

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ НА
УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ ВЫЕМОК ГОРНЫХ ДОРОГ
В ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ****ASSESSING THE IMPACT OF FRACTURED ROCK MASSES ON THE SLOPE
STABILITY RECESSES MOUNTAIN ROADS IN THE MOUNTAIN- FOLDED AREAS**

Тоо жантайма массивинин геологиялык түзүлүшүнүн блоктуктун жана жаракалуулуктун түзүлүшүнө болгон таасири аныкталды. Жантаймадагы жол чункурларынын туруктуулугун аныктоочу негизги факторлору болуп, блоктун байланыш шарттары жана тепкичтин бийиктиги h структуралык блоктун түзөлчөмүнө h болгон катышы аталат.

Ачык сөздөр: тоо жолдору, массивдин жаракасы, туруктуулук, аң-чөнөктөрдүн тереңдиги.

Установлено влияние геологического строения массива горного склона на формирование трещиноватости и блочности. В блочном массиве, в зависимости от размера блока разрушение откосов происходит в виде сдвига или опрокидывания в сторону выработанного пространства. Основными факторами, определяющими устойчивость откосов выемок на склоне являются условия на контактах блоков и отношение высоты уступа h к линейным размерам структурного блока l .

Ключевые слова: горные дороги, трещиноватость массива, устойчивость, откосы выемок.

The influence of the geological structure of the massif of mountain slope on the formation fracturing and blocking is determined. The main factors determining slope stability of road excavations on the slope are the conditions at the contact blocks and the height ratio of ledge h to the linear dimensions l of the structural unit.

Keywords: mountain roads, stability, slopes of coulisses.

Дорожная сеть Кыргызской Республики обеспечивает до 95 процентов пассажирских и грузовых перевозок в Кыргызской Республике. Трассы дорог проходят в сложных горно-геологических условиях: по горным склонам, вдоль рек, на перевалах. При этом, нередко случаи, когда транспортные перевозки существенно сдерживались за счет проявления опасных склоновых процессов, приводящих к нарушению геотехнической системы «склон-дорожная выемка».

Основные причины, приводящие к нарушению устойчивости этой геотехнической системы условно можно разделить на природные (геологическое строение и структура, естественное напряженное состояние склона, свойства пород и массива), природно-техногенные (активизация естественных склоновых процессов при строительстве и эксплуатации дороги на горном склоне или его подножии) и техногенные, создание условий для возникновения и развития склоновых процессов. На основании анализа инженерно-геологических особенностей склонов (естественное напряженное состояние, физико-механические свойства пород и массива), тектоники, установлено, что основными причинами нарушения устойчивости склонов и откосов является сложное геологическое строение, нарушение природного склона массива тектоническими разломами различного уровня, и несоответствие параметров дорожной выемки геомеханическому состоянию породного массива [1].

Строительство и эксплуатация автомобильных дорог в горно-складчатых областях связаны рядом специфических проблем, одной из которых является защита дороги от опасных геологических процессов.

Проектирование горных дорог является наиболее важным и ответственным моментом в обеспечении устойчивости откосов дорожных выемок и безопасности как при строительстве, так и при эксплуатации.

Горная дорога на горных склонах и их подножьях неизбежно оказывает негативное воздействие на геологическую среду и изменяет сложившееся природное равновесие. Нарушается естественное напряженное состояние породного массива горных склонов. Вертикальные напряжения определяются весом налегающих пород, а горизонтальные напряжения в приоткосном массиве не равны между собой. Горизонтальные напряжения в склоне, действующие в направлении непосредственно откоса, зависят от физико-механических свойств пород, слагающих склон, веса налегающих пород и модуля сдвига. Горизонтальные напряжения, действующие параллельно склону, определяются весом налегающих пород и коэффициентом Пуассона.

Геотехническая система «склон-дорожная выемка» в зависимости от высоты склона и месторасположения будет иметь различную степень устойчивости. В зоне вечной мерзлоты на высоте 3700-5000 м на склонах проявляются отдельные вывалы пород, а в результате сезонных колебаний температуры породы начинают разрушаться, образуя обвалы и крупнообломочные осыпи. В высоких предгорьях температура воздуха повышается, её колебания менее резкие, появляется растительность. На высотах 2500-3700 интенсивно развиваются осыпи и отдельные оползни. В зоне альпийских лугов (1000-2500) повсеместно развиваются оползни линейного и площадного характера, а на высотах 1000-800 м над уровнем моря преобладают селевые потоки.

Свойства пород, слагающих горные склоны, являются основным фактором устойчивости геотехнической системы, однако следует учитывать и свойства массива. В склонах сложенной одной породой, но различного генезиса с различной степенью трещиноватости и блочности геотехнические объекты будут обладать различной устойчивостью. Оценка геологической среды при проектировании дороги на склоне должна проводиться в сочетании с геомеханической, т.е. наряду с выявлением особенностей залегания пород склона и физико-механических свойств пород, следует учитывать структуру приоткосного массива склона и данные лабораторного тестирования пород пересчитывать непосредственно на массив с учетом блочности и трещиноватости, а также оценить напряженное состояние склона, на котором планируется строительство геотехнического объекта.

Оценить устойчивость склонов и откосов выемок горных дорог – это определение возможности проявления и степени опасности активизации склоновых процессов в данных инженерно-геологических условиях и заданных параметрах дорожной выемки на склонах. Геологическая среда, подвергаясь техногенному воздействию, изменяет своё состояние: на сформировавшуюся блочность массива накладывается трещиноватость от взрывов, изменяются свойства пород и массива, т.е. изменяется геомеханическая среда. Существующие методы расчета и оценки устойчивости приоткосного массива не позволяют с достаточной степенью достоверности учесть геомеханическую неоднородность блочного массива и оценить устойчивость откосов дорожных выемок на склоне.

Установлено, что тип трещиноватости массива зависит от генезиса пород и массива: в осадочных породах трещины формируются по контактам слоев параллельно напластованию; в магматических - трещиноватость носит хаотический характер; в метаморфических - формируется блочное строение массива.

В осадочных породах трещины формируются по контактам слоев параллельно слоистости. Расстояние между трещинами зависит от процесса осадконакопления и от прочностных свойств пород. В магматических породах выделяют первичные трещины,

возникающие в кристаллизующемся расплаве. При быстром остывании магмы растрескивание идет по более многочисленным трещинам и трещиноватость носит хаотический характер. В метаморфических породах основным видом трещиноватости является кливаж различного масштабного уровня в таких породах формируется блочное строение массива[2].

Для метаморфических пород, слагаемых склона и дорожные выемки на них характерны следующие характеристики:

Низкая пористость от 0,3-0,6% и как следствие низкое водопоглощение – не более 4%;

Прочность пород при сжатии на порядок больше прочности этих же пород при растяжении, соответствует высокой хрупкости пород

Прочностные показатели пород после полного водонасыщения снижается до 30%, сцепление пород снижается в 1,2-1,3 раза, при этом угол внутреннего трения пород практически не изменяется;

С глубиной наблюдается изменение значений прочностных свойств горных пород. Прочностные свойства заполнителя трещин при естественной влажности в среднем составляют: угол внутреннего трения от 7° до 28° и сцепление от 0,001МПа до 0,06МПа, а при влажности больше 18% нарушается связность[3].

Для массива горных пород свойственны структурные неоднородности. Большинство из них носит характер закономерного распространения в пространство, вследствие чего массивы пород можно представлять сложенными из отдельных структурных блоков различных размеров. По размерам блоков выделяется несколько порядков неоднородностей: структурные нарушения на уровне минеральных зерен; микротрещиноватость, образующая блоки размерами до десятков сантиметров; макротрещиноватость (блоки размерами до нескольких метров) и крупные геологические нарушения, соизмеримые с масштабами месторождений в целом.

На качество приоткосного массива дорожной выемки на горном склоне, а следовательно и на его устойчивость существенное влияние оказывает размер блока. Влияние отношения размера блока к высоте откоса на качество массива (h/l) приведено на Рис.1.

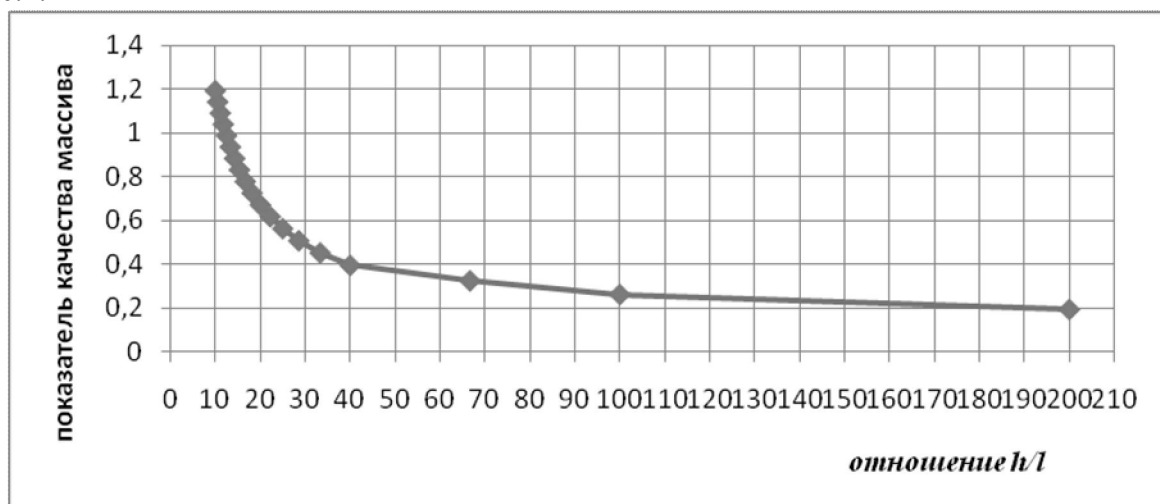


Рис. 1. Влияние структурной нарушенности приоткосного массива склона на показатель прочности массива

На прочностные характеристики трещиноватого массива свое влияние оказывает фактор интенсивности трещиноватости, который выражается количеством трещин в единице длины [4].

$$c_1 = c * \left(\frac{H}{h}\right)^{-0.6} \quad (1)$$

где H/h - интенсивность трещиноватости, т.е. величина, обратная среднему размеру (в метрах) элементарного блока породы, ограниченного смежными трещинами (количество трещин в 1 метре). C_l - сцепление в массиве, C – сцепление в образце.

Отношение C_l к C представляет собой коэффициент структурного ослабления.

В наиболее слабых участках структурных блоков, ограниченных трещинами разрыва, появляются сколовые трещины. Согласно Г.Л. Фисенко [5], в этом проявляется масштабный эффект, оцениваемый коэффициентом структурного ослабления:

$$\lambda = \frac{k_{об}}{k_{cmp}} \quad (2)$$

где $k_{об}$ – показатель прочности исследуемого объема в массиве пород; k_{cmp} – показатель прочности структурного блока.

Коэффициент структурного ослабления не является величиной постоянной и зависит от степени структурной раздробленности $l_{об}/l_{cmp}$, прочности структурных блоков, ориентировки поверхностей ослабления массива (трещин) к направлению нормальных напряжений и масштабного фактора.

$$c_{об} = c_m + \frac{c_{cmp} - c_m}{1 + a \ln \left(\frac{l_{об}}{l_{cmp}} \right)} \quad (3)$$

Чем больше $l_{об}/l_{cmp}$, тем большее число факторов начинают влиять на коэффициент структурного ослабления, величина его уменьшается, т.е. прочность массива становится ниже.

Результаты выполненных расчетов по оценке влияния структурной нарушенности на коэффициент структурного ослабления для пород прочностью при сжатии 170МПа для высоты откоса 10м и изменении размера структурного блока от 0,05м, до 10м приведены на Рис.2.

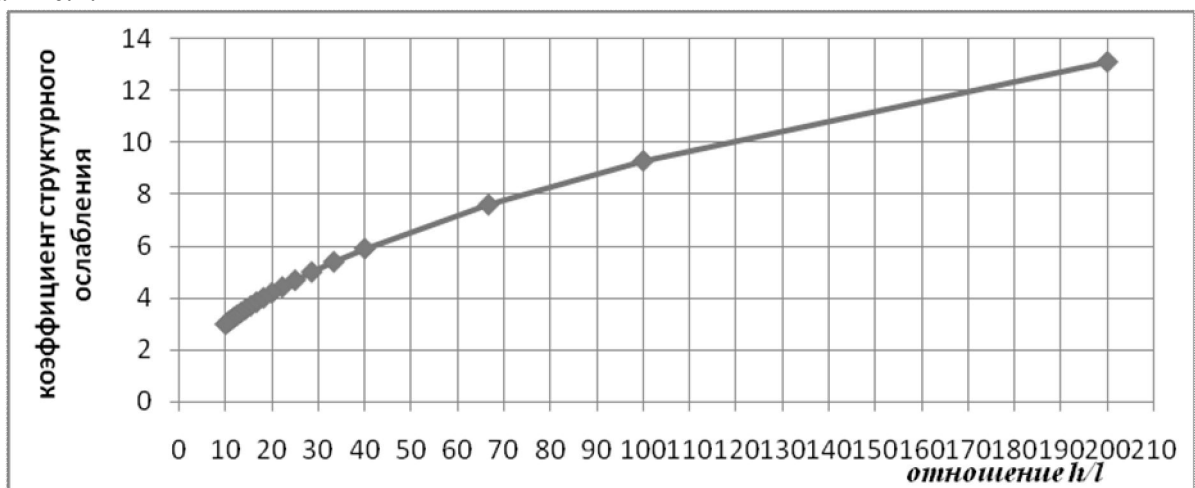


Рис. 2. Влияние нарушенности массива на величину структурного ослабления

Для массива горных пород свойственны структурные неоднородности. Большинство из них носит характер закономерного распространения в пространство, вследствие чего массивы пород можно представлять сложенными из отдельных структурных блоков различных размеров. По размерам блоков выделяется несколько порядков неоднородностей: структурные нарушения на уровне минеральных зерен; микротрещиноватость, образующая блоки размерами до десятков сантиметров; макротрещиноватость (блоки размерами до нескольких метров) и крупные геологические нарушения, соизмеримые с масштабами месторождений в целом [4-7].

Установлено, что наличие систем трещин в приоткосном массиве склона дорожной выемки формирует блочное строение и приводит к дизъюнктивным нарушениям с потерей устойчивости отдельных блоков, при этом общая устойчивость откоса сохраняется.

В блочном массиве, в зависимости от размера блока (геологического индекса массива пород), разрушение борта происходит в пределах наиболее неустойчивого уступа в виде сдвига или опрокидывания в сторону выработанного пространства. Поверхность скольжения представляет собой ломаную линию, состоящую из площадок поверхности трещин, ограничивающих блок.

Основными факторами, определяющими устойчивость откоса дорожной выемки являются условия на контактах блоков и отношение высоты уступа h к линейным размерам структурного блока l . При высоте уступа $h=10$ метров и изменении соотношении расстояния между трещинами $l=0.05-10$ значение коэффициента структурного ослабления увеличивается от 2 до 14, показатель прочности массива изменяется от 0,2 до 1,36

$$\sigma_m = C_\tau + \frac{C_\delta - C_\tau}{1 + \ln\left(\frac{h_y}{l_\delta}\right)} \quad (4)$$

В целях оценки влияния блочности на сцепление пород в массиве проведены тестовые расчеты для оценки влияния раздробленности массива на показатель прочности массива. Результаты расчетов приведены в табл.1.

Таблица 1 - Результаты расчета по оценке влияния раздробленности массива на показатель прочности массива

Размер структурного блока	Сцепление пород в образце С = 4МПа		Сцепление пород в образце С = 6МПа		Сцепление пород в образце С = 8МПа	
	Показатель качества массива	Сцепление в массиве	Показатель качества массива	Сцепление в массиве	Показатель качества массива	Сцепление в массиве
0,05	0,19	0,008	0,23	0,009	0,27	0,011
0,15	0,26	0,016	0,30	0,019	0,35	0,021
0,30	0,45	0,055	0,51	0,061	0,56	0,068
0,45	0,62	0,096	0,68	0,105	0,74	0,115
0,60	0,78	0,144	0,85	0,156	0,91	0,168
0,75	0,94	0,197	1,01	0,213	1,08	0,228
0,8	0,99	0,217	1,06	0,233	1,14	0,249
1	1,19	0,299	1,27	0,320	1,35	0,340

На прочностные свойства массива существенное влияние оказывает степень его раздробленности и свойства контактов между блоками. В расчетах принято, сцепление пород в образце равным 4 МПа, свойства заполнителя задавали в долях от сцепления в массиве. Ниже приведена зависимость показателя прочности массива от свойств заполнителя контактов (Рис.3.).

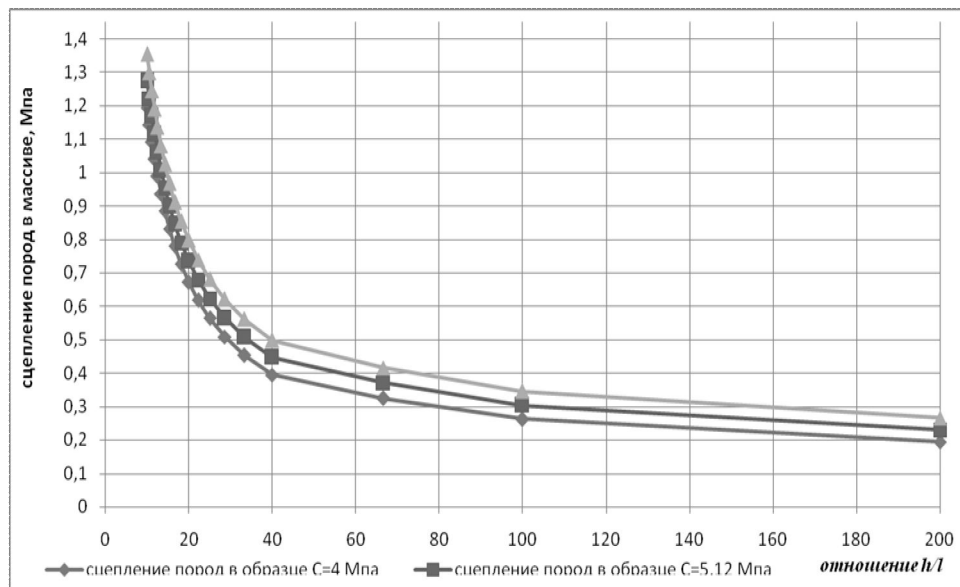


Рис. 3. Зависимость показателя прочности массива от свойств заполнителя контактов между блоками

На основании анализа графика изменения сцепления пород в массиве от степени раздробленности массива выявлено, что уменьшение сцепления в массиве практически на 70% происходит при размере блока, составляющем от 5% до 25% высоты уступа. С увеличением размера блока снижение сцепления происходит плавно.

Одновременно были произведены тестовые расчеты влияния заполнителя межблоковых трещин на показатель прочности массива.

В качестве исходных данных аналогичные параметры борта, откосов, сцепление пород в массиве приняты равной 4 МПа. Условия на контакте задавали в интервале от 0,4 МПа до полного сцепления, т.е. 4 МПа. Полученные результаты представлены на Рис.4.

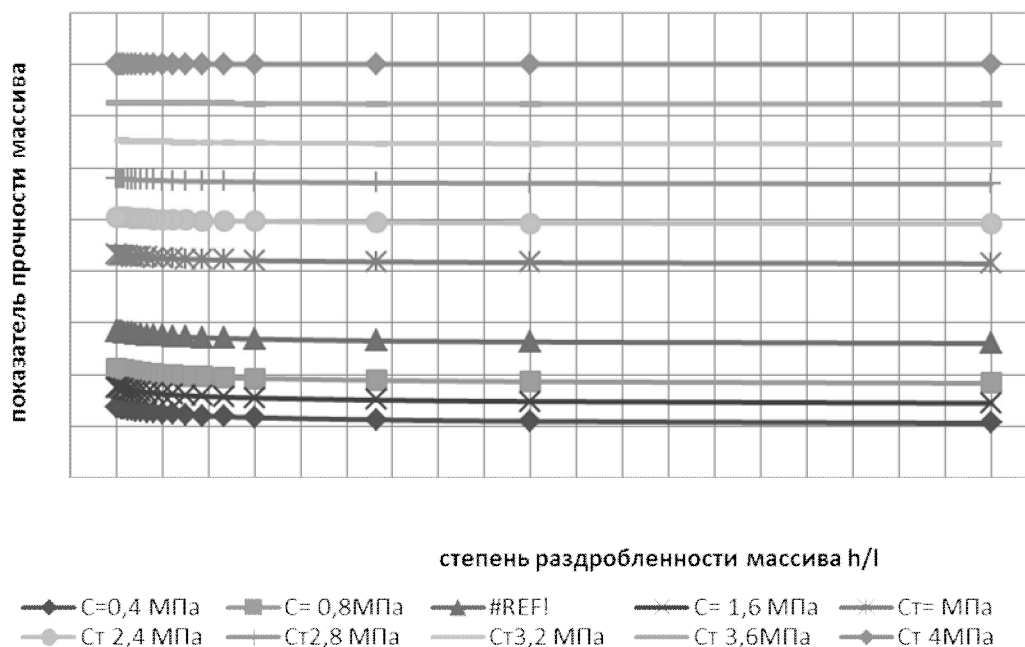


Рис. 4. Влияние заполнителя межблоковых трещин на показатель прочности массива. На основании полученных результатов выявлено, что основное влияние на прочность массива влияют степень нарушенности и свойства заполнителя межблокового пространства.

Выводы

В горно-складчатых областях наличие систем трещин в приоткосном массиве склона дорожной выемки формирует блочное строение, которое приводит к нарушениям с потерей устойчивости отдельных блоков, при этом общая устойчивость откоса сохраняется.

В блочном массиве, в зависимости от размера блока (геологического индекса массива пород), разрушение борта происходит в пределах наиболее неустойчивого уступа в виде сдвига или опрокидывания в сторону выработанного пространства. Поверхность скольжения представляет собой ломаную линию, состоящую из площадок поверхности трещин, ограничивающих блок.

Основными факторами, определяющими устойчивость уступа или борта являются условия на контактах блоков и отношение высоты уступа h к линейным размерам структурного блока l . При высоте уступа $h=10$ метров и изменении соотношении $h/200$ до 1 ($l=0.05-10$) значение коэффициента структурного ослабления увеличивается от 2 до 14, показатель прочности массива изменяется от 0,2 до 1,36

Список литературы

1. Кожогулов К.Ч. Принципы безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации горных дорог [Текст]/ К.Ч.Кожогулов, О.В.Никольская, Р.С.Картанбаев, Н.Ч.Сулайманов // ИФМГП НАН КР. – Бишкек:Илим,2006. - 187с.

2. Чернышов С.Н. Трещиноватость горных пород и её влияние на устойчивость откосов[Текст] / С.Н.Чернышев. - М.: Недра, 1984. – 111с.

3. Кожогулов К.Ч. Никольская О.В., Кадыралиева Г.А Особенности свойств горных пород в зонах влияния тектонических нарушений золоторудных месторождений Кыргызстана. [Текст] / К.Ч. Кожогулов,О.В. Никольская, Г.А. Кадыралиева // Мат. научно-практической конф. - Пермь: 2014.

4. Медведев Р.В. Структурные неоднородности и их роль в формировании свойств горных пород [Текст]// Р.В. Медведев, Э.В. Каспарян, Г.А. Ковалева // ФТПРПИ. – 1972. – №2. – С. 25-37.

5. Казикаев Д.М. Геомеханические процессы при совместной и повтор ной разработке руд[Текст] / Д.М. Казикаев. – М.: Недра, 1981. – 288 с.

6. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок[Текст] / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976. – 272 с.

7. Дзевомский Я. Инженерно-геологические исследования при гидротехническом строительстве [Текст]/ Я. Дзевомский, И.С. Комаров, Л.А. Молоков, Ф. Рейтер. – М.: Недра, 1981. – 352 с.