

УДК 622.831 (575.2)

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА РТУТНО-СУРЬМЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КЫРГЫЗСТАНА

К.Т. Тажобаев, Ш.А. Абдибаитов, Р.Н. Ялымов

Рассмотрены некоторые результаты исследования напряженного состояния массива горных пород при подземной разработке ртутно-сурьмяных месторождений Кыргызстана.

Ключевые слова: остаточное напряжение; разлом; тектоника; напряженное состояние.

Все разрабатываемые рудные месторождения Кыргызской Республики расположены в горно-складчатой системе Тянь-Шаня, при формировании которой активную роль играла новейшая тектоника. Складчатые формы осложнены многочисленными разрывными структурами, что обусловило сложное строение массива и его исходное напряженное состояние.

Анализ условий формирования ртутно-сурьмяных месторождений Кыргызстана (Кадамджай, Хайдаркан, Терексай, Чонкой и др.) показал, что их образование тесно связано со структурно-тектонической деятельностью всего региона и проходило поэтапно. Тектоническое развитие структур Катранского антиклинория в районе Кадамджайского месторождения происходило после среднекарбонного времени вплоть до верхнепермского [1].

Как показал анализ результатов экспериментальных измерений, в сейсмогенных горных регионах пространственное распределение напряжений весьма неоднородное, прослеживается скачкообразное и периодическое их изменение даже в пределах 5–10 метров, часто горизонтальная составляющая напряжения превышает вертикальную, что не укладывается в рамки существующих представлений и теоретических расчетов напряжений. Такие экспериментальные результаты и высокие значения горизонтальных и вертикальных напряжений на небольших глубинах обусловлены наличием в породном массиве неоднородных по своей природе остаточных напряжений, характерных для горных пород месторождений, расположенных в сейсмоактивных горных регионах [2].

Современная форма структуры Кадамджайского месторождения представляется в виде антиклинальной (диапировой) складки, характерной особенностью которой является наличие крупного

широтного разлома практически по оси складки (Северный разлом). По этому разлому имеет место взброс, амплитуда перемещения по которому достигает 700 м. Возраст Северного взброса определяется как дорудный и неоднократно обновленный. Это нарушение служило основным рудопродводящим каналом месторождения.

В южной части месторождения образовался крупный Диагональный разлом сколового характера, по которому произошел крутопадающий взброс с амплитудой перемещения до 300 м. Взбросовый характер данного разлома свидетельствует о действии значительных сил в горизонтальном направлении. Диагональный взброс в отличие от Северного, имеет противоположное падение. Это связано с тем, что в ядре складки, испытывающей тектоническое давление с юга, действуют силы отпора. Упором является Северный разлом. Следовательно, механизм формирования Диагонального разлома соответствует действию максимальных главных напряжений в субмеридиональном направлении.

Формирование тектонических структур района Хайдарканского месторождения также проходило поэтапно. Начиная от среднего карбона рудное поле развивалось в обстановке формирования геоантиклинали. Последний этап развития структуры района соответствует альпийскому циклу тектогенеза. Механизм формирования структур аналогичен району Кадамджайского месторождения и также обусловлен горизонтальным сжатием, ориентированным преимущественно вкост простирания основных складчатых структур, то есть субмеридионально. Складчатые формы рудного поля осложнены многочисленными разрывными структурами, среди которых являются надвиги, взбросы и взбросо-сдвиги.

Рудные поля Хайдарканского месторождения располагаются вдоль южного склона и под подно-

жем 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 надвига падает к северу. С возрастанием глубины угол падения меняется от 50 до 70–80°. По плоскости этого надвига верхне-силурийская известняково-сланцевая толща хребта Ишме-Тау надвинута с севера на каменноугольные отложения Хайдарканского рудного поля. Несколько севернее выделяются надвиги (Катранбашинский и др.). Генетически следует рассматривать их как относительные сколы, развившиеся в обстановке сжатия и общего движения масс к югу.

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 [3].

Сложное структурное строение месторождений обуславливает и сложное напряженное состояние массива пород, которое неоднородно и зависит от тектонических структур участков месторождений. Поэтому с целью выявления основных закономерностей распределения полей напряжений в массиве пород были проведены экспериментальные работы, анализ и обобщение результатов исследований.

В настоящее время глубина разработки на Хайдарканском рудном месторождении составляет 200–700 м, а на Кадамджайском сурьмяном достигла 400–600 м. На Терексайском руднике глубина разработки несколько меньше и составляет 250–350 м. Освоение месторождений по площади в основном закончено, и дальнейшая добыча связана с увеличением глубины разработки, которая на рудниках Хайдарканского и Кадамджайского комбинатов в перспективе возрастет до 700–800 м.

На востоке Кадамджайского месторождения рудное тело и известняковое ядро складки выходят на поверхность. Измерения вблизи поверхности показали, что вертикальные напряжения равны 7,4 МПа, а горизонтальные – 3,4–4,9 МПа. Отсутствие отпора в вертикальном направлении ($\gamma H_z = 0,5$ МПа) означает, что в массиве действуют остаточные напряжения, т. е. напряженное состояние массива на поверхности не превращается в ноль, а имеет, в зависимости от структурных особенностей месторождения, какую-то величину.

На основании статистической обработки экспериментальных данных получены следующие зависимости изменения напряжений с глубиной на Кадамджайском месторождении [4]:

$$\sigma_{x,z} = 4 + 0,055 H, \text{ МПа}; \quad (1)$$

$$\sigma_y = 5 + 0,06 H, \text{ МПа, МПа}, \quad (2)$$

где σ_z – вертикальные напряжения, МПа; σ_x – напряжения в широтном направлении, МПа; σ_y – напряжения в меридиональном направлении, МПа; H – глубина, м.

Из выражений (1), (2) следует, что на поверхности при $H = 0$ напряжения не обращаются в ноль, что является одним из основных признаков действия в массиве остаточных напряжений.

Модули тектонических остаточных напряжений в непосредственной близости от поверхности составляют $T_0^{x,z} = 4$ МПа и $T_0^y = 5$ МПа. С возрастанием глубины напряжения в массиве увеличиваются за счет действия как гравитационных, так и тектонических сил. Однако зависимости (1), (2) характеризуют средние значения напряжений, действующих в соответствующих направлениях на данной глубине (фоновые напряжения). Как показали исследования, тектонические напряжения способствуют перераспределению напряжений в массиве. Причем образование тектонически напряженных зон зависит от типа разлома и его активности. Поэтому напряжения в массиве изменяются не только с глубиной, но и в пределах одного горизонта месторождения – как по величине, так и по направлению.

Измерениями методом разгрузки (ВНИМИ) на Кадамджайском 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 переклиналиальном замыкании складки величина максимального главного напряжения равна 40,1 МПа, а его ориентация субширотная (азимут 282°). На горизонте 960 м Северного штрека напряжения составили 20 МПа.

Несмотря на то, что глубина от поверхности на горизонте 960 м меньше только в 1,4–1,5 раза, значения вертикальных напряжений оказались в 1,0–1,6 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 с повышенной концентрацией 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.

Кроме того, 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 – 20,2 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 составляет 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 два 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.

Сравнительные измерения напряжений на экспериментальных участках Чонкойского месторождения, расположенных на одном горизонте в Южной и Северной зонах, показали, что хотя исследуемые участки массива находились на одной глубине ($H = 160$ 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 γH . В Северной зоне в районе флексурного изгиба вертикальное напряжение равно 21,3 МПа, что в 5 раз,

а горизонтальные – 19,2–21,7 МПа, что в 2,2–2,6 раза больше, чем в Южной. Превышение напряжений свидетельствует о значительной величине тектонических сил, вызвавших образование складок и флексур. Максимальные напряжения, как и на других месторождениях, направлены в субмеридиональном направлении.

На Хайдарканском месторождении определение напряжений проводилось на разных горизонтах и десяти участках [4].

Вертикальные напряжения, измеренные непосредственно в массиве, соответствуют расчетным и практически равны давлению веса налегающих пород до дневной поверхности. Величины горизонтальных напряжений, определенных экспериментально, значительно отличаются от расчетных. Экспериментальные горизонтальные напряжения по своим значениям в 3,0–4,0 раза превышают напряжения, рассчитанные по гипотезе А.Н. Динника.

Особенностью напряженного состояния массива пород на Хайдарканском месторождении является повышенное боковое давление, направленное субмеридионально вкрест простирания основных складчатых и разрывных структур [5]. На участках массива в непосредственной близости от тектонических трещин образуются зоны повышенных и пониженных напряжений, значительно отличающихся от средних значений. Экспериментальные работы по установлению напряженного состояния массива вблизи тектонических трещин проводились на горизонте 1730 м Заводского рудного поля в штреке 1715, проведенном в известняках в южном крыле структуры. Угол падения пачек известняков 5–25°. Напряженное состояние, обусловленное давлением веса налегающих пород, составляет $\gamma H = 4,7$ МПа. В процессе экспериментальных работ было пробурено две разгрузочные скважины. В результате при пересечении трещин происходило резкое изменение напряжений, причем горизонтальные напряжения, направленные вдоль простирания нарушений, могут менять знак на противоположный. Направление главных напряжений в основном совпадает с вертикалью и горизонталью. У плоскостей нарушений наблюдается максимум напряжений, концентрация которых достигает (2–3) γH . В блоках между трещинами происходит их выравнивание. Средняя величина напряжений близка к обусловленной весом пород налегающей толщи.

Аналогичное распределение исходных полей напряжений в массиве установлено на Терексайском и Чаувайском месторождениях [1, 4].

Таким образом, при формировании горно-складчатой системы Тянь-Шаня, где расположены

все месторождения Кыргызстана и крупные гидротехнические сооружения, активную роль играла новейшая тектоника. Складчатые формы осложнены многочисленными разрывными нарушениями, что обусловило сложное структурное строение месторождений и неравномерное повышенное напряженное состояние в районе активных разломов. Выявлено, что установленные у поверхности значительные по величине напряжения свидетельствуют о наличии в массиве остаточных напряжений, которые образовались в результате неравномерного упруго-пластического деформирования отдельных блоков и участков, а также неравномерного температурного поля. Рудные месторождения Кыргызстана имеют ряд характерных особенностей: сложные горно-геологические и геомеханические условия разработки, неравномерное оруденение, повышенное естественное напряженное состояние массива, разнообразие механических свойств руд и вмещающих пород, нарушенность массива пород тектоническими трещинами и разломами, которые оказывают существенное влияние на выбор систем разработки и устойчивость их конструктивных элементов.

Обобщение результатов экспериментальных работ показало, что характерной особенностью является то обстоятельство, что не только горизонтальные, но и вертикальные напряжения могут значительно превышать давление столба вышележащих горных пород. Кроме того, за счет блочного строения массива, структурных особенностей и изменчивости свойств вмещающих пород, напряжения в массиве с глубиной изменяются не однозначно и не по линейной, а по более сложной зависимости от глубины. Поэтому при определении параметров конструктивных элементов систем разработок и прогнозировании условий образования провалов на земной поверхности в зависимости от крепости пород и интенсивности трещиноватости, в расчетные формулы необходимо вводить соответствующее значение коэффициента структурного

ослабления породного массива. Известно, что чем больше степень трещиноватости массива горных пород, тем меньше его прочностные показатели и устойчивость горных пород при подработке [6].

На основе экспериментальных измерений как действующих в породном массиве напряжений, так и остаточных напряжений в блоках и кернах горных пород установлено, что неоднородность и периодический характер действующих в массиве напряжений обусловлены периодическим характером неоднородных по своей природе остаточных напряжений горных пород. Наличие высоких остаточных напряжений в локальных зонах, приуроченных к геологическим нарушениям и контактам магматических и метаморфических горных пород с менее плотными геологическими образованиями (уголь, осадочные породы) массива характерно для удароопасных месторождений [2].

Литература

1. *Айтматов И.Т.* Геомеханические условия в зонах очагов горных ударов и техногенных землетрясений / И.Т. Айтматов // Тр. межд. научн. конф. Бишкек: Илим, 2002.
2. *Тажибаев К.Т.* Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов / К.Т. Тажибаев. Фрунзе: Илим, 1989. 179 с.
3. *Чедия О.К.* Морфоструктуры и новейший тектоногенез Тянь-Шаня / О.К. Чедия. Фрунзе: Илим, 1988.
4. *Ялымов Н.Г.* Исходные поля напряжений в массиве пород в горных районах / Н.Г. Ялымов, О.В. Рогожников // Горный журнал. 1991. № 6.
5. *Ялымов Н.Г.* Управление горным давлением на подземных рудниках Кыргызстана / Н.Г. Ялымов, Р.Н. Ялымов // Горный журнал. 2002. № 10.
6. *Абдибаитов Ш.А.* Влияние структурных ослаблений на образование провалов земной поверхности / Ш.А. Абдибаитов // Тр. Ин-та горного дела им. Д.А. Кунаева. Ч. I. Т. 68. Алматы, 2004.