

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

Управление кадров и учебных заведений

ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ  
КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ

Методические рекомендации

Свердловск  
1986

**ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ  
СПЕЦИАЛИСТОВ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

**Кафедра горного дела и обогащения**

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ  
КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ**

**Методические рекомендации**

**Свердловск  
1986**

Методические рекомендации "Инженерно-геологическое районирование карьерных полей" предназначены работникам геолого-маркшейдерской службы горных предприятий с открытым способом добычи, так как на основании Положений об этих службах на них возлагаются обязанности наблюдения за устойчивостью горных пород в уступах и бортах карьеров.

В работе рассматриваются современные задачи и методы инженерно-геологического районирования карьерных полей, примеры решения задач районирования, полезных работникам геолого-маркшейдерской службы в их практической деятельности.

Составитель А.Г.Бахарев, канд.техн.наук

Рецензент Б.Г.Афанасьев, канд.техн.наук

Ответственный за выпуск Г.Э.Бурбулис, канд.филос.наук

Рассмотрены на заседании кафедры

---

Подписано к печати	24 ноября	1986 г.	формат	60x84	1/16	
Объем	2	печ.л.	Тираж	200	Заказ 682	Бесплатно

---

Ротапринт Всесоюзного института повышения квалификации специалистов цветной металлургии

Свердловск, Гоголя, 25

## ВВЕДЕНИЕ

В правительственных и партийных документах последних лет ставится задача всемерного развития разработки полезных ископаемых открытым способом, являющимся более экономичным и безопасным по сравнению с подземным. Для решения поставленной задачи необходимо расширение и углубление действующих карьеров, а также совершенствование техники и технологии обработки месторождений открытым способом на большой глубине. В этих условиях устойчивость бортов карьеров и отдельных уступов приобретает большое значение, так как ее нарушение даже на ограниченном участке может вызвать длительное нарушение транспортных путей, необходимость неоправданного разноса бортов, а следовательно, извлечение дополнительных объемов вскрышных пород.

Одним из основных факторов, определяющих устойчивость уступов и бортов карьеров, являются горно-геологические условия обработки месторождений:

- физико-механические свойства пород;
- строение и структура массива;
- условия залегания;
- гидрогеологические особенности карьерного поля (обводненность, поток атмосферных и грунтовых вод и др.);
- способность пород к выветриванию, набуханию и разуплотнению.

Как правило, сведения об этом факторе по данным разведки месторождений очень приближены, и только в процессе обработки месторождения, его детальной разведки можно получить полное представление о горно-геологических условиях. Горно-геологические условия обработки месторождений могут распространяться на нижние горизонты, в результате чего в первоначальные проекты вносятся рациональные изменения, обеспечивающие построение оптимально устойчивых уступов и бортов карьеров в целом.

Один из методов изучения и прогнозирования условий устойчивости уступов и бортов в целом - метод инженерно-геологического районирования карьерных полей, итогом которого должно явиться составление прогнозных инженерно-геологических графиков, отражающих изменение инженерно-геологических характеристик карьерного поля как по простиранию, так и по глубине.

Составление по данным разведки и эксплуатации планов и разрезов, описывающих изменение физико-механических свойств массива,

строения и структуры, условий залегания, гидрогеологических условий и, как обобщение этих оведений, горно-графической документации, раскрывающей характер и степень изменчивости устойчивости горных пород в откосах различной высоты, позволит вести наиболее рациональную отработку месторождений открытым способом. Все перечисленные положения с полным основанием могут быть отнесены и к условиям подземной разработки, хотя решение этой задачи там гораздо сложнее.

В целом же районирование карьерных полей может производиться и по таким признакам, как распределение содержания полезного ископаемого, вредных или попутно извлекаемых элементов, взрываемость и дробимость горных пород, воздействие сейсмозврывных колебаний на устойчивость уступов и др.

## 1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД В ОТКОСАХ УСТУПОВ И БОРТОВ

### 1.1. Цели инженерно-геологического районирования

Основной целью инженерно-геологического районирования карьерных полей по устойчивости пород, слагающих откосы разной высоты, является сконтурирование участков с одинаковыми геомеханическими характеристиками как на поверхности, так и в массиве горных пород: оценка изменчивости этих характеристик и точность определения, установление границ участков с пониженными (повышенными) характеристиками, определяющими возможность нарушения устойчивости уступов и участков бортов карьеров [1].

Определение границ участков с неблагоприятными для устойчивости пород геомеханическими характеристиками позволяет:

- наиболее рационально выбирать участки для изучения и оценки их устойчивости;
- прогнозировать возможность возникновения деформаций, их характер и величину, а также мероприятия по поддержанию устойчивости уступов и бортов с оптимальными параметрами (углом наклона и высотой) при минимально возможных объемах вскрыши.

### 1.2. Задачи инженерно-геологического районирования

К основным задачам инженерно-геологического районирования относятся:

- выбор геомеханических характеристик, определяющих устойчивость уступов и бортов карьеров;
- выбор геомеханических характеристик или их комбинаций, определяющих устойчивость пород в уступах и бортах карьеров в конкретных условиях отработки;
- выбор способа оконтуривания участков с одинаковыми геомеханическими характеристиками;
- выбор методики оценки влияния нескольких геомеханических характеристик на устойчивость массива пород.

Основными геомеханическими характеристиками массива пород, определяющими его устойчивость, являются:

- физические свойства горных пород (в куске и массиве);
- строение и структура массива пород (наличие слоистости, сланцеватости, общая трещиноватость массива, крупные тектонические нарушения);
- условия залегания пород и полезного ископаемого (согласное, несогласное, угол наклона, глубина);
- способность пород к набуханию, разуплотнению и выветриванию;
- гидрогеологические особенности карьерного поля (обводненность, наличие гидродинамических потоков), интенсивность подтока атмосферных и грунтовых вод, их агрессивность относительно материалов, используемых для укрепления откосов;
- способность горных пород противостоять разрушающему воздействию интенсивных колебаний от массовых взрывов.

Основными элементами районирования являются:

- выбор показателя районирования;
- выбор информативных параметров, определяющих показатель районирования;
- установление связи между выбранными параметрами и показателем районирования;
- оценка достаточного количества определений выбранных параметров;
- сбор и оценка информации об информативных параметрах;
- расчет показателя районирования, его погрешности;
- выбор критерия районирования;
- составление прогнозных документов [2].

## 2. РАЙОНИРОВАНИЕ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ ПО КАЧЕСТВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

### 2.1. Районирование карьерных полей по обобщенному качественному показателю

Один из видов инженерно-геологического районирования - районирование по качественным показателям. В результате качественно-

го прогноза могут быть получены качественные оценки изменения какого-то явления или его отдельных частей. Поскольку одной из основных составляющих инженерно-геологического районирования является прогнозирование поведения горных пород, и в частности пород в уступах и бортах карьеров, интересно рассмотреть некоторые положения качественной классификации устойчивости откосов, предложенной Бенявским Л.Т. [3]. Эта классификация включает шесть основных параметров, определяющих устойчивость горных пород в обнажениях:

- прочность материала горной породы при одноосном сжатии, МПа;
- выход бурового керна, %;
- расстояние между трещинами, м;
- характер трещин;
- ориентировка трещин относительно откоса;
- состояние грунтовых вод.

Перечисленные параметры могут определяться в полевых условиях, включая прочность при одноосном сжатии, которая оценивается путем пересчета результатов полевых испытаний неподготовленных кернов при точечном нагружении. При максимально благоприятных условиях сумма числовых оценок отдельных свойств массива составляет 100 баллов: прочность пород - 15 баллов, выход керна - 20, интенсивность трещиноватости (расстояние между трещинами) - 30, характер трещиноватости - 25, грунтовая вода - 10. Таким образом, по этой классификации наибольшее влияние на устойчивость обнажения оказывают интенсивность и характер трещин (55%). Чем хуже инженерно-геологические условия, тем меньше сумма баллов по классификации. В целом классификация приводится в прил. I; 2, итоговая качественная характеристика пород по их устойчивости - в прил. 3.

В результате изучения приведенных выше геотехнических параметров в отдельных (характерных) точках борта карьера, расположенных по какой-то сетке, можно получить суммарную оценку качества горных пород в каждой точке. До начала отработки карьера по разведочным скважинам такие оценки определяются по результатам обследования керна по заданным горизонтам, а после начала отработки - по результатам изучения массива пород в обнажениях. Оценка качества горных пород в исследованных точках сети выражается в баллах и может использоваться для районирования карьерного поля методом геометризации. При этом качественные характеристики, ото-

ображающие геотехнические условия в районе отработки, изображаются в виде топографической поверхности методом изолиний (линий равных суммарных оценок).

Густота сети опробования и оценок может быть различной: достаточной, переуплотненной и недостаточной. Чем гуще сеть, тем ближе размещение оценок к обыкновенному. При достаточном сгущении сети выявляется закономерность (тренд) в распределении оценок, которую следует изобразить в виде изолиний, оценивая погрешность их положения в пространстве. Появление закономерности в размещении рассматриваемого параметра (суммы баллов в каждой точке) оценивается по критерию Аббе [4]

$$z = \frac{\sigma_{сл}^2}{\sigma^2} \quad , \quad (2.1)$$

где  $\sigma_{сл}$  - мера случайности в размещении параметра при заданной сетке исследования,

$$\sigma_{сл} = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_1^{n-1} (U_{i+1} - U_i)^2} \quad ,$$

где  $n$  - количество наблюдений;

$U_i, U_{i+1}$  - значения последующего и предыдущего показателей;

$\sigma^2$  - дисперсия, характеризующая степень изменчивости признака,

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^n (U_i - U)^2}{n - 1} \quad .$$

Если  $z < 1$  , то существует зависимость в распределении рассматриваемого параметра и можно строить изотопографическую поверхность. Часто затраты на производство разведочных, горных, опытных и лабораторных работ оказываются настолько велики, что получение информации о свойствах горного массива, обеспечивающей высокую надежность интерполяции между точками исследования, становится нерентабельным. Поскольку основная цель качественного районирования - выделение примерно однородных по геотехническим условиям участков с тем, чтобы наиболее рационально располагать по карьерному полю расчетные профили, наблюдательные линии или дополнительные разведочные выработки, то даже при  $z$  близком 1 можно использовать метод геометризации [5] .



При построении изопографической поверхности, отображающей изменчивость качественной характеристики карьерного поля, сечение изолиний должно отвечать мере случайности, соответствующей рассматриваемому признаку, и удовлетворять условию (2.2)

$$h > t_p \cdot \sigma_{ca}, \quad (2.2)$$

где  $t_p$  - показатель уровня надежности.

Величина  $t_p$  определяется исходя из необходимого уровня надежности  $B$ . Поскольку в рассматриваемой классификации Бенявского геотехнические параметры определяются с достаточно большой ошибкой, то согласно [5] уровень надежности можно принять  $B = 68\%$  и  $t_p = 1$ .

## 2.2. Районирование карьерных полей по одиночным параметрам

2.2.1. Районирование по трещиноватости горных пород. Одним из основных параметров, определяющих устойчивость откосов уступов и бортов карьеров, являются поверхности ослабления различного вида и происхождения (слоистость, сланцеватость, тектонические и структурные трещины), объединяющиеся понятием "трещиноватость". Трещиноватость и тектоника горных пород влияют на устойчивость откосов в такой же степени, как и прочность этих пород. При этом решающее влияние на устойчивость откосов оказывают трещины большого протяжения, протяженность которых сопоставима с размерами элементов борта карьера, шверщие падение в сторону выработанного пространства, параллельные простиранию откосов либо секущие их диагонально под небольшими углами (угол встречи  $\theta \leq 30-35^\circ$ ). Как правило, по трещинам отдельности и трещинам большого протяжения сцепление  $K'$ , угол трения по контактам  $\rho'$  значительно меньше, чем в массиве и тем более в образцах [7, 8].

Механические характеристики по трещинам зависят от степени их шероховатости, ровности, наличия влагоемких заполнителей и влаги. В приконтурной зоне сцепление по трещинам всех видов под воздействием сейсмозврных колебаний и других факторов практически отсутствует, а наблюдаемое сцепление является сцеплением за неровности контактов. Устойчивость элементов массива по трещинам обеспечивается лишь в случае, когда угол их падения в сторону обнажения не превышает угол трения по контакту  $\rho'$ .

Трещины большого протяжения оказывают сильное влияние на устойчивость откосов независимо от их угла падения в сторону выработанного пространства.

Поскольку ориентировка трещин одного и того же направления относительно откоса из-за изменения его простирания меняется в значительных пределах, в процессе районирования по трещиноватости необходимо выявить участки, на которых ориентировка трещин может оказать вредное влияние на устойчивость участков уступов и борта в целом.

#### Изучение трещиноватости горных пород

Многочисленные исследования трещиноватости массивов горных пород показывают, что трещины в скальных породах ориентируются по преобладающим направлениям [8]. В зависимости от генезиса месторождения характеристики трещин существенно различаются:

К основным характеристикам трещин относятся:

- азимут простирания  $A$  и угол падения  $B$ , характеризующие ориентировку трещин в пространстве;
- протяженность трещин, определяющая масштабы возможного смещения массива по ним;
- количество трещин на единицу длины (интенсивность трещиноватости); с увеличением количества трещин прочность массива пород значительно снижается;
- заполнитель трещин (наличие мощного слоя заполнителя может привести к тому, что он будет определять прочность массива);
- характер контактов (волнистость контактов снижает эффективный угол падения трещин, а шероховатость увеличивает трение по контакту).

К дополнительным характеристикам относятся:

- удельный вес каждой из систем трещин к общей массе трещин;
- генетические особенности трещин;
- связь мелкой трещиноватости с крупными геолого-структурными образованиями [9].

Изучение трещиноватости пород, слагающих откосы, включает следующие этапы:

- визуальное обследование обнажений с целью выявления основных систем трещин, определяющих структуру массива, и ориентировочная оценка их возможного влияния на устойчивость откосов;
- инструментальная съемка элементов залегания трещин, интенсивности трещиноватости, оценка состояния контактов, формы структурных блоков и др.;
- обработка результатов съемки, построение диаграмм и роз трещиноватости, оценка точности полученных результатов;

- построение горной графической документации, наглядно отображающей размещение трещиноватости по карьерному полю и степень ее влияния на устойчивость откосов уступов и бортов.

Инструментальные методы съемки трещиноватости подразделяются на косвенные и непосредственные. К косвенным методам относятся фотограмметрический, ультразвуковой, фотокаражат и другие, связанные с использованием сложной аппаратуры и сложных методов обработки результатов измерений [9]. К непосредственному методу съемки - прямое определение элементов залегания трещин с помощью горного компаса. Методика наблюдений включает две схемы: точечную и площадную съемки трещиноватости. При точечной съемке на откосах выделяются границы участков с примерно одинаковыми системами трещин, на каждом участке в одном-двух интервалах проводится массовый замер элементов залегания трещин и дается их описание. Количество замеров в каждом интервале ориентировочно можно оценить, исходя из условия, что для достаточно определенного выявления системы трещин на диаграмме (розе) трещиноватости необходимо иметь 20-25 точек. Поскольку в скальных массивах редко встречается более 5-7 систем трещин, то число замеров в точке составляет 120-150.

Оптимальное количество замеров трещиноватости в точке для выявления одной системы трещин может определяться по заданной точности оценки параметра (либо азимута простирания, либо угла падения) в соответствии с требованиями ГОСТ [10-14] по формуле (2.3)

$$n = \left( \frac{t_{\beta, n-1} \cdot V}{\delta} \right)^2, \quad (2.3)$$

где  $t_{\beta, n-1}$  - квантиль распределения Стьюдента с  $n-1$  степенями свободы, соответствующая вероятности  $\beta$ ;  
 $V$  - коэффициент вариации параметра в долях единицы;  
 $\delta$  - относительная ошибка генерального среднего (конкретные значения  $\beta$  и  $\delta$  для определенных инженерных задач ГОСТ не устанавливает).

ГОСТ II.004-74 и ГОСТ II.009-79 регламентируют правила определения оценок и доверительных границ при нормальном и логнормальном распределении показателя [11, 14].

Размер площадки обнажения, на которой производится замер, не регламентируется и определяется из условия необходимости фиксации всех систем трещин на участке и удобством измерений.

Суть площадной съемки заключается в изучении трещиноватости по всей площади карьерного поля. От фиксированной на одном из горизонтов карьера точки с помощью рулетки откладываются интервалы по 25–30 м. На каждом из них визуальнo определяются системы трещин, неблагоприятно ориентированных относительно откоса, имеющих падение в сторону обнажения; измеряются элементы их залегания, общая интенсивность трещиноватости, форма и размеры структурных блоков, характер контактов, наличие заполнителя, обводненность; фиксируются все трещины большого протяжения. Данные заносятся в полевой журнал (прил.4), форма которого определяется исходя из конкретных горно-геологических условий.

Необходимо отметить, что ошибка измерения азимута простирания трещины зависит от угла ее падения. Она увеличивается с уменьшением угла падения. Ошибка определения азимута простирания может быть оценена по (2.4) [9].

$$\sin m_A = \frac{\sin m_\delta}{\sin \delta} \quad , \quad (2.4)$$

где  $m_\delta$  – ошибка определения угла падения, град;

$\delta$  – средний угол падения трещин в системе, град.

Поэтому при измерении углов падения для систем трещин со средними углами падения  $\beta < 30^\circ$  количество наблюдений следует увеличивать.

#### Обработка результатов замеров

Камеральная обработка произведенных замеров трещиноватости заключается в составлении точечных и обобщенных диаграмм (роз) трещиноватости. Существует много способов построения различных диаграмм и методов осреднения нанесенных на них результатов измерений азимутов простирания и углов падения трещин. Выбор вида диаграмм для обработки замеров трещин зависит от существа решаемой задачи. В нашем случае основной задачей является нахождение средних значений азимутов простирания и углов падения систем трещин, определяющих устойчивость массива пород, слагающих уступы и борта карьеров. Для ее решения принимаются равнопромежуточные полярные диаграммы, в которых концентрические окружности представляют собой углы падения трещин  $\delta$ , а радиальные направления – азимуты простирания (рис.2.1). Для каждого интервала (площадки замера) строится своя диаграмма трещиноватости, на которой

статистическими методами определяются средние значения азимутов простирания и углов падения трещин.

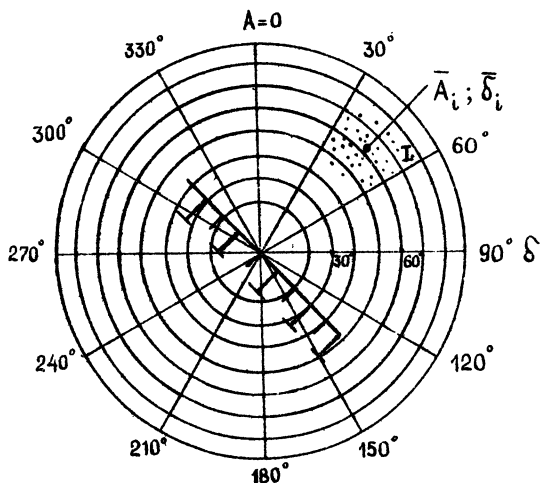


Рис.2.Г. Равнопромежуточная полярная диаграмма трещиноватости:  $A_i$  - истинный азимут;  $\delta_i$  - угол падения; I - номера систем трещин; I'I'I' - простирание откоса на интервале замера

При достаточно четкой концентрации точек замеров на диаграмме границы систем трещин определяются с достаточной точностью на глаз, величина среднего азимута простирания  $\bar{A}_0$  и угла падения  $\bar{\delta}$  оценивается из выражений

$$\bar{A}_0 = \frac{\sum A_{oi}}{n} \quad , \quad (2.5)$$

$$\bar{\delta} = \frac{\sum \delta_i}{n} \quad , \quad (2.6)$$

где  $A_{oi}$  - значение азимута простирания в точке, градус;  
 $\delta_i$  - значение угла падения в точке, градус;  
 $n$  - количество замеров, входящих в данную систему трещин.

Если выявить четкие границы систем трещин затруднительно, то для определения средних азимутов простирания трещин можно использовать метод "скользящего окна" [15]. Суть метода заключается в том, что по равнопромежуточной полярной диаграмме перемещается "окно" заданных размеров (в градусах), например  $20 \times 20^\circ$ ,  $30 \times 30^\circ$  (размер "окна" определяется конкретными условиями). "Окно" перемещается от исходного положения на постоянную величину как по простиранию, так и по падению. При каждом перемещении подсчитывается количество замеров, нанесенных на диаграмму и попавших в "окно" (рис.2.2).

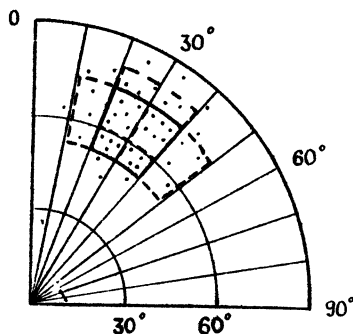


Рис. 2.2. Схема использования "скользящего окна":  
 — — исходное положение; - - - - смещения "окна"

На рисунке показано, что в исходном положении "окна" в него попадает 20 замеров, при смещении "окна" по простиранию на  $10^\circ$  вправо и влево количество замеров, попадающих в "окно", сокращается (IЗ и IЗ), то есть центральная группа трещин имеет средний азимут простирания в пределах  $20-40^\circ$ . Аналогичны рассуждения и для оценки среднего угла наклона. Используя метод "скользящего окна", можно на равнопромежуточной диаграмме построить диаграмму-розку (рис.2.3).

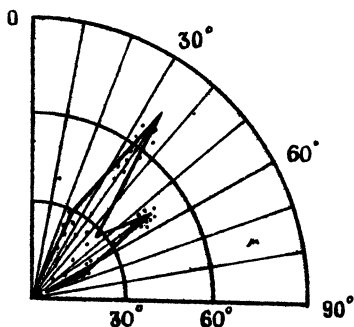


Рис.2.3. Схема построения диаграммы-розы

Для этого в каждом интервале азимута простирания (ширина его произвольна и определяется на глаз) независимо от угла падения трещин определяются количество попавших замеров и среднее значение азимута простирания, из центра диаграммы проводятся отрезки, по длине равные в принятом масштабе числу замеров, попавших в интервал (например, масштаб: 5 замеров – 1 см). Концы отрезков соединяются ломаной линией, образующей лепестки диаграммы-розы [15]. Однако диаграммы-розы могут использоваться только для оценки распределения систем трещин по азимуту простирания. Угол падения, второй важнейший параметр трещиноватости, на диаграмме-розе не отражается.

В некоторых случаях удобно использовать прямоугольные диаграммы [15], на которых каждая трещина по элементам залегания  $A_0$  и  $\delta$  (координатам) изображается в виде точки на прямоугольной сетке. Одна из осей сетки определяет азимут простирания, вторая – угол падения (рис.2.4).

На прямоугольной диаграмме поле трещиноватости может быть представлено в изолиниях частот появления точек в определенных интервалах простирания и падения.

Как на круговых, так и на прямоугольных диаграммах трещины большого протяжения (ТБП) должны обязательно выделяться каким-либо условным знаком. Протяженность ТБП сопоставима с размерами откоса, на устойчивость которого они могут оказать существенное влияние. Особенно важно отмечать комбинации кососекущих трещин с падением в сторону выработанного пространства, по которым воз-

можен вывал треугольных породных призм, а также трещины большого протяжения, простирание которых совпадает или близко к простиранию откоса, а угол падения  $\delta$  больше угла трения по контактам, но меньше угла наклона откоса ( $\alpha > \delta > \rho'$ ). При таких условиях залегания заоткоска массива происходит, как правило, по этим трещинам.

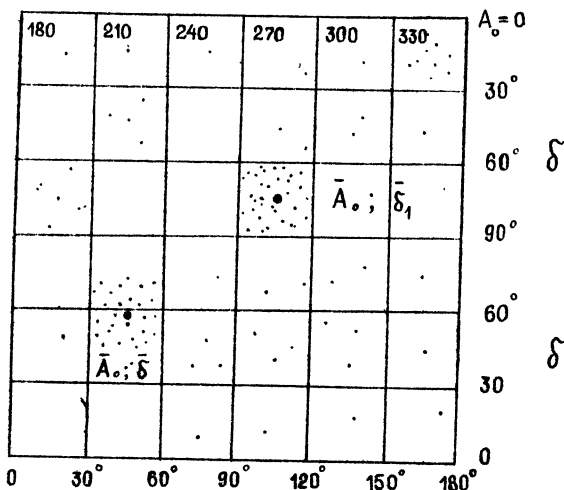


Рис.2.4. Точечная прямоугольная диаграмма трещиноватости

После построения диаграмм трещиноватости по каждому интервалу замера и определения средних значений  $A_0$  и  $\delta$  для каждой системы трещин при необходимости строится обобщенная диаграмма для всего карьерного поля, но вместо точек единичных замеров элементов залегания на нее наносятся средние характеристики  $A_0$  и  $\delta$ , которые затем объединяются в системы, имеющие обобщенные средние значения азимутов простирания  $A_0$  и углов падения  $\delta$ . На диаграммы, отражающие трещиноватость на одном интервале и по карьерному полю в целом, можно нанести простирание откоса и выявить, какие системы трещин наиболее опасны для рассматриваемого участка (рис.2.5).

На рисунке показано, что системы трещин I, II и III представляют опасность для устойчивости откоса, поскольку при пересечении образуют неустойчивую треугольную породную призму. Трещины систе-



мы IV имеют падение в массив и не оказывают решающего влияния на устойчивость откоса.

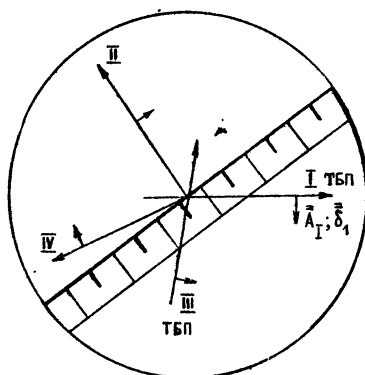


Рис.2.5. Схема учета влияния выявленных систем трещин на устойчивость откоса

По материалам изучения трещиноватости на карьерном поле строится план карьера, на котором в условных обозначениях отражается характер возможного влияния трещиноватости на устойчивость откосов уступов. План позволяет прогнозировать инженерно-технологические мероприятия по снижению вредного влияния технологических процессов (например, сейсмозрывных колебаний от массовых взрывов) и повышению устойчивости откосов (применение укрепительных мероприятий). На рис.2.6 приведен пример районирования по трещиноватости карьерного поля карьера "Объединенный" Донского хромитового рудоуправления, на основе которого даны рекомендации по применению спецтехнологии ведения взрывных работ на участках, осложненных наличием кососекущих трещин, ограничена допустимая высота уступов и др. [22].

На основе таких планов трещиноватости решаются многие другие инженерные задачи, связанные с устойчивостью уступов, эффективностью буровзрывных работ и др. С целью получения наиболее достоверных результатов при районировании по трещиноватости в период эксплуатации карьеров необходимо использовать данные о трещиноватости по скважинам, пробуренным в процессе разведки и до-

разведки месторождения, результаты съемки трещиноватости в обнажениях и горных выработках в пределах карьерного поля.

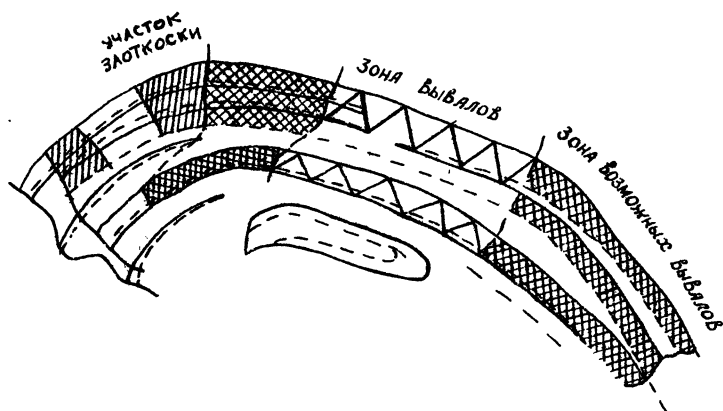






Рис.2.6. Районирование северного борта карьера "Объединенный" по трещиноватости:  - участки, злосткошенные по ТБП;  - участки возможных вывалов по кососекущим трещинам;  - участки вывалов по кососекущим трещинам;  - участки, не подверженные вредному влиянию ТБП

В настоящее время начинается внедрение фотокоротажа в практику геолого-разведочных работ [16]. По получаемым ориентированным фоторазверткам стенок скважин с изображением следов пересечения их трещинами путем несложных вычислений определяются элементы залегания трещин, интенсивность трещиноватости и другие показатели в пределах будущего карьерного поля до начала проектирования и отработки. При достаточной густоте разведочной сети на основе данных фотокоротажа проводится районирование карьерного поля по выделению участков с неблагоприятной ориентировкой трещиноватости (с падением в сторону выработанного пространства), повышенной интенсивностью трещиноватости и др.

2.2.2. Районирование по выходу керна при бурении разведочных скважин. Одной из основных характеристик массива, определяющей его прочность и состояние, является блочность, или трещиноватость. Блочность массива до начала отработки (в период проектирования предприятия) оценивается по данным о выходе керна при бурении раз-

ведочных скважин. Логическое обоснование зависимости выхода керна от блочности массива пород заключается в следующем.

При проходке скважин линейный выход керна, фиксируемый в геологической документации, зависит от технологических и геологических факторов: режима бурения, качества бурового инструмента, технологии извлечения керна, опыта буровиков, крепости пород, трещиноватости, характера контактов и заполнителя в них. Крепость и трещиноватость пород в процессе бурения искажаются, так как керна истирается по естественным или искусственным поверхностям, разделяющим породы на обособленные блоки. Искусственные трещины отрыва возникают по потенциально слабым поверхностям, обусловленным скрытой трещиноватостью, включениями слабых пород. Можно утверждать, что при всех прочих равных условиях бурения выход керна определяется природной нарушенностью и прочностью массива.

В процессе вскрытия и обработки месторождений уступы и борты карьеров подвергаются воздействию как технологических (взрывные работы), так и природных (выветривание) факторов, вызывающих дезинтеграцию массива пород. Процесс бурения, а вместе с ним и выход керна из скважин, позволяют предопределить степень нарушенности массива на момент обнажения пород на поверхности откоса. Наиболее четко зависимость выхода керна от состояния пород в массиве, степени их нарушенности проявляется при алмазном бурении. Оценка ожидаемой трещиноватости пород по выходу керна производится следующим образом.

На геологических разрезах, составленных по результатам разведочного бурения, по скважинам на одинаковых глубинах (интервалах) наносятся величины выхода керна в процентах или долях единицы (рис.2.7). На геологическом разрезе образуется поле точек, криволинейно характеризующее состояние пород. Точки с одинаковыми показателями объединяются изолиниями и получается модель распределения выхода керна по разрезу. Сравнение полей точек по выходу керна и по трещиноватости позволяет выявить в массиве участки со слабыми, сильно трещиноватыми породами, при обработке которых возможны нарушения устойчивости будущих откосов уступов и бортов карьера, и заранее принять меры по организации маркшейдерских наблюдений и подготовке технологических мероприятий по повышению устойчивости этих участков.

К районированию по выходу керна следует подходить осторожно, так как данные о выходе керна в силу различных субъективных причин могут оказаться недостоверными.

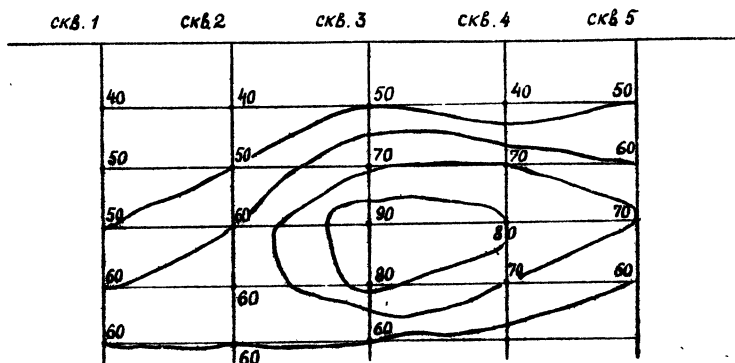


Рис. 2.7 Схема районирования толщи пород по выходу  
керна, %

2.2.3. Районирование по относительной прочности пород. Массив любых горных пород на любом месторождении характеризуется большой изменчивостью прочностных свойств как в плане, так и по глубине. На одном и том же участке либо в одной и той же литологической разности пород могут встретиться участки выветрелые, невыветрелые, обводненные, сухие, частично или сильно метаморфизованные. Отбор образцов всех видов горных пород и определение их физических (прочностных) характеристик очень трудоемкий процесс, требующий больших материальных затрат. Поэтому на большинстве горных предприятий при разведке и эксплуатации месторождений стараются ограничить объем отбора образцов и их испытаний до минимума. Для испытаний обычно отбираются по карьерному полю образцы пород, наиболее характерные для изучаемого участка и позволяющие определить его устойчивость в процессе отработки. В целом такой точечный метод отбора образцов для испытаний оправдывает себя, но не дает достаточно полной картины изменения прочностных свойств по площади карьерного поля.

Для выяснения характера распределения горных пород по прочности в пределах карьерного поля может использоваться районирование по качественным характеристикам прочности.

Горные породы можно условно разделить на несколько групп по прочности:

- весьма слабые (выветрелые до глинистого состояния);
- слабые (сильновыветрелые);
- средней крепости (выветрелые);
- крепкие (маловыветрелые);
- весьма крепкие (невыветрелые).

В процессе отбора образцов для лабораторных испытаний производится их разделение по категориям прочности, а в ходе испытаний дается количественная характеристика их прочности. Часть образцов следует отобрать для качественной оценки прочности. Методика качественной оценки прочности может быть предельно проста, как, например, принятая при проведении испытаний горных пород на Сорском карьере [17]. По образцам горных пород каждой категории производились удары средней силы геологическим молотком. Размеры образцов в среднем составляли 7х7х3-10х10х3 см. Все горные породы были разделены по результатам лабораторных испытаний на четыре категории: от сильновыветрелых до невыветрелых. При этом установлено, что сильновыветрелые породы раскалываются от одного удара геологического молотка, выветрелые - двух-трех, маловыветрелые раскалываются на две части при трех-четырех ударах. Невыветрелые породы молотком не разрушаются (удары производятся на руке). Все уступы, как и при сплошной съемке трещиноватости, разбивались на тридцатиметровые интервалы. В каждом интервале визуально определялся состав пород по предполагаемой прочности (в %), литологическому составу, и затем производилось испытание на удар большого количества отобранных из откоса образцов с соответствующей регистрацией в полевом журнале. Полученные данные наносились на план карьера в следующем виде: на каждом интервале отмечался состав пород (рис. 2.8) и процентное содержание по категориям прочности (например, МК, ЛК, 3430 - меланократовые, лейкократовые: 30% - невыветрелых, 40% - маловыветрелых, 30% - выветрелых, 0% - сильновыветрелых).

Поскольку такое изображение соотношения пород по прочности ненаглядно, был составлен еще один план, отличающийся по принципу оценки прочности массива в целом по интервалу, и принята следующая схема: если на интервале более 40% сильновыветрелых или выветрелых пород, то весь участок относится либо к сильновыветрелым, либо к выветрелым; если 30% - невыветрелых, 30% - маловыветрелых,

ветрелых, 30% - выветрелых и 20% - сильновыветрелых, то в целом этот интервал пород относится к выветрелым. Отнесение пород к любой качественной категории при различных их соотношениях в интервале необходимо производить в каждом конкретном случае, исходя из горно-геологических условий в пределах карьерного поля.

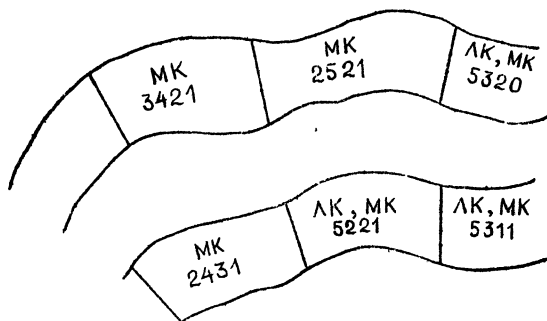


Рис.2.8. Схема описания откоса по соотношению содержания пород разной прочности

На рис.2.9 изображен участок борта Сорского карьера, районированный по степени выветрелости пород (в условных обозначениях). Поскольку каждой степени выветрелости соответствует определенная, в лабораторных условиях числовая характеристика прочности, с помощью полученного плана можно с достаточной степенью достоверности (определений ударной прочности на каждом интервале производилось много) оценить распределение пород на поверхности борта по прочностным свойствам.

В настоящее время разработаны надежные методы экспресс-анализа прочности горных пород с помощью пробника БУ-39 [18] и эталонного молотка [19]. Проведение массовых определений прочности горных пород по всей поверхности откосов уступов с помощью этих приспособлений позволяет выявить границы ослабленных участков пород как в плане, так и по глубине с одновременной характеристикой их истинной прочности.

Возможность проведения массовых натуральных определений прочности на поверхности откосов позволяет получить достаточно надежные средние характеристики прочности в фиксированных точках. Характеристики прочности в этих точках могут быть использованы после соответствующей оценки наличия тренда для построения плана изолиний прочности по всему карьерному полю.

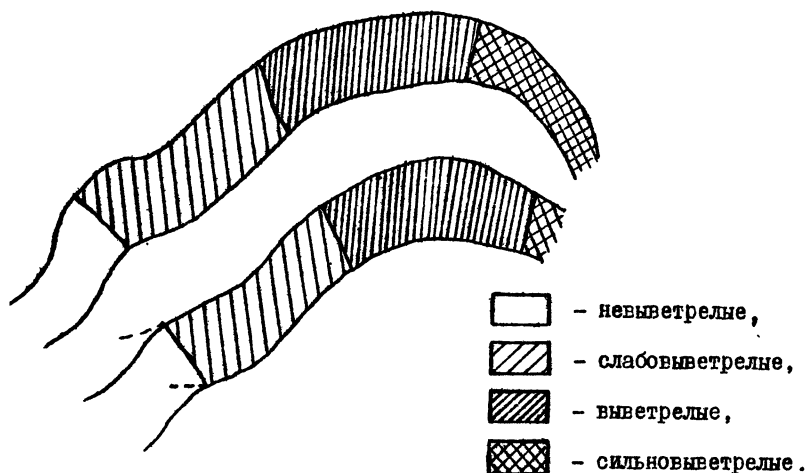


Рис.2.9. Схема описания откоса по качественной прочностной характеристике, преобладающей в каждом интервале замера

Совместный анализ планов трещиноватости и прочности дает возможность наиболее полно охарактеризовать устойчивость уступов и бортов карьеров.

### 3. РАЙОНИРОВАНИЕ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ ПО ФАКТОРАМ УСТОЙЧИВОСТИ

В современных условиях обработки полезных ископаемых открытым способом возрастает значение оценки и прогнозирования устойчивости откосов в карьерах с целью выявления потенциально опасных участков [20]. Районирование по факторам устойчивости осуществляется с учетом тех же условий, что и районирование по любому геотехническому параметру. Методика районирования по факторам устойчивости наиболее полно приложена в [20], коротко ее суть рассматривается ниже.

#### Выбор показателя районирования

В качестве показателя устойчивости в период эксплуатации карьера может служить индекс устойчивости

$$J = C_d \cdot H^{-1},$$

где  $H_n$  - предельно допустимая по условию устойчивости высота борта, м;

$H$  - проектная высота борта, м.

Задачей районирования по индексу устойчивости является выделение участков карьерного поля, где  $J < I$  (то есть участков с пониженной устойчивостью, на которых необходимо применение мер по повышению устойчивости пород). Величина  $H_n$  для изотропного массива рассчитывается по формуле

$$H_n = \frac{2 \cdot \text{ctg}(45^\circ - \frac{\rho}{2})}{\gamma \cdot (1 - \sqrt{\text{ctg} \alpha \cdot \text{tg} \frac{\alpha - \rho}{2}})} \quad (3.1)$$

для анизотропного массива с падением поверхностей ослабления в сторону обнажения - по формуле

$$H_n = \frac{H_{90} [1 + \sqrt{1 + N(S_1 - 1)}]}{1 - \text{ctg} \delta \cdot \text{tg} \rho'} \quad (3.2)$$

где:

$$N = \frac{\sin \delta \cdot \sin [\alpha - (\delta - \rho)]}{\sin \alpha \cdot \sin \rho} ; \quad \rho = \delta - 0,5(\alpha + \rho) ;$$

$$S_1 = \frac{2K' \cdot \cos(\rho - \delta) \cdot \sin(\delta - \rho)}{K \cdot \cos \rho \cdot \sin \delta} ; \quad H_{90} = \frac{2K}{\gamma} \cdot \text{ctg}(45^\circ - \frac{\rho}{2})$$

$\gamma$  - объемная плотность пород, т/м<sup>3</sup>;

$K, K'$  - сцепление в массиве и поверхности ослабления, МПа;

$\rho, \rho'$  - угол внутреннего трения в массиве и угол трения по поверхности ослабления, град;

$\alpha$  - угол наклона откоса, град;

$\delta$  - угол падения поверхности ослабления, град.

Основными информативными параметрами в данном случае являются характеристики пород, перечисленные выше.

Достаточный объем определений отдельных параметров оценивается по формуле (2.3). В рассматриваемой методике для оценки достаточного количества наблюдений рекомендуется выражение

$$n = a \left( \frac{V}{\Delta} \right)^2 + b \left( \frac{V}{\Delta} \right) ,$$

где  $a$  и  $b$  - определяются по табл.3.1 в зависимости от количества расчетных параметров.



Т а б л и ц а 3.1

Величины коэффициентов  $a$  и  $b$

Количество параметров	$a$	$b$
1	2,7	0,6
2	3,8	0,4
3	4,6	0,9
4	5,1	0,5
5	5,5	-0,2
6	5,7	0,9
7	6,0	1,1
8	6,2	1,0
9	6,4	1,3
10	6,5	1,1

Обработка геомеханической информации с целью определения средних характеристик, их ошибок и доверительных границ производится с использованием методов математической статистики и теории вероятностей.

Погрешность индекса устойчивости находится в пределах  $S_J = 0,1-0,2$  и определяется по формуле (3.3) согласно [21]

$$S_J = \pm \sqrt{\sum \left(\frac{\partial J}{\partial x_i}\right)^2 S_{x_i}^2 + 2 \sum \left(\frac{\partial J}{\partial x_i}\right) \cdot \left(\frac{\partial J}{\partial x_j}\right) \cdot r_{x_{ij}} \cdot S_{x_i} \cdot S_{x_j}} \quad (3.3)$$

Если  $J > 1,2$  - откос находится в устойчивом состоянии;

$J = 1,0-1,2$  - в критическом состоянии;

$J < 1$  - неустойчив.

По результатам определения  $J$  по всей площади каьерного поля составляется прогнозный план устойчивости (рис.3.1).

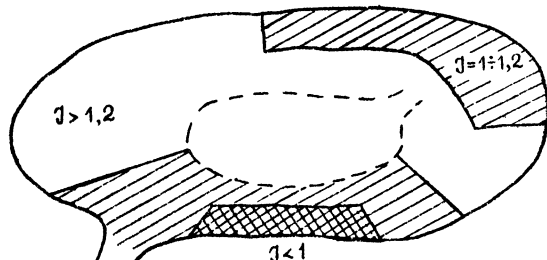


Рис.3.1. Схема районирования по индексу устойчивости:  
 -  $J > 1,2$ ;  -  $J = 1,0-1,2$ ;  -  $J < 1,0$

На основе плана разрабатываются мероприятия по предотвращению вероятных нарушений устойчивости.

### Л и т е р а т у р а

1. Домтадзе В.Д. Инженерная геология. - Л.: Недра, 1978. С.496.
2. Отчет о проведенных работах по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений: фонды гидрорежимной экспедиции Мингео РСФСР. - М., 1974.
3. *Bieniewski L.T., Case studies prediction of rock mass behaviour by the geomechanics classification. Second Austro-New Zealand conference on geomechanics, 1975, 36-41(англ.)*
4. Геометризация месторождений полезных ископаемых /Под ред. В.А.Букриненко, Ю.В.Коробченко. - М.: Недра, 1977.
5. Бахарева Г.П. и др. Районирование карьерного поля с использованием геомеханической классификации. Вопросы рационализации маркшейдерской службы на горных предприятиях. - Свердловск: СГИ им.В.В.Вахрушева, 1981.
6. Павленко В.А. и др. К оценке точности гидрохимических карт /Гидрохимические материалы, 1956. Т.ХІ.
7. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.: Недра, 1965.
8. Оползни. Исследование и укрепление /Под ред. Р.Шустера и Р.Кризека. - М.: Мир, 1981. С.368.
9. Мартынов Ю.И. Прогнозирование прочности трещиноватого массива //Обзорная информация. Сер. Горное дело. - М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1983. Вып.3.
10. ГОСТ 17510-79. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. Группа Т51 СССР.
11. ГОСТ 11.004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. Группа Т59 СССР.
12. ГОСТ 11.009-74. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Группа Т59 СССР.
13. ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
14. ГОСТ 11.009-79. Система управления качеством продукции. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров логарифмически нормального распределения. Группа Т59 СССР.
15. Ушаков И.Н. Горная геометрия. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1979.

16. Кудряков Т.К., Баталов К.К., Ахметов Р.Т. и др. Применение телефотометрического каротажа при оценке устойчивости скальных массивов //Инженерная геология. 1982. № 6.
17. Исследование устойчивости бортов карьера Сорского молибденового комбината: Отчет по НИР IO/70, фонды Уральского филиала ВНИМИ. - Свердловск, 1968. № 458.
18. Гордеев В.А. и др. К вопросу применения прибора-пробника БУ-39 для экспресс-анализа прочностных характеристик скальных пород: Тезисы докладов на Всесоюзной научно-технической конференции. - Гай, 1979.
19. Кошкарёв К.П. Эталонный молоток для определения прочности бетона в изделиях //Строительство и архитектура. 1960. № 5.
20. Туринцев Ю.И. и др. Геомеханические процессы на открытых горных работах. - Свердловск: СГИ им.В.В.Вахрушева, 1984.
21. Коновалов В.Е. и др. Расчет вероятности обрушения однородного откоса //Изв.вузов. Горный журнал. 1983. № 2.
22. Исследование устойчивости бортов карьеров Донского рудоуправления: Отчет по НИР, фонды Уральского филиала ВНИМИ. - Свердловск, 1969. № 781. Т.10.

Основные параметры, определяющие устойчивость пород в откосах

По точечному разрушению,		> 8	4-8	2-4	I-2	
При одноосном сжатии, МПа		> 200	100-200	50-100	25-50	10-25 3-10 I-3
Оценка в баллах		15	12	7	4	2 I 0
2 Выход зерна, %		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25
Оценка в баллах		20	17	13	8	3
3 Расстояние между трещинами, м		> 3	I-3	0,3-I	0,05-0,3	< 0,05
Оценка в баллах		30	25	20	10	5
Приток на 10 м длины туннеля, л/мин		нет	25	25-125	125	
4 Грунто- вая вода		Отношение напора тре- пинной воды к наиболь- шему главному напряжению	0	0-0,2	0,2-0,5	0,5
Общие условия		Полно- стью сухие	Вода в порах	Вода под умеренным давлением	Сложные проседания, связанные с водой	
Оценка в баллах		10	7	4	0	

Учет ориентировки трещин

Ориентировка трещин относительно обнажения	Очень благоприятная	Благоприятная	Удовлетворительная	Неблагоприятная	Очень неблагоприятная
Оценка в баллах (склоняя, откосы)	0	-5	-25	-50	-60

Классы маслелов горных пород и их оценка

Номер класса	I	II	III	IV	V
Характеристика пород	Очень хорошие	Хорошие	Удовлетворительные	Плохие	Очень плохие
Оценка в баллах	90-100	70-90	50-70	25-50	< 25

Примерная форма журнала документирования трещин

		Характеристика трещины				Интенсивность трещиноватости, кол-во трещин, м		Средние размеры стержневых трещин, м			
Горизонт, м	Глубина замера	Глубина замера	Угол наклона, град	характер контакта	заполнение	гель	наличие	возраст	протяженность, мм, м	форма стержневых трещин	угольные приемы
35	42	236° (30х)	249°	36°	Гладкий	Эпидот	Сухая	0,2-0,5	3-5	Косо-	0,2x0,5
		Замеренный азимут прогибания	Азимут прогибания	Угол падения, град	характер контакта	заполнение	гель	наличие	протяженность, мм, м	форма стержневых трещин	угольные приемы
		Азимут прогибания	Азимут прогибания	Угол падения, град	характер контакта	заполнение	гель	наличие	протяженность, мм, м	форма стержневых трещин	угольные приемы
		Магнитное склонение, град	Магнитное склонение, град	Угол падения, град	характер контакта	заполнение	гель	наличие	протяженность, мм, м	форма стержневых трещин	угольные приемы

х) Магнитное склонение на день замера трещиноватости может быть определено путем определения магнитного азимута любой стороны маркшейдерской сети

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
<b>В в е д е н и е</b> .....	3
<b>I. Инженерно-геологическое районирование карьерных полей по устойчивости пород в откосах уступов и бортов</b>	
I.1. Цели инженерно-геологического районирования .....	4
I.2. Задачи инженерно-геологического районирования .....	4
<b>2. Районирование карьерных полей по качественным показателям</b>	
2.1. Районирование карьерных полей по обобщенному качественному показателю .....	5
2.2. Районирование карьерных полей по одиночным параметрам .	8
<b>3. Районирование карьерных полей по факторам устойчивости</b>	22
<b>Л и т е р а т у р а</b> .....	25
<b>П р и л о ж е н и я</b> .....	27







Сканирование - Беспалов  
DjVu-кодирование - Беспалов

