

**ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ
НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ**

Гидрогеологические свойства скальных массивов определяются главным образом, степенью тектонической нарушенности. Разломы, расположенные в одном скальном массиве, но имеющие разную ориентировку, нередко обладают различными фильтрационными показателями. Основную роль в обеспечении повышенных фильтрационных свойств разломов играет степень раскрытия и наличие взаимосвязи между системами трещин. Водопроницающие свойства трещин зависят также от их залеченности и от состава заполнителя. Указанные факторы в значительной степени связаны с условиями формирования и возрастом тектонического нарушения.

Важнейшее значение имеют неотектонические процессы, определяющие степень обновления старых, залеченных ранее трещин, и образование новых. Кроме того, неотектонические подвижки ведут к существенному изменению напряженного состояния массива вблизи тектонических нарушений. В условиях снижения действующих нормальных напряжений неотектонические трещины сохраняют свое раскрытие, а ранее образовавшиеся водопроницающие каналы увеличивают свои фильтрационные свойства. Таким образом, можно считать, что гидрогеологические свойства разломов в значительной степени определяются их обновлением в ходе современных тектонических подвижек.

Возможность проявления неотектонических процессов определяется современным напряженным состоянием массивов горных пород. При наличии данных, характеризующих поле современных напряжений, можно прогнозировать возможность неотектонических подвижек по существующим разломам. На основании тектонофизического анализа, выполненного для конкретного региона, можно выделить системы разломов, имеющих основное гидрогеологическое значение.

При анализе современного напряженного состояния массивов горных пород необходимо иметь сведения о направлении и величине главного горизонтального напряжения, а также количественные характеристики второго горизонтального и вертикального напряжений. При решении гидрогеологических задач обычно следует рассматривать состояние разломов на глубинах не более первых сотен метров.

В зависимости от того, находится ли рассматриваемый регион в условиях сжатия или растяжения, принципиально изменяются подходы к оценке напряженного состояния массива.

Подавляющее большинство горноскладчатых районов находится в зонах сжатия. Горизонтальное сжатие земной коры создает условия для деформирования ее части, прилегающей к земной поверхности, и установления предельно напряженного состояния в массиве горных пород. В этих условиях максимальную составляющую напряжений σ_1 образует активная тектоническая сила, действующая в горизонтальной плоскости. Действие этой силы уравнивается за счет влияния веса горных пород σ_3 . Промежуточное напряжение σ_2 , действующее в горизонтальной плоскости, обычно рассматривается как боковой отпор от σ_1 и σ_2 [3]. Важно отметить, что вблизи поверхности в условиях предельного напряженного состояния горных пород вертикальное напряжение в большинстве случаев меньше горизонтальных напряжений.

Известно, что при испытании образцов в условиях бокового давления разрушение образцов происходит по плоскостям, проходящим через

ось σ_2 и образующим с σ_1 угол α , изменяющийся в пределах от $45^\circ - \varphi/2$ до $90^\circ - \varphi$, где φ — угол внутреннего трения. Отсюда следует, что в условиях предельного напряженного состояния неотектонические движения могут проходить по разломам, линии пересечения которых на горизонтальной плоскости с σ_1 составляют угол, близкий к 90° . Следует также отметить, что плоскости обновляющихся или вновь образовавшихся разломов должны иметь угол с горизонтальной плоскостью от $45^\circ - \varphi'/2$ до $90^\circ - \varphi'$, где φ' — угол трения по контакту разлома.

При наличии сведений, характеризующих напряженное состояние конкретного района и физико-механические свойства пород, слагающих рассматриваемый массив, можно оценить возможность современных тектонических подвижек по конкретным разломам. На Среднем Урале многие годы разрабатывается Тагило-Кушвинская группа железорудных месторождений. Большинство из них детально изучены [2].

Характеристики напряженного состояния и углы трения (данные по Гороблагодатскому месторождению) представлены ниже:

Азимут направления σ_1 , град	155
σ_1 , МПа	18+0,03Н
σ_2 , МПа	10+0,03Н
σ_3 , МПа	0,04Н
φ , град.	24—39
φ' , град	24—32
φ , с заполнителем	7—18

В соответствии с теорией Кулона-Мора условие предельного напряженного состояния, когда действующие напряжения равны сопротивлению сдвигу, записывается как:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C,$$

где τ — касательные напряжения; σ_n — нормальные напряжения; C — сцепление.

При отсутствии связи между обломками и блоками горных пород, что можно считать характерным для разломов, условие предельного напряженного состояния принимает вид [1]:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi'.$$

Следовательно, современные подвижки по разломам могут происходить при

$$\frac{\tau}{\sigma_n} \geq \operatorname{tg} \varphi'.$$

Необходимо отметить, что принятое условие $C=0$ является вполне достоверным. Это связано с тем, что сцепление по зонам разломов, как правило, не превышает 0,1 МПа, а касательные напряжения значительно больше.

Известные зависимости для расчета касательных и нормальных напряжений [1] удобно использовать в виде:

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\delta,$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\delta,$$

где δ — угол падения плоскости разлома.

Результаты выполнения расчетов представлены в виде графиков зависимости $\tau/\sigma_n = f(\delta)$. Графики отражают положение участков разлома относительно земной поверхности ($H=0; 100; 200; 300; 400; 500$ м).

В обводненных разломах нормальное напряжение снижается на величину гидростатического давления (U):

$$\sigma'_n = \sigma_n - U,$$

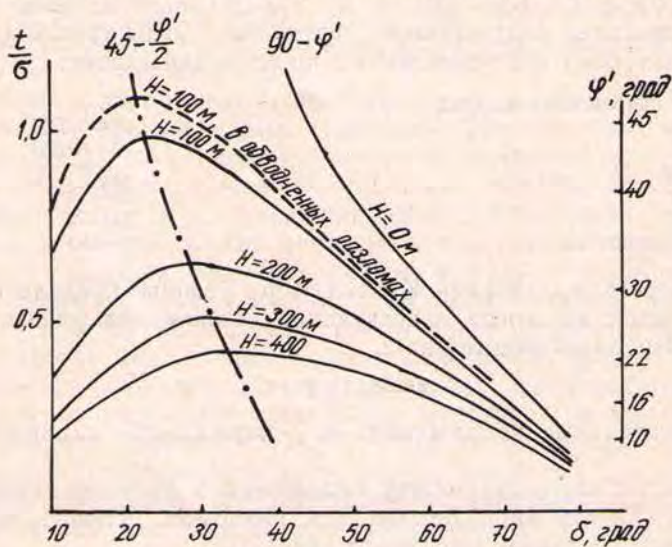
$$U = 0,01 H, \text{ МПа.}$$

Этот случай показан только на графике для приповерхностных условий.

Для удобства анализа в правой части рисунка помещена шкала φ' , рассчитанная по условию

$$\frac{\tau}{\sigma_n} = \text{tg } \varphi'.$$

Вероятность современных подвижек по разломам зависит от наличия заполнителя, длительности приложения напряжений и ряда других



Оценка современной активности тектонических нарушений

факторов, которые отражаются в значениях угла внутреннего трения. При сравнительных оценках можно опираться на среднее значение параметра $\varphi' = 16^\circ$.

Анализ результатов, приведенных в виде графиков, позволяет сделать ряд интересных выводов. Так, вблизи земной поверхности может происходить обновление разломов при довольно крутых углах падения ($\delta = 73^\circ$ при $\varphi' = 16^\circ$). При умеренных углах падения плоскости сместителя ($\delta \leq 60^\circ$) современные подвижки могут происходить независимо от наличия заполнителя, так как критическое значение составляет более 30° . При углах внутреннего трения более 30° также возможно образование современных тектонических нарушений.

Особо следует рассматривать вопрос о глубине, до которой развиваются неотектонические подвижки. В принципиальном плане разломы рассматриваемой ориентировки могут обновляться и вновь образовываться при условии, что вертикальные напряжения будут иметь меньшие величины, чем горизонтальные. Решение этого вопроса в строгой постановке требует детального обоснования. Ориентировочные оценки дают возможность считать, что указанное условие сохраняется на глубину в несколько сотен метров.

В связи с ростом вертикальных напряжений с глубиной и, соответственно, нормальных напряжений на плоскость сместителя разлома

вероятность новейших подвижек уменьшается. Вместе с тем, следует отметить, что обновление существующих разломов может происходить на значительных глубинах. Так, в соответствии с графиком, подвижки по разломам, имеющим угол падения 60° и $\varphi' = 16$, развиваются до глубины 300 м. При меньших углах падения и наличии заполнителя с низким значением неотектонические движения могут происходить до глубины 400—500 м.

Результаты теоретических расчетов были сопоставлены с фактическими данными. Для выявления основных направлений, по которым происходит движение подземных вод к горным выработкам, построены детальные карты гидронзогипс. Анализ этих карт позволил сделать однозначное заключение о том, что движение подземных вод в основном происходит по разломам, ориентировка которых соответствует вышеуказанному критерию. Следовательно, основными водопроводящими зонами являются тектонические нарушения, ортогональные в плане направлению главного горизонтального напряжения и имеющие определенный угол падения (от $45^\circ - \varphi'/2$ до $90^\circ - \varphi$).

Кроме гидрогеологических признаков, указывающих на обновление тектонических нарушений, имеют место инженерно-геологические явления. При углубке ствола шахты «Южная» на Гороблагодатском месторождении на глубине более 400 м была вскрыта зона разлома «Л», имеющая угол падения 70° и ориентировку, соответствующую рассматриваемым условиям. Зона сместителя заполнена сильно перемятым и раздробленным эпидот-хлоритовым материалом, имеющим низкий угол внутреннего трения (около 10°). В течение нескольких лет ствол на этом участке не углубляется из-за неоднократных вывалов материала заполнителя из зоны разлома. Указанные процессы позволяют предполагать, что, несмотря на значительную глубину от поверхности земли, по разлому происходят неотектонические подвижки.

Таким образом, выполненный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Основное гидрогеологическое значение имеют тектонические нарушения, которые обновляются в процессе неотектонических движений.
2. Повышенные фильтрационные свойства характерны для наклонных разломов, проекции которых в плане ортогональны направлению главного горизонтального напряжения.
3. Неотектонические подвижки по указанным разломам происходят на определенной глубине от поверхности. В зависимости от конкретных условий эти глубины могут достигать 400 м и более.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дашко Р. Э. Механика горных пород.— М.: Недра, 1987.—263 с.
2. Инструкция по креплению горизонтальных горных выработок и их сопряжений на железнорудных шахтах Урала и Казахстана.— Свердловск: Институт горного дела, 1986.—38 с.
3. Петухов И. М., Сидоров В. С., Карманский А. Т. К оценке величин главных напряжений в зонах сжатия земной коры // Геодинамика месторождений: Сб. науч. тр.— Кемерово: Кузбасский ПИ, 1990.— С. 6—17.