в 5 и 2,2–2,6 раз больше, чем в Южной зоне. Превышение напряжений свидетельствует о значительной величине тектонических сил, вызвавших образование складок и флексур. Максимальные напряжения, как и на других месторождениях, направлены в субмеридиональном направлении.

Статистическая обработка и обобщение результатов экспериментальных исследований проводились и на Хайдарканском месторождении. Для прогнозирования распределения напряжений в массиве с увеличением глубины до 400 м были привлечены данные по измерению напряжений, полученные на Хайдарканском месторождении и нами [2,3]. Их сравнения с расчетными по гипотезе А.П. Динника, что вертикальные напряжения, измеренные непосредственно в массиве, соответствуют расчетным и практически равны давлению веса

вышележащих пород до дневной поверхности. Величины горизонтальных напряжений превышают расчётные в 3–4 раза.

В результате статистического анализа экспериментальных данных и расчетов по зависимостям А.Н. Динника, Н. Хаста и И.Т. Айтматова установлено, что вертикальные напряжения, измеренные на разных глубинах, соответствуют расчетным и практически равны давлению веса вышележащих пород. Величины горизонтальных напряжений, определенных экспериментально в 3–4 раза превышают напряжения, рассчитанные по гипотезе А.Н. Динника, однако в 2–3 раза меньше, чем рассчитанные по зависимостям Н.Хаста в направлении, близком к меридиональному. В склоне выше уровня долины горизонтальное напряжение вдоль простирания хребта Катран минимально, а напряжение, действующее вкрест простирания хребта, повышено в 4 раза и превышает вертикальное. В нижележащем массиве под подножием хребта на глубинах до 400 м значения минимальных напряжений, действующих в широтном направлении, повышены в 2–3.4 раза за счет влияния гор, обрамляющих котловину на востоке, то есть, анизотропия горизонтальных напряжений выражена в меньшей степени.

Особенностью напряженного состояния массива пород на Хайдарканском месторождении является повышенное боковое давление, направленное субмеридионально вкрест простирания основных складчатых и разрывных структур. На участках массива в непосредственной близости от тектонических трещин образуются зоны повышенных и пониженных напряжений, значительно отличающихся от средних значений. Максимальная концентрация напряжений достигает $2\div 3\gamma H$. Аналогичное распределение исходных полей напряжений в массиве установлено на Терексайском и Чаувайском месторождениях

Реконструкция ориентировки главных напряжений по способу оценки геомеханического состояния породных массивов высокогорных месторождений [4] дала результаты, согласующиеся с данными, полученными методом разгрузки.

Таким образом, геомеханическое состояние структурно-неоднородных месторождений Юго-Западного Тянь-Шаня непосредственно связано с горизонтальным сжатием и деформированием земной коры в данном регионе. Субширотная ориентировка большинства мегаскладок соответствует субмеридиональному направлению главного сжатия. Данному условию ориентировки главных нормальных напряжений соответствуют и результаты непосредственных натуральных измерений напряжений различными методами. Разумеется, в пределах горно-складчатых структур могут выделяться определенные зоны или участки, геомеханическое состояние которых может оказаться в значительной мере иным, чем состояние массивов пород в целом по региону. В частности, гранитизация ранее тектонически нарушенных пород и снижение интенсивности сейсмотектонических процессов приводят не только к

определенным вещественным изменениям в массиве, но и меняют геомеханическую структуру пород и их напряженное состояние.

ВЫВОДЫ

При формировании напряженно-деформированного состояния горных массивов месторождений Тянь-Шаня, активную роль играла новейшая тектоника. Образование в массивах пород всякого рода дизъюнктивных нарушений сопровождается крайне неравномерным распределением напряжений. Зоны концентрации напряжений в районе нарушений образуются как за пределами сформировавшихся разломов, так и на участках этих разломов, за счет взаимных подвижек массивов пород по поверхностям разломов.

Структурная неоднородность массивов месторождений обуславливает неоднородное распределение напряжений на разных их участках. Зонам флексурных изгибов соответствуют более высокие значения напряжений. Характерной особенностью является то, что не только горизонтальные, но и вертикальные напряжения могут значительно превышать давление столба пород. Горизонтальные напряжения, как правило, превышают вертикальные и не равны между собой. Анизотропия горизонтальных напряжений вызвана направлением действия основных тектонических сил и влиянием рельефа местности. Максимальные напряжения ориентированы субмеридионально или вкрест простирания основной системы хребтов. При формировании асимметричных антиклинальных структур на периклинальном замыкании складок происходит переориентация главных горизонтальных напряжений.

Напряженное состояние массивов пород на разных месторождениях значительно различается. Так, на Кадамжайском месторождении уровень напряжений в 2–3 раза выше, чем на Хайдарканском. Это обуславливается тем, что величина тангенциального сжатия для разных районов и конкретных морфоструктур Тянь-Шаня различная и меняется от 0,01 до 0,3. Как правило, она значительно выше на границах смежных разнорежимных зон. Район Кадамжайского месторождения испытывает поднятие, а сопрягающаяся с ним Ферганская впадина – опускание. В районе же Хайдарканского месторождения хребет Катран и сопряженная с ним Хайдарканская долина испытывают общее поднятие, то есть находятся в однорежимной зоне. Поэтому массив пород Кадамжайского месторождения характеризуется повышенным напряженным состоянием по сравнению с Хайдарканским месторождением.

Выявленные закономерности позволяют сделать вывод о том, что крупные тектонические нарушения не просто вносят аномалии в общий фон напряженного состояния массива, но их активность способствует формированию нового напряженного состояния.

Проблема оценки геомеханического состояния породных массивов требует соответствующих обобщений, научной систематизации и

выявления геомеханических закономерностей в региональном масштабе и поиске закономерностей, общих для определенных классов структур месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч. Вариация локальных полей напряжений в верхней части земной коры/И.Т. Айтматов, К.Ч. Кожогулов// Монография “Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М.: Научный мир, 2005 г., с.262-270.
2. Мамбетов Ш.А., Абдиев А.Р., Мамбетов А.Ш. Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива Тянь-Шаня/Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов/. – Б., КРСУ, 2003. – 359 с.
3. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В. Комплексные экспериментальные исследования геомеханических процессов на месторождениях Кыргызстана /К.Ч. Кожогулов, О.В. Никольская//Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. Том 1, 2018.
4. Патент КР №2238. Способ оценки геомеханического состояния породного массива высокогорных месторождений. 2020 г.