**Карта взрываемости горных пород и автоматизация проектирования буровзрывных работ на карьерах**

В.А Дунаев, д-р геол. - минерал. наук, зав. лабораторией, С.С. Серый, старший научный сотрудник, А.В. Герасимов, научный сотрудник, НИИ ВИОГЕМ В.А. Ермолов, проф., д-р техн. наук, МГГУ

Наиболее распространенный способ разрушения скальных горных пород сегодня и в обозримой перспективе – буровзрывной. При добыче полезного ископаемого открытым способом основная доля затрат ложится на буровзрывные работы (БВР). От качества подготовки взрывом горной массы зависит также производительность работы экскаваторов и энергозатраты на первой стадии дробления руды в процессе ее обогащения. Принятые параметры взрывания должны быть адекватны сопротивляемости горных пород разрушению, которая определяется главным образом двумя факторами (крепостью пород, прямо связанной с их петрогенезисом, и трещиноватостью). В противном случае, либо получается повышенный выход негабаритов, требующих дополнительных затрат на вторичное взрывание, либо порода переизмельчается и разбрасывается взрывом по берме. Для того чтобы при проектировании БВР соблюдалась указанная адекватность, необходима превентивная оценка взрываемости горных пород.

Существующие методы такой оценки можно разделить на геологические, непосредственно учитывающие упомянутые выше природные факторы, влияющие на разрушение пород взрывом, и физико-технические, основанные на корреляции скорости прохождения упругих волн (сейсмоакустический метод) или величины удельной энергоемкости бурения взрывных скважин, фиксируемых приборами, с указанными факторами. С известным допущением геологические методы можно назвать прямыми, а физико-технические – косвенными. Косвенные методы не получили сколько-нибудь широкого распространения; их использование ограничивалось отдельными экспериментами. Причины этого подробно изложены в монографии И.А. Тангаева [12]. Основные из них: большая сложность и трудоемкость, неоднозначность интерпретации полученных результатов и самое главное – косвенные методы применимы на уже обуриваемом блоке, что резко ограничивает время на проектирование БВР и возможности маневрирования их параметрами.

Анализ практики применения прямых методов оценки взрываемости пород в массиве показал отсутствие в этом плане единого подхода и выявил ряд существенных недостатков в конкретной их реализации. Во-первых, зачастую учитывается только один из главных факторов (трещиноватость или крепость пород), причем преимущество отдается первому из них [ 6 ]. Это объясняется с одной стороны во многих случаях действительно доминирующей ролью трещиноватости, а с другой – тем, что ее параметры количественно оцениваются гораздо проще, быстрее и точнее, чем прочность пород в массиве. Однако как бы то ни было, пренебрегая одним из основных факторов нельзя добиться оптимальных параметров взрывания. Во-вторых, обычно применяемая шкала трещиноватости пород Междуведомственной комиссии по взрывному делу [ 1 ], включающая 5 категорий, выделенных с шагом 0,5 м, является слишком грубой. Более приемлема шкала Б.Н. Кутузова с соавторами [ 6 ], в соответствии с которой различаются 10 таких категорий с шагом 0,15-0,3 м, причем смежные категории значимо контрастны по взрываемости. Вместе с тем каждое месторождение индивидуально по характеру развития трещиноватости и распределению в массиве естественных блоков различного размера. Поэтому на горнорудном предприятии необходимо разработать свою местную шкалу пород по трещиноватости.

В третьих, как правило, ограничиваются созданием классификации горных пород месторождения по взрываемости, без геометризации карьерного поля по категориям взрываемости пород. Это приводит к тому, что в каждом блоке, подготавливаемом к взрыву, необходимо в соответствии с классификацией выделить участки пород различной категории взрываемости, т.е. дифференцированно оценить степень трещиноватости и крепость пород, а это сопряжено с дополнительными затратами труда и сокращает время на проектирование взрывного блока. Только на единичных предприятиях (в частности, на Ковдорском ГОКе) выделенные в местной классификации категории пород по взрываемости геометризованы на сводном плане карьера в виде карты взрываемости пород. Преимущества такой карты очевидны. Достаточно нанести на нее контур проектируемого блока, чтобы разграничить его на категории взрываемости, а затем, используя местную классификацию, в которой указаны оптимальные для каждой категории параметры взрывания (сетка скважин и удельный расход ВВ при заданном диаметре скважины, величина перебура и забойки) произвести расчеты, предусмотренные технологической инструкцией на производство БВР.

Следует также отметить недостатки геологоструктурной основы, на которой строится классификация и карта взрываемости пород разрабатываемых месторождений. В качестве таковой обычно используются исключительно материалы детальной разведки, дополненные замерами блочности пород по керну разведочных скважин или непосредственно в уступах карьера. Однако известно, что густота разведочной сети по полезному ископаемому составляет в среднем 50-100х50-100 м, а по вмещающим породам многократно разрежается, что не позволяет уловить неоднородности массива с детальностью, необходимой для разработки классификации и составления карты взрываемости горных пород. Кроме того, формальный замер блочности пород не дает представления об ориентировке систем трещин и литолого-структурной принадлежности участка, где производится этот замер, что существенно сужает возможности прогнозирования пространственного размещения пород различных категорий взрываемости.

Накопленный авторами данной статьи опыт изучения горных массивов железорудных месторождений, разрабатываемых карьерами, с учетом практики оценки взрываемости пород специалистами горнорудных предприятий позволяет наметить рациональную методическую схему составления классификации и карты взрываемости пород (рисунок).

Исходной первичной информацией для ее реализации являются данные детальной разведки, отражающие геологическое строение месторождения (планы и разрезы), перечень и характеристику, в том числе по физико-механическим свойствам, основных петрографических типов пород.

На этапе проектирования карьера или начальной стадии его работы эти данные с учетом правильного выбора аналога (генетического и литолого-структурного) среди уже эксплуатируемых месторождений, позволяют в первом приближении разработать классификацию пород по взрываемости с заимствованием у аналога параметров взрывания по отдельным их категориям. При условии хорошей сохранности керна разведочных скважин можно по результатам его специального изучения дать количественную оценку блочности пород, выделить их классы по этому признаку и в целом реализовать на основе материалов детальной разведки всю схему, показанную на рисунке. Полученная таким образом карта взрываемости пород месторождения вследствие редкой сети разведочных скважин, особенно по вмещающим породам, и низкой представительности данных о трещиноватости горного массива по керну скважин, будет довольно грубой. По этой причине потребуется предпроектная натурная оценка каждого взрывного блока для уточнения категорий взрываемости пород и положения их границ.

|  |
| --- |
| Класси-фикация пород по трещино-ватости |

|  |
| --- |
| Карта взрывае-мости пород |

|  |
| --- |
| Проекти-рование БВР |

|  |
| --- |
| Анализ резуль-татов взрыва |

|  |
| --- |
| Съемка трещино-ватости |

|  |
| --- |
| Матери-алы деталь-ной разведки |

|  |
| --- |
| Геолого-структур-ный план карьра |

|  |
| --- |
| Карта блочнос-ти пород |

|  |
| --- |
| Геолого-структур-ное кар-тирова-ние |

|  |
| --- |
| Класси-фикация пород по взрывае-мости |

|  |
| --- |
| Натурные исследо-вания в карьере |

Рис. Схема составления классификации и карты взрываемости горных пород при открытой разработке полезных ископаемых

В условия более или менее развитого карьера создаются предпосылки для детального изучения природных факторов, влияющих на взрываемость пород, непосредственно в обнаженных уступах. Основной метод достижения этого – геолого-структурное картирование в сочетании со съемкой трещиноватости пород по инструментально привязанным и разбитым на местности пикетами через 20 м маршрутам вдоль уступов карьера. В результате такого картирования существенно уточняется сводный геологоструктурный план карьера, составленный по материалам детальной разведки, дается петрографическая типизация горных пород месторождения с акцентом на те их особенности, которые прямо влияют на взрываемость. Выделенные типы пород должны быть контрастны по физико-механическим свойствам, легко узнаваемы визуально и показаны на сводном геологоструктурном плане. Как правило, имеющийся в материалах детальной разведки массив данных о физико-механических свойствах пород бывает достаточен для характеристики выделенных типов, но по отдельным из них, возможно, потребуются дополнительные испытания. В процессе геолого-структурных исследований необходимо также установить генетическую принадлежность и закономерности пространственного размещения выделенных петрографических типов пород с тем, чтобы в дальнейшем можно было уверенно прогнозировать их положение.

Съемка трещиноватости в карьере выполняется вслед за геологоструктурным картированием по выделенным в ходе его относительно однородным (петрографически и структурно) участкам уступов. При этом измеряются элементы залегания (азимут и угол падения) трещин и расстояние между трещинами одной системы, а если визуально системы явно не выделяются, то между соседними трещинами. В условиях магнитных аномалий (месторождения магнетитовых руд) для определения ориентировки трещин используют солнечный компас [ 5 ] или гироскопический трещиномер [ 9 ]. На участках карьера, опасных для непосредственного замера элементов залегания трещин и блочности пород, следует применять стереофотограмметрическую съемку трещин [ 4 ]. Для упрощенного дистанционного замера блочности пород можно использовать прибор-палетку [ 11 ]. Опыт натурных работ в карьере показал, что измерение ширины раскрытия трещин не имеет смысла, поскольку оно связано главным образом с техногенным фактором и вычленить из фактического замера его природную составляющую практически невозможно. Полевые измерения обрабатываются с получением данных о числе систем трещин, их относительной выраженности и пространственной ориентировке, среднем размере элементарного структурного блока, а при системном развитии трещин – среднем расстоянии между смежными трещинами по всем системам, ограничивающим этот блок.

По данным трещинной съемки карьера создается местная классификация пород по блочности. За основу следует брать шкалу Междуведомственной комиссии по взрывному делу [ 1 ], детализируя ее внутри отдельных классов или смещая границы классов в соответствии с особенностями распределения блочности в изучаемом горном массиве. При выделении критериальных значений блочности пород, определяющих границы классов, необходимо руководствоваться единой классификацией Б.Н. Кутузова с соавторами [ 6 ]. Далее анализируется распределение различных классов трещиноватости в каждом выделенном петрографическом типе пород. Конкретный тип пород может быть представлен различным числом классов по трещиноватости (от одного до полного их набора). Все зависит от генетической принадлежности, структурной позиции и относительной распространенности петрографического типа.

На основе сводного геологоструктурного плана карьера с нанесенными на нем станциями полевых измерений и их результатами (средними размерами естественной блочности) в соответствии с местной классификацией пород по трещиноватости строится карта блочности пород. Увязка границ участков одного класса выполняется с учетом пространственного положения структурных элементов (зон гипергенезасе, разрывных нарушений, осей складок), относительно которых закономерно меняется блочность пород.

Следующая задача – разработка классификации пород по взрываемости. Поскольку доминирующим фактором взрываемости является трещиноватость, в первоначальном варианте такой классификации каждому классу по блочности присваивается своя категория взрываемости и, чем выше этот класс (больше размер блока), тем выше и категория взрываемости пород (сопротивляемости их разрушению при взрыве). Для каждой выделенной таким образом категории взрываемости пород необходимо рассчитать удельный расход ВВ и сетку скважин по формулам, учитывающим не только размер естественной отдельности, но и крепость пород [ 8, 10 ]. В результате расчетов может оказаться, что породы одного класса блочности, но существенно отличающиеся петрографически и, как следствие этого, по крепости, правильнее отнести к разным, обычно соседним категориям взрываемости . Первичная классификация опробуется на серии опытных взрывов, по результатам которых она уточняется. Уточнения касаются как параметров взрывания (удельного расхода ВВ, сетки скважин с учетом применяемых диаметров буровых долот, величины перебура и забойки, интервала замедления) по категориям пород, так и объема той или иной категории. Это обычно случается тогда, когда при одной и той же блочности и крепости отдельные породы отличаются повышенной вязкостью или сжимаемостью, за счет чего существенно повышается сопротивляемость их разрушению при взрыве. Такие породы переводятся в более высокую категорию взрываемости.

Путем совмещения геолого-структурного плана и карты блочности в соответствии с местной классификацией пород по взрываемости строится карта взрываемости. Примеры таких карт даны в работах [ 2, 3 ]. Кроме границ пород различных категорий взрываемости, которые отражены на указанных картах, для проектирования массовых взрывов необходимо знать залегание господствующей системы трещин и слоистости пород в блоке. Эти данные берутся с геолого-структурного плана карьера. Классификация, особенно входящие в нее параметры взрывания, и карта взрываемости пород должны периодически корректироваться. Цель такой корректировки - оптимизация параметров взрывания и более дробное деление на категории взрываемости. Последнее достигается путем ввода промежуточных классов по трещиноватости, а соответственно и категории взрываемости. Указанная корректировка выполняется на основе систематического учета и анализа параметров, условий взрывания и результатов взрыва (выхода негабарита, сменной производительности экскаваторов) по каждому взрывному блоку.

Подобная работа ведется горной лабораторией (Б.В. Славский, В.Е. Каира) на Ковдорском ГОКе. В результате ее первоначальная классификация пород по взрываемости, в которой каждому из классов по трещиноватости, выделенных согласно Междуведомственной шкале, соответствовала своя категория взрываемости, была существенно преобразована (таблица).

Таблица

Типизация горных пород Ковдорского месторождения по трещиноватости и взрываемости

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Петрографические типы пород, коэффициент крепости (f) по Протодъяконову | Категории взрываемости пород различной блочности: | | | | | | | | | | |
| II | III | IV | V | II | III | III-IV | IV | IV-V | | V |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | 11 |
| 1. Ийолиты, фениты, пироксениты, f=10-20 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 3/4 |  | 4 | 4/5 | 5 |
| 2.Апатит–силикатные маложелезистые руды, f=6-10 |  | 3 | 4 | 5 |  | 3 | 3/4 | 4 | 4/5 | | 5 |
| 3. Апатит-карбонат-магнетитовые маложелезистые руды, f=6-9 |  | 3 | 4 |  |  | 3/4 |  | 4/5 |  | |  |
| 4. Апатит-карбонатные маложелезистые руды, f=6-8 |  | 3 |  |  |  | 3/4 |  |  |  | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |
| 5.Апатит-форстерит-магнетитовые руды, f=6-12 |  | 3 | 4 | 5 |  | 4 |  | 4/5 |  | | 5 |
| 6.Кальцит-форстерит-магнетитовые руды, f=9-12 |  |  | 4 | 5 |  |  |  |  | 5 | |  |
|  | Первоначальный вариант | | | | Детализированный и уточненный вариант | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Примечание: II-V – категории пород по величине естественного блока [ 1 ];

2-5 – категории пород по взрываемости: 2 – очень легковзрываемые; 3 – легковзрываемые; 3/4 – выше легкой взрываемости; 4 – средневзрываемые; 4/5 – выше средней взрываемости; 5 – трудновзрываемые.

При этом выделены промежуточные категории (3/4 и 4/5) и переведена в них значительная часть пород, находящихся ранее в 4 и 5 категориях. А вот руды, содержащие в больших количествах слюду, кальцит или апатит пришлось перевести с 3 в 3/4 и даже 4 категории взрываемости. Кроме того вмещающие породы IV-V категории трещиноватости оказалось целесообразным разделить на две категории по взрываемости (4 и 4/5), причем к 4 категории отнести более крепкие из них (f=15-20), а к 4/5 – меньшей крепости (f=13-16), но интенсивно карбонатизированные и слюдизированные. Причина повышенной сопротивляемости взрывному разрушению пород с высоким содержанием кальцита, слюды и апатита не ясна. Предполагается, что указанные минералы увеличивают сжимаемость пород и, соответственно, потери энергии взрыва на пластические деформации. Изменение классификации пород повлекло за собой и корректировку карты взрываемости.

Карта взрываемости, составленная для одного положения поверхности действующего карьера, по мере понижения горных работ становится все более неадекватной реальной геологоструктурной обстановке. Для поддержания ее в актуальном состоянии необходимо хотя бы один раз в три года подновлять сводный геологоструктурный план карьера и на его основе корректировать границы пород различной категории взрываемости. Такая корректировка будет более надежной, если систематически осуществляется анализ условий и качества взрывания, и по его результатам своевременно проводятся дополнительные натурные геологические наблюдения и измерения блочности пород.

Как уже говорилось, наличие карты взрываемости существенно упрощает процесс проектирования БВР. Вместе с тем в традиционном ручном исполнении он остается весьма трудоемким, учитывая многоэтапность подготовки разнообразной текстовой, табличной и графической документации, большие объемы вычислительных операций. Отсюда следует актуальность автоматизации процесса проектирования БВР. В настоящее время разработана математическая основа расчетов параметров взрывания [ 8 ] и предложен ряд программных средств для их реализации, в частности, "Результат" Мосгоргипротранса, Exploos PC фирмы "Взрывтехнология" [7]. Однако эти программы ориентированы только на выполнение расчетов с ручным вводом исходных данных без привлечения графики, в силу чего они не в состоянии подготовить все необходимые составляющие проекта БВР.

Авторами настоящей статьи разработана программа Geoled, которая практически полностью воспроизводит сложный процесс информационного взаимодействия специалистов (геолога, маркшейдера и взрывника) при проектировании БВР и обеспечивает весь комплект текстовой, расчетной и графической документации, входящей в проект массового взрыва. Кроме того, она позволяет формировать базу данных опробования взрывных скважин, что дает возможность подключать программы, способные решать задачи оперативного планирования добычи руд. Программа Geoled написана на языке Delphy для операционной среды Windows. Она способна формировать базу данных, содержащую как числовую, так и картографическую информацию. Последняя представлена картой взрываемости, маркшейдерскими и буровзрывными планами эксплуатационных горизонтов, на которых показаны контуры взрывных блоков, скважины и линия отрыва предыдущих взрывов, бровки подобранного уступа. Цифровую информацию составляют данные о параметрах БВР. Структура базы данных иерархична и представлена таблицами с системой ссылок и индексов.

Программа Geoled включает несколько модулей, которые в совокупности решают комплекс задач:

ведение и оперативное пополнение картографических документов;

решение маркшейдерских задач;

разбивка блока на участки по категориям взрываемости;

размещение взрывных скважин на плане блока, технический и корректировочный расчеты параметров взрывания.

Ведение и оперативное пополнение картографических документов. Программа позволяет добавлять, редактировать и удалять информацию с карты взрываемости и планов эксплуатационных горизонтов (маркшейдерских и буровзрывных). Данные по этим горизонтам могут вводиться визуально вручную либо путем сканирования-векторизации бумажного носителя информации, а также через описанный ниже модуль.

Решение маркшейдерских задач. Этот модуль выполняет решение тех задач, результаты которых непосредственно или уже в обработанном виде используются при проектировании массовых взрывов (обратная геодезическая задача, обратная засечка, обработка журнала тахеометрической съемки).

Разбивка блока на участки по категориям взрываемости. После ввода контура проектируемого блока в картографическую базу данных автоматически выполняется его наложение на карту взрываемости и выделение в нем участков пород различных категорий взрываемости. В таком виде план блока визуализируется на экране монитора и может быть получен в «твердой» копии. Интерактивно линии границ этих участков генерализуются до прямых.

Размещение взрывных скважин на плане блока, подготовка технического и корректировочного расчетов параметров взрывания. В первой версии этого модуля предусматривалась процедура автоматического размещения скважин на плане блока с учетом их диаметра и категорий взрываемости пород. Однако опыт ее использования на производстве (в частности, на Ковдорском ГОКе) показал, что она применима только для блоков относительно простой конфигурации. В целом же пришлось отказаться от этой процедуры из-за трудностей учета программными средствами многочисленных нюансов геометрии бровок уступа и линии отрыва от предыдущего взрыва, определяющих особенности размещения скважин 1-го ряда, от которых зависит положение последующих их рядов. На практике более приемлемым оказался ручной способ разбивки сетки взрывных скважин на плане блока с использованием специальных палеток для каждой категории взрываемости пород.

После такой разбивки план блока с указанием характерных точек (сочленения границ участков различных категорий взрываемости пород с контурами блока, а также этих границ с линиями рядов будущих скважин, перегибов верхней бровки уступа и др.) передается маркшейдеру, который заносит их координаты в компьютер. При этом на экране монитора появляется план блока с границами по взрываемости пород и характерными точками. Далее автоматически решается обратная геодезическая задача, в результате чего получается распечатка с данными (углы относительно дирекционного направления и расстояния от ближайшей маркшейдерской точки до характерных точек), по которым производится их вынос в натуру. Затем по этим точкам в соответствии с планом, т.е. дифференцировано по участкам с различной категорией взрываемости пород, осуществляется разбивка сети скважин на блоке с помощью рулетки. Положение устьев будущих скважин закрепляется колышками.

Маркшейдер выполняет тахеометрическую съемку этих колышков и вводит данные полевых измерений в компьютер, в результате чего производится расчет координат колышков, а на экране монитора их положение указывается точками. Подводя курсор к каждой точке, маркшейдер присваивает им номера. При этом автоматически рассчитывается глубина скважин (высотная отметка – проектная отметка горизонта + длина перебура) и формируется проект бурения, состоящий из таблицы технико-экономических показателей (количество скважин на блоке, величина перебура, объем взрываемого массива и т.д.) и плана блока, на котором показан его контур, границы участков по взрываемости пород, проектное положение скважин, их номера и глубины. На этом этапе автоматически формируются и печатаются зарядные карты, в которых для каждой скважины указаны проектные ее глубина и масса заряда. Параллельно, также автоматически, формируются таблицы параметров взрывания "технического расчета" (в целом по блоку и дифференцировано по категориям взрываемости пород) и "корректировочного расчета зарядов" (по каждой скважине) с заполнением их проектными данными.

После обуривания блока производится съемка устьев скважин, промер их глубины и также посредством модуля "Решение маркшейдерских задач" получается план блока к проекту взрыва с фактическим размещением скважин, а указанные выше таблицы пополняются фактическими данными о сетке скважин, их глубине и величине перебура. При монтаже скважинных зарядов в зарядных картах указывается их длина и масса, а также длина забойки по каждой скважине. Эти данные вводятся в компьютер вследствие чего автоматически пополняются по факту таблицы показателей технического и корректировочного расчетов. После распечатки всех необходимых документов (плана блока со схемой размещения взрывных скважин, технического и корректировочного расчетов и т.д.) по установленной форме верстается проект массового взрыва блока в «твердой» копии. Кроме того, готовится текстовый файл, содержащий номера и координаты взрывных скважин, для ввода результатов их опробования.

**Список литературы**

Временная классификация горных пород по степени трещиноватости в массиве. – М.: ИГД, 1968. –17 с. (Информац. Вып. № В-199).

Дунаев В.А., Рягузов Н.Т., Герасимов А.В., Завьялов П.З., Клейн А.И. Районирование природного массива Михайловского месторождения по блочности и взрывемости. – «Горный журнал», 1996, №9-10, с. 53-57.

Дунаев В.А., Серый С.С., Герасимов А.В., Журин С.Н., Быховец А.Н., Славский Б.В. Геолого-структурное картирование Ковдорского месторождения для решения геомеханических и горно-эксплуатационных задач с применением компьютерных технологий - «Горный журнал», 1998, №4, с. 41-46.

Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Рева Н.П., Кратковский И.Л. Механика взрывного разрушения пород различной структуры. – Киев: Наукова думка, 1984. – 192 с.

Зотеев В.Г., Можаев Л.В., Комаров В.В. Изучение трещиноватости железорудных месторождений. – «Горный журнал», 1970, №3, с. 54-55.

Кутузов Б.Н., Лемеш Н.И., Плужников В.Ф. Классификация горных пород по взрываемости для карьеров. – «Горный журнал», 1979, №2, с. 41-43.

Кутузов Б.Н, Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности). ч. II. Учебник для вузов. 3-е изд-е перер. и дополн. – М.: МГГУ, 1994. – 448 с.

Медников Н.Н. Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ. Учебное пособие. – М.: МГГУ, 1996. – 156 с.

Методические рекомендации по изучению трещиноватости массива скальных пород для решения задач механики горных пород. – Белгород: ВИОГЕМ, 1976. – 59 с.

Оксанич И.Ф., Миронов П.С. Закономерности дробления пород взрывом и прогнозирование гранулометрического состава. – М.: Недра, 1982. – 166 с.

Садыков Г.Х., Жеманкулов Х.К. Исследование влияния геологической структуры (трещиноватости) массива пород на результаты взрывных работ на карьере. - В кн.: Научн. тр. ИГД АН Каз.ССР, 1956, т.18, с.17-21.

Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. – М.: Недра, 1978. – 184 с.