

АЛГОРИТМ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ОЧАГОВ РАЗРУШЕНИЯ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ДАНЫХ

В роботі пропонується та обґрунтовується формалізована методика виділення очагів руйнування в масиві гірничих порід, що базується на прямому представленні про концентраційний критерій руйнування твердих тіл. Описана методика застосовується до каталогу мікроесейсмічних подій Північноуральського бокситового рудника. Обговорюються результати її застосування: ефективність, стійкість, можливість застосування для прогнозування виникаючих гірничих ударів.

THE FORMALIZED ALLOCATION ALGORITHM OF DESTRUCTION CENTERS ON MICROSEISMIC DATA DISTRIBUTION

In this paper the formalized method of failure nuclei delineation in a rock massif is suggested and proved. It based on direct using the conception of solids fracture concentration criterion. Described method applies to the database of microseismic events of North Ural Bauxite Mine. The results of its application such as: efficiency, stability, possibility of its application to forecast the rock burst arising, are discussed.

В горнорудной промышленности давно борются с проявлениями горного давления. Большой социально-экономический ущерб при разработке месторождений полезных ископаемых наносят его динамические формы (горные удары, выбросы, обрушения и т.д.). Для принятия своевременных превентивных мер по предотвращению таких явлений требуется решение задач по определению места, энергии и времени их возникновения.

Цель данной работы – используя физические представления о кинетике процесса разрушения, разработать количественные критерии выбора области подготовки разрушения. Причем они должны быть как можно более формализованы и иметь минимум задаваемых параметров, для объективности полученных результатов и возможности их последующего анализа.

Для более четкого обнаружения прогностических особенностей перед сильным событием, выделенные области должны полностью включать очаг разрушения и не содержать лишних событий, не соответствующих подготовке сильного события. На них не должны налагаться какие-либо ограничения по геометрии [1, 2, 3] как при обнаружении, так и при корректировке, проводимой с поступлением новых событий.

Согласно продолжению кинетической концепции прочности в виде концентрационного критерия разрушения [4, 5] и двустадийной модели разрушения [3], подготовке сильного события соответствуют события примерно на один ранг ниже его, а возникает оно в результате достижения их пороговой критической концентрации. Следовательно, мы имеем всего два физических параметра, определяющих подготовку сильного события: размер (R) или энергетический класс (K) прогнозируемого события и концентрационный параметр CP – безразмерное отношение расстояния между центрами трещин (гипоцентрами микросейсмических событий) к их средней длине, характеризующий возможность их взаимодействия.

Поскольку в подготовке трещины следующего масштабного ранга должны участвовать трещины с размером примерно в CP раз меньшим, чем готовящаяся (крупная трещина образуется при слиянии малых), то получаем следующую оценку для разницы их энергетических классов $K = \lg E : \lg R = b \lg E + c$, $\lg E_{J+1} - \lg E_J = 1/b \lg (R_{J+1}/R_J) = 1/b \lg CP$, где в соответствии с иерархическими представлениями $b \approx 1/3$ [7]. Для горных пород концентрационный параметр $CP \approx 6 \div 10$ [5, 8], следовательно соседние ранги разрушения отличаются приблизительно на три энергетических класса.

Область подготовки очага выделялась на основе расчета концентрационного параметра для каждой пары микросейсмических событий. Затем пары со значением CP ниже заданного порога, имеющие общие события объединялись в кластеры.

Другими авторами параметр CP использовался лишь как эффективный прогностический параметр [9, 10, 12]. Причем в отличие от абсолютного числа других предвестниковых параметров он имеет пороговый характер, и проявляется одним из первых

Однако в отличие от лабораторных экспериментов со слабо нарушенными образцами, в которых был найден концентрационный критерий, на рудниках имеется меньшая определенность, поскольку контролируемый массив существенно неоднороден и нарушен; разрушение может идти одновременно на разных масштабных уровнях и зачастую в нескольких местах. При оценке концентрации дефектов в рамках метода пассивного микросейсмического мониторинга имеется три принципиальные сложности:

- не представляется возможным определить концентрацию дефектов уже существовавших до установки сети датчиков;
- нет информации о процессе «залечивания» дефектов;
- при регистрации упругих импульсов сложно определить соответствует ли данное микросейсмическое событие возникновению нового дефекта или развитию уже существующего (возможно слияние с другим).

При отсутствии необходимой информации при анализе событий будем: в качестве имеющихся в массиве нарушений рассматривать только зарегистрированные дефекты и каждое событие принимать за новую трещину.

Попытка преодолеть сложности с определением концентрационного параметра приводят к введению еще двух параметров. При выделении очагов разрушения будем рассматривать лишь последние $NE\nu$ зарегистрированных событий, т.к. согласно графику повторяемости подготовке каждого сильного события предшествует в среднем постоянное число слабых.

Второй параметр вводится, чтобы избежать значительного увеличения концентрационного параметра при возникновении достаточно сильного события (при принятых выше предположениях оно рассматривается не как объединение и развитие мелких трещин, а как большая новая). Достаточно сильные события, выше энергетического класса KCP_{max} рассматриваются как события класса KCP_{max} . Такая договоренность позволяет избежать излишнего укрупнения

кластеров вследствие их слияния. В качестве KCP_{max} достаточно естественно выбрать минимальный прогнозируемый класс.

Итак, при выборе данных для анализа использовалось NEv последних зарегистрированных событий, а при вычислении концентрационного параметра – принцип занижения энергетического класса сильных событий.

Для экспериментальной проверки описанной методики был взят каталог данных микросейсмической активности: наиболее удароопасной шахты №15-15' бис Североуральского бокситового рудника (СУБРа), где в силу хрупкости пород особенно остро стояла проблема горных ударов. Каждая запись каталога содержит информацию о времени возникновения события, трех его координатах и энергетическом классе. Точность определения их местоположения составляла ± 10 метров, энергии 0,5 энергетического класса. Соотношения между размером события (длиной разрыва в метрах) R и его энергетическим классом K : $\lg R(m) = 0,33 K - 0,4$ [7, 3, 12]. Каталог содержит записи событий энергетического класса от 1,8 ($10^{1,8}$ Дж), до 8,6 зарегистрированных с 01.01.1984 по 31.12.1988.

Минимальный представительный энергетический класс для СУБРа, надежно регистрируемый установленной микросейсмической сетью определялся по началу линейной части графика повторяемости [10]. Таким способом выяснено, что следует рассматривать события, начиная с $K_{min}=3$, в результате остается около 1600 событий.

В соответствии с вышеизложенной оценкой между соседними рангами разрушения на СУБРе возможно прогнозировать события выше 6-го класса. Доля таких событий от анализируемых составляет около 2,8%, т.е. на одно событие выше 6-го энергетического класса приходится около 35 событий меньшего класса.

Из рассмотрения были также исключены 4 сильных события ($K=7,24$; 6,78; 7,05; 8,41), значительно удаленные от сети датчиков, в связи с чем предшествующие им слабые события не были зарегистрированы. Так согласно [11] даже самое сильное из них из-за своей удаленности от горных выработок (около 300 м) не вызвало серьезных разрушений на руднике.

Характеристикой эффективности выделения кластеров может служить с одной стороны $dStrong$ – процент произошедших сильных событий, попавших в кластеры, и величина его превышения d над аналогичным процентом $dWeak$ слабых событий. Первая характеристика $dStrong$ определяет максимальную вероятность пропуска сильного события при выборе данных для последующего анализа, достаточно разумной ее оценкой можно считать 80-90%, т.е. можно пропустить не более 10-20% прогнозируемых событий. Характеристика d говорит о том, на сколько выше процент сильных событий в отобранных данных, нежели в первоначальном, полном наборе анализируемых событий. Графики d при $dStrong \geq 90\%$ для различных значений KCP_{max} (событиям энергетического класса выше KCP_{max} при вычислении CP приписывался размер, соответствующий классу KCP_{max}) представлены на Рис.1, если $dStrong$ принимал меньшие значения, то d на Рис.1 приравнивался к 0.

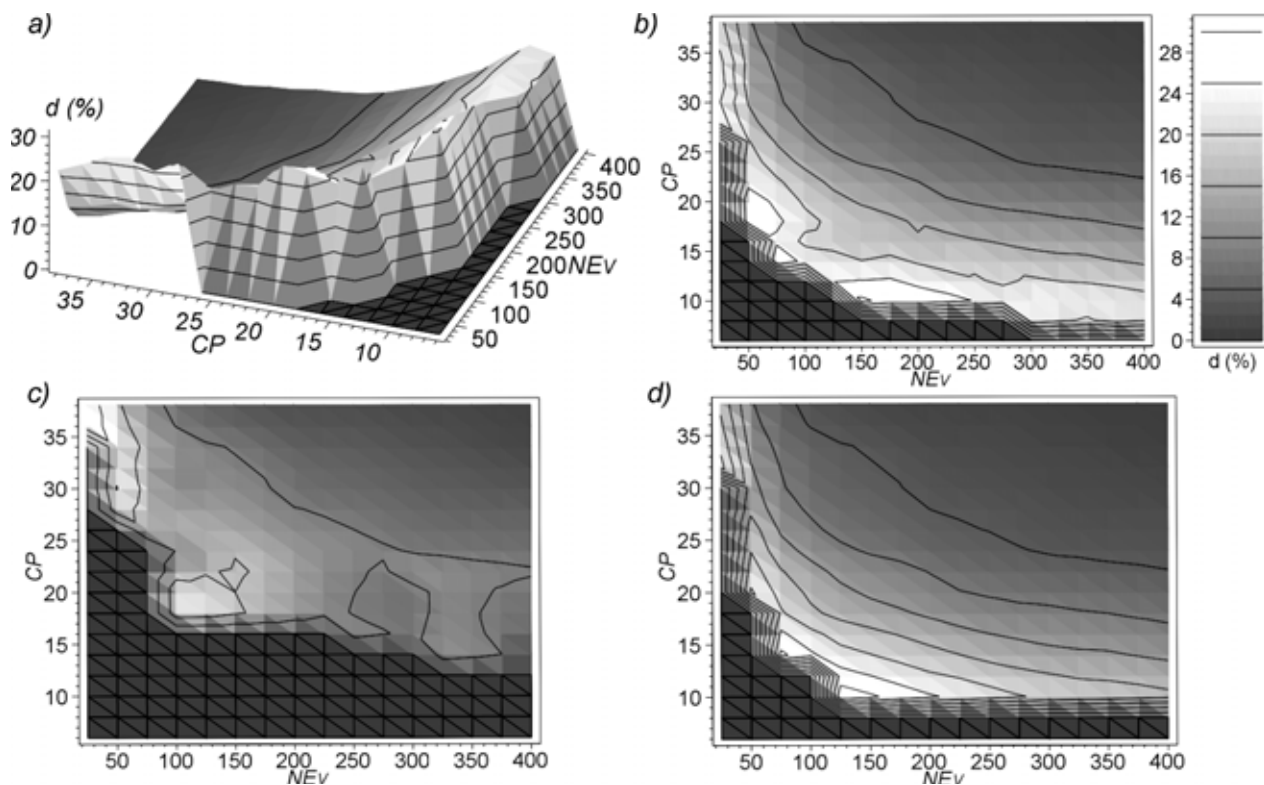


Рис. 1 – Разница процентной доли событий выделенных энергетических классов и всех остальных, попавших в кластеры, при $KCP_{max} = 6$ и $dStrong \geq 90\%$, линии уровня соответствуют значениям d кратным 5; а), б) выделялись события классов 6-8,6; в) 5-6; д) 6,5-8,6

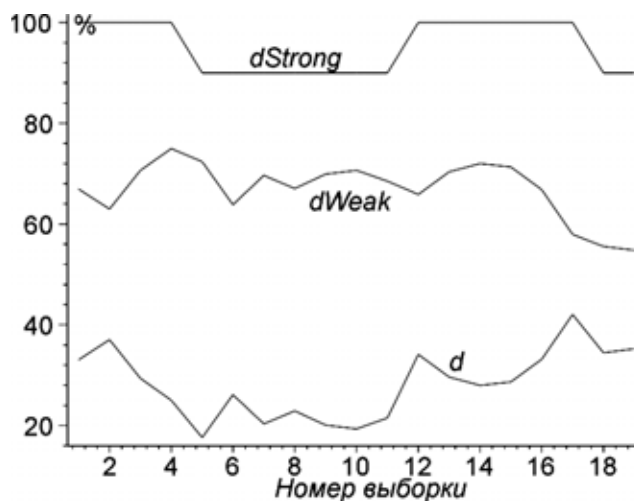


Рис.2 – Поведение характеристик $dStrong$, $dWeak$ и $d = dStrong - dWeak$; события энергетических классов более 6 рассматривались в качестве сильных, все остальные – в качестве слабых; $KCP_{max} = 6$, $NEv = 175$ и $CP = 10$; каждая выборка содержала ровно 10 сильных событий

Из Рис.1 видно, что превышение в кластерах процента событий прогнозируемых энергетических классов (выше 6-го) над соответствующим процентом во всех анализируемых данных составило до 31%, т.е. в кластеры сильных событий было отобрано на 31% больше чем слабых. Если рассматривать события выше класса 6,5, то их было отобрано уже на 38% больше, чем событий мень-

ших классов. В то же время событий с 5 по 6 класс, которые являются относительно сильными, но не подлежащими прогнозу, выбрано всего на 15% больше чем остальных. Таким образом, вероятность попадания события в кластер растет с ростом его энергетического класса. Для событий до 6 класса такая тенденция может быть связана с уменьшением параметра CP с ростом размера дефекта и тем самым большей вероятностью попадания его в кластер.

Для проверки этого предположения можно устранить описанный эффект понизив KCP_{max} . Согласно полученным результатам при $KCP_{max}=5$ обнаруженная зависимость осталась, хотя значения d_{max} снизились до 25%. Крайним случаем является вариант, когда $KCP_{max}=3$, т.е. всем событиям приписывается одинаковая энергия равная 10^3 Дж. Он эквивалентен методики выделения кластеров по концентрации событий, результаты его применения наименее эффективны $d_{max}=13\%$.

Из Рис.1 видно, что максимальная эффективность достигается (максимум d), когда для выделения кластеров используется выборка объемом $NEv \approx 175$ событий, а концентрационный параметр $CP \approx 10$, что согласуется со значением CP , полученным при исследовании землетрясений Камчатки [8].

Интересно проследить насколько устойчиво ведет себя величина d со временем, ее поведение представлено на Рис.2. Из него видно, что d не опускается ниже 19% и при переходе от выборки к выборке меняется достаточно плавно. Такое поведение позволяет предположить возможность хорошей настройки параметров процедуры прогнозирования, отвечающих за выделение кластеров, при изначально не большом количестве данных и последующей их плавной корректировки с поступлением новых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев Г.А., Челидзе Т.Л., Завьялов А.Д., Славина Л.Б., Николадзе В.Е. Карты ожидаемых землетрясений, основанные на комплексе сейсмологических признаков. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1990, № 11, с. 45-54.
2. Tomilin N.G., Voinov K.A. Technique and results of the rock burst prediction. Proceedings of the International Conference on Mechanics of jointed and faulted rock, 1995. Rotterdam: Balkema. p.955-959.
3. Куксенко В.С., Инжеваткин И.Е., Манжиков Б.Ц., Станчиц С.А., Томилин Н.Г., Фролов Д.И. Физические и методические основы прогнозирования горных ударов. // ФТПРПИ. 1987. № 1. с. 9-22.
4. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А., Савельев В.Н., Султанов У.С. Концентрационный критерий разрушения твердых тел. В кн.: Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980, с. 78-96.
5. Куксенко В.С. Кинетические аспекты процесса разрушения и физические основы его прогнозирования. В кн.: Прогноз землетрясений, Душанбе-М.: Дониш, 1983, № 4, с. 8-20.
6. Дамаскинская Е.Е., Куксенко В.С., Томилин Н.Г. Двухстадийная модель разрушения горных пород. // Физика Земли, 1994, № 10, с. 47-52.
7. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985.
8. Соболев Г.А., Завьялов А.Д. О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов. // Докл. АН СССР. 1980, т. 252, № 1, с. 69-71.
9. Гор А.Ю., Куксенко В.С., Томилин Н.Г., Фролов Д.И. Концентрационный порог разрушения и прогноз горных ударов. // ФТПРПИ. 1989. № 3. с. 54-60.
10. Манжиков Б.Ц. Индуцированная сейсмичность и удароопасность шахтных полей: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Бишкек, 1997.
11. Воинов К.А., Краков А.С., Ломакин В.С., Халевин Н.И. Сейсмологические исследования горных ударов на Североуральских месторождениях бокситов. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1987, № 10, с. 98-104.
12. Mansurov V.A. Prediction of rockbursts by analysis of induced seismicity data. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2001, № 38 pp.893-901.