

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЯ В МАССИВЕ ПО МЕРЕ УГЛУБЛЕНИЯ ВЫЕМКИ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ РУДНОГО ТЕЛА**

Шомуродов Шавкат Махмуд угли

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

### **Аннотация:**

В статье представлено комплексное исследование формирования и развития деформаций растяжения в горном массиве по мере углубления выемки элементов залегания рудного тела. Актуальность работы обусловлена тенденцией к увеличению глубины подземной разработки рудных месторождений, что сопровождается существенным усложнением геомеханических условий и ростом рисков нарушения устойчивости горных выработок. Особое внимание уделено анализу напряжённо-деформированного состояния массива в приконтурных зонах очистных и подготовительных выработок, где при перераспределении горного давления возможно возникновение растягивающих деформаций даже при общем преобладании сжимающих напряжений.

В ходе исследования рассмотрено влияние глубины горных работ, морфологии и ориентации рудного тела, физико-механических свойств пород, степени трещиноватости и тектонической нарушенности массива на характер и интенсивность деформаций растяжения. Показано, что с увеличением глубины выемки возрастает уровень исходных напряжений, однако одновременно усиливаются процессы локальной разгрузки массива вблизи выработок, что приводит к расширению зон растягивающих деформаций в кровле и бортах выработок. Установлены закономерности смещения зон максимальных растягивающих деформаций вглубь массива и их взаимосвязь с геометрией выемочного пространства.

**Ключевые слова:** деформации растяжения, горный массив, подземная разработка, напряжённо-деформированное состояние, управление горным давлением, геомеханический анализ, рудное тело, устойчивость выработок.

### **Introduction**

Современное развитие горнодобывающей промышленности характеризуется устойчивой тенденцией к освоению рудных месторождений на всё больших глубинах. Истощение запасов полезных ископаемых, залегающих в приповерхностных горизонтах, обуславливает необходимость интенсификации подземных горных работ, что, в свою очередь, приводит к значительному усложнению геомеханических условий разработки. Увеличение глубины выемки сопровождается ростом исходного горного давления, изменением напряжённо-деформированного состояния массива и повышением вероятности опасных геодинамических проявлений, таких как обрушения, расслоения пород и потеря устойчивости горных выработок.

В условиях глубокого залегания рудных тел особую актуальность приобретает изучение деформаций растяжения в горном массиве. Несмотря на то что в массиве в целом преобладают сжимающие напряжения, в приконтурных зонах подземных выработок в результате перераспределения напряжений формируются локальные области растягивающих деформаций. Именно эти зоны являются наиболее уязвимыми с точки зрения устойчивости кровли и бортов выработок, так как горные породы, как правило, обладают значительно меньшей прочностью на растяжение по сравнению со сжатием. Анализ напряжённо-деформированного состояния горного массива показывает, что характер и интенсивность деформаций растяжения зависят от целого ряда факторов, среди которых глубина разработки, морфология и ориентация рудного тела, физико-механические свойства вмещающих пород, степень трещиноватости и тектонической нарушенности массива. При увеличении глубины выемки возрастает уровень исходных напряжений, однако одновременно усиливаются процессы локальной разгрузки массива вблизи выработок, что приводит к изменению траекторий главных напряжений и формированию зон растяжения в кровле и бортах выработок.

Особенно сложные геомеханические условия возникают при пересечении подземных выработок с элементами залегания рудного тела, а также при разработке крутых и наклонных рудных тел на больших глубинах. В таких условиях наблюдается интенсивное развитие вторичной трещиноватости, расслоение пород и переход минимального главного напряжения в область растягивающих значений, что существенно снижает устойчивость массива и увеличивает требования к параметрам крепления и системам управления горным давлением.

**Таблица-1 Основные геомеханические факторы формирования деформаций растяжения**

Геомеханический фактор	Проявление в массиве	Влияние на деформации растяжения
Глубина разработки	Рост исходных напряжений $\sigma_0$	Увеличение локальных зон разгрузки и растяжения
Морфология рудного тела	Изменение мощности, угла падения	Асимметричное перераспределение напряжений
Физико-механические свойства пород	Низкая прочность на растяжение $\sigma_t$	Повышенная склонность к раскрытию трещин
Трещиноватость массива	Наличие естественных и вторичных трещин	Формирование и развитие зон растяжения
Тектонические нарушения	Разломы, зоны дробления	Концентрация растягивающих деформаций
Геометрия выработок	Большие пролёты, сопряжения	Увеличение протяжённости зон растяжения

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых анализу напряжённого состояния горных массивов, вопросы формирования и развития деформаций растяжения в условиях углубления выемки элементов залегания рудных тел остаются недостаточно изученными. В большинстве работ основное внимание уделяется

сжимающим напряжениям, тогда как растягивающие деформации, играющие ключевую роль в процессах разрушения пород, рассматриваются фрагментарно. В этой связи проведение комплексных исследований, направленных на выявление закономерностей формирования деформаций растяжения и их влияния на устойчивость подземных выработок, является актуальной научной и практической задачей. Целью настоящей работы является исследование состояния деформаций растяжения в горном массиве по мере углубления выемки элементов залегания рудного тела, а также выявление закономерностей их пространственного распределения и влияния на устойчивость горных выработок. Полученные результаты предназначены для использования при обосновании параметров крепления, выборе рациональных систем разработки и разработке эффективных мероприятий по управлению горным давлением, направленных на повышение безопасности и эффективности подземных горных работ.

Геомеханические предпосылки формирования деформаций растяжения: Формирование деформаций растяжения в горном массиве при подземной разработке рудных тел является следствием сложного взаимодействия природных и техногенных факторов, определяющих напряженно-деформированное состояние массива. Несмотря на то что в условиях глубинного залегания рудных тел в массиве в целом доминируют сжимающие напряжения, в приконтурных зонах горных выработок создаются условия для возникновения локальных областей растяжения. Это обусловлено перераспределением горного давления в результате образования выемочного пространства и нарушением первоначального равновесия напряжений.

**Таблица-2 Соотношение прочностных характеристик горных пород**

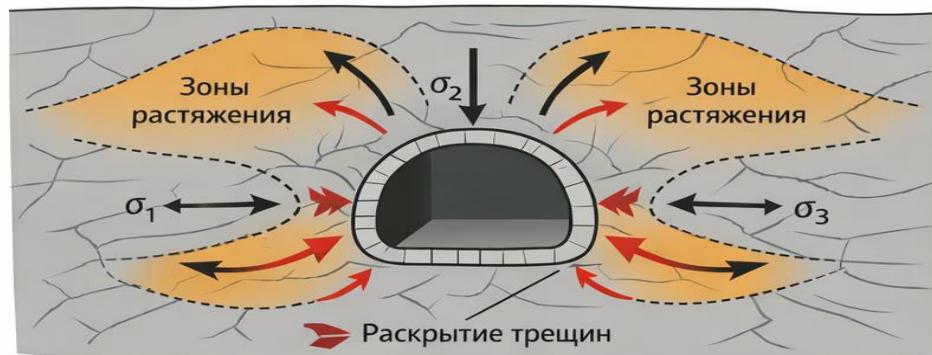
Показатель	Обозначение	Типичные значения
Прочность на сжатие	$\sigma_c$	80–250 МПа
Прочность на растяжение	$\sigma_t$	5–20 МПа
Отношение $\sigma_c / \sigma_t$	—	8–15
Модуль упругости	E	10–60 ГПа
Коэффициент Пуассона	$\nu$	0,20–0,30

Одной из ключевых геомеханических предпосылок формирования деформаций растяжения является изменение траекторий главных напряжений вблизи контуров выработок. При проведении очистных и подготовительных выработок происходит разгрузка массива, сопровождающаяся снижением нормальных напряжений, действующих перпендикулярно контуру выработки. В результате минимальное главное напряжение может уменьшаться до нулевых или отрицательных значений, переходя в область растягивающих напряжений. Учитывая, что прочность горных пород на растяжение в 8–15 раз ниже их прочности на сжатие, даже незначительные растягивающие напряжения могут приводить к развитию трещин и локальных разрушений.

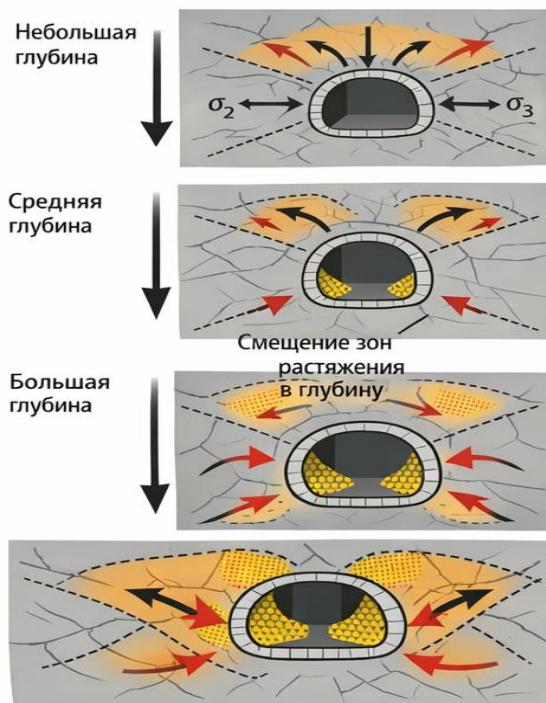
Существенное влияние на характер и интенсивность деформаций растяжения оказывает глубина ведения горных работ. С увеличением глубины возрастает уровень исходных

тектонических и гравитационных напряжений, однако одновременно усиливаются процессы локальной разгрузки массива вблизи выработок. Это приводит к формированию протяжённых зон растяжения в кровле и бортах выработок, особенно в условиях неоднородного строения массива и при наличии контрастных по физико-механическим свойствам пород.

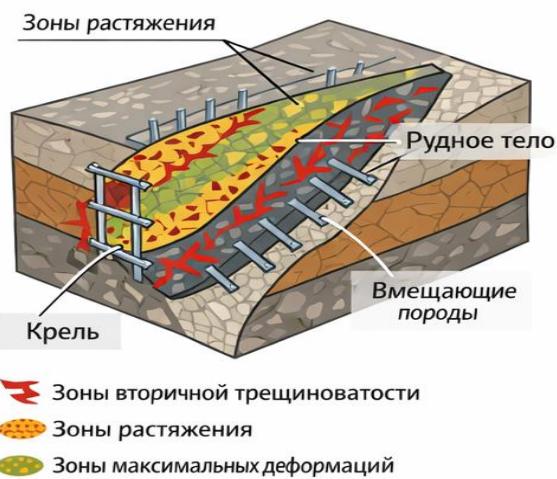
**Схема 1 – Формирование зон растяжения вокруг подземной выработки**



**Схема 2 – Влияние глубины разработки на развитие деформаций растяжения**



**Схема 3 – Геомеханическая модель формирования деформаций растяжения**



Важным геомеханическим фактором является морфология и пространственная ориентация рудного тела. При разработке крутых и наклонных рудных тел наблюдается асимметричное перераспределение напряжений, что способствует образованию зон растяжения в определенных участках выемочного пространства. Наибольшая

концентрация растягивающих деформаций, как правило, формируется в зонах пересечения горных выработок с элементами залегания рудного тела, а также в местах изменения его мощности и угла падения.

Дополнительной предпосылкой развития деформаций растяжения является трещиноватость и тектоническая нарушенность массива. Наличие систем естественных трещин снижает общую жёсткость массива и облегчает раскрытие трещин под действием растягивающих напряжений. При этом происходит интенсивное развитие вторичной трещиноватости, ориентированной преимущественно по направлениям действия главных напряжений. В условиях глубоких горизонтов такие процессы могут носить прогрессирующий характер и приводить к потере устойчивости кровли и бортов выработок.

Формирование деформаций растяжения также тесно связано с технологическими факторами ведения горных работ. Геометрия выемочного пространства, размеры и форма выработок, последовательность их проведения, а также применяемые системы разработки оказывают существенное влияние на перераспределение напряжений в массиве. Увеличение пролёта выработок, наличие сопряжений и пересечений, а также несвоевременная установка крепи способствуют расширению зон растяжения и увеличению их интенсивности.

Таким образом, геомеханические предпосылки формирования деформаций растяжения в горном массиве обусловлены совокупным воздействием глубины разработки, морфологии рудного тела, физико-механических свойств и трещиноватости пород, а также технологических параметров ведения горных работ. Учёт указанных факторов при проектировании и эксплуатации подземных выработок является необходимым условием обеспечения их устойчивости и эффективного управления горным давлением.

**Влияние глубины выемки на развитие деформаций растяжения:** По мере углубления выемки элементов залегания рудного тела возрастает уровень исходных напряжений в массиве. Однако в зоне влияния горных выработок наблюдается неравномерное перераспределение напряжений. Часть энергии напряжённого состояния высвобождается, формируя зоны пониженных напряжений, в которых возможно развитие растягивающих деформаций.

Анализ показывает, что с увеличением глубины:

- расширяется зона нарушенных пород вокруг выработок;
- возрастает интенсивность деформаций растяжения в кровле и бортах выработок;
- увеличивается вероятность образования вторичных трещин и расслоений.

При определённых условиях растягивающие деформации могут достигать критических значений, приводя к потере устойчивости элементов массива и обрушениям.

**Механизм формирования зон растяжения.** Механизм образования деформаций растяжения связан с изменением траекторий главных напряжений вблизи выемочных пространств. В процессе углубления выемки:

1. Происходит разгрузка массива в направлении свободной поверхности.
2. Главные сжимающие напряжения перераспределяются, смещаясь вглубь массива.

3. В приконтуарной зоне формируются области, где минимальное главное напряжение  $\sigma_3$  принимает растягивающие значения.

Данные зоны наиболее опасны в кровле выработок и в участках пересечения выработок с элементами залегания рудного тела.

Практическое значение результатов исследования. Установленные закономерности развития деформаций растяжения имеют важное прикладное значение для подземной разработки рудных месторождений. Полученные результаты позволяют:

- прогнозировать зоны потенциальной неустойчивости массива;
- обосновывать параметры крепления и схемы поддержания выработок;
- выбирать рациональные системы разработки с учётом глубины и ориентации рудного тела;
- оптимизировать мероприятия по управлению горным давлением.

Проведённый анализ показал, что по мере углубления выемки элементов залегания рудного тела в горном массиве формируются и развиваются зоны деформаций растяжения, оказывающие существенное влияние на устойчивость горных выработок. Интенсивность и пространственное положение этих зон зависят от глубины разработки, геомеханических свойств пород и условий залегания рудного тела. Учёт выявленных закономерностей при проектировании и ведении подземных горных работ позволяет повысить безопасность и эффективность добычи полезных ископаемых.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Автюховский Б.Г., Казачков В.Н. Геомеханика подземной разработки рудных месторождений. — М.: Недра, 2005. — 432 с.
2. Вороненко В.Ф., Крюков Ю.А., Марков А.В. Геомеханика горных пород. — СПб.: Горная книга, 2014. — 576 с.
3. Егоров В.В. Основы теории напряжённого состояния горных массивов. — М.: Машиностроение, 2010. — 368 с.
4. Кузнецов В.М. Теория разрушения горных пород и устойчивости выработок. — Екатеринбург: УрГУ, 2012. — 304 с.
5. Липатов А.П., Смирнов С.Д. Геомеханический анализ напряженно-деформированного состояния массивов при подземной разработке. — Новосибирск: Наука, 2016. — 392 с.
6. Морозов Ю.И., Шевченко Е.А. Геотехнические основы управления горным давлением. — М.: Горная книга, 2018. — 448 с.