УДК 622.235

А.В.СЕРЯКОВ
Институт горного дела СО РАН,
Новосибирск, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ИНДУЦИРОВАННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С помощью методов кластерного анализа выявлены зоны концентрации динамических явлений в массиве горных пород после проведения технологических взрывов на Таштагольском месторождении. Определены кинематические, энергетические и временные параметры, характеризующие сейсмический процесс в этих зонах. Проведен анализ пространственного распределения сейсмособытий перед возникновением горного удара, установлены основные признаки, характеризующие состояние массива перед крупным разрушением.

Definition of seismic events concentration zones after technological block blasting at Tashtagol deposit was carried out based on cluster analysis methods. Kinematical, energy and temporary parameters that characterize seismic process in concentration zones were defined. Cluster analysis of seismic events redistribution before a rock burst was performed. The basic attributes describing a rock condition before large destruction were determined.

Горная Шория является составной частью центрального сегмента сейсмоактивной Алтае-Саянской складчатой области. Таштагольское и Шерегешевское железорудные месторождения, расположенные на ее территории, разрабатываются в сложных геомеханических условиях. Добыча руды осуществляется системой этажного обрушения технологических блоков, при которой проводятся крупные промышленные взрывы сейсмической энергией 10^6-10^9 Дж [3]. Взрывная отбойка блоков оказывает существенное воздействие на окружающий массив, последствия которого в шахтном поле проявляются в виде толчков, микро- и горных ударов. В настоящее время производственный процесс на Таштагольском руднике связан с ведением очистных и добычных работ на горизонте –350 м (800 м от поверхности) и отработкой Южного участка. Увеличение глубины повышает удароопасность массива горных пород месторождения. В этих условиях пространственно-временной прогноз событий высоких энергетических классов при проведении массовых взрывов чрезвычайно актуален.

Основной региональный метод прогноза на Таштагольском месторождении микросейсмический. В качестве параметра, по которому осуществляется прогноз, используется уровень сейсмической активности, представляющий собой число динамических явлений, произошедших за определенный период времени в фиксированном объеме массива горных пород при заданном значении энергетического уровня. По значениям сейсмической активности на плане выработок шахтного поля месторождения строятся изолинии для маркшейдерской сетки 100×100 м с шагом в 50 м. Иногда на эту же карту наносятся отдельные сейсмические события высоких энергетических классов. Таким образом, с помощью микросейсмического районирования устанавливаются области в шахтном поле, где создаются условия возникновения мощных динамических явлений типа горных ударов. Для уточнения прогноза с помощью других методов контроля дополнительно проводится анализ удароопасности. Тем не менее достаточно надежного прогноза времени и места проявления горного удара при этом также получить не удается. При обработке экспериментальных данных не анализируются последствия воздействия каждого отдельного промышленного взрыва, не учитывается геоло-

гия массива и трехмерное распределение сейсмособытий.

Для определения общих и инвариантных закономерностей пространственно-временного распределения динамических явлений после взрывной отбойки блоков был проведен статистический анализ микросейсмических данных после обрушения блоков № 14-21 в этаже между горизонтами –280 и –210 м. Отработка горизонта –210 м началась с обрушения центрального «разрезного» блока № 17. Дальнейшее обрушение технологических блоков осуществлялось от центра к северному и южному флангам месторождения. Микросейсмическая выборка для блоков № 15-19 показала, что наибольшее количество динамических явлений произошло после взрыва «разрезного» блока № 17 (рис.1). Количество толчков резко увеличилось после обрушения блока № 21. Следующий массовый взрыв блока № 13 на той же глубине вызвал горный удар с сейсмической энергией $2{,}3 \cdot 10^9$ Дж. В связи с этим была подробно исследована динамика распределения динамических явлений за период, который можно условно разделить на два этапа: начальную (блоки № 15-19) и последующую (блоки № 20, 14, 21) отработку этажа.

Для начальной стадии отработки установлено, что импульсный характер изменения радиальной и кажущейся скорости распространения сейсмических событий указывает на образование областей концентрации динамических явлений в массиве горных пород [2]. Поскольку геологическое строение вмещающего массива играет большую роль в процессе формирования очагов динамических явлений, определение местоположения динамических явлений в трехмерном пространстве проводилось по геологическим картам соответствующих горизонтов: –70, –140, –210, –280 и –350 м. По глубине возникновения Z-событие можно отнести к одной из указанных геологических карт. Таким образом, каждое сейсмособытие получило горно-геологическую привязку, включающую описание горных пород, составляющих массив, и нарушений, находящихся в непосредственной близости от места динамического явления.

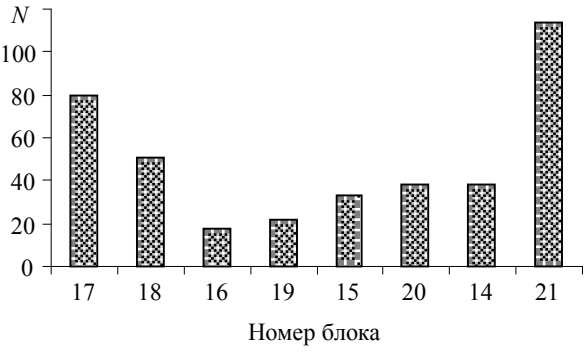


Рис.1. Количество динамических явлений (N), зарегистрированных после массовых взрывов блоков № 14-21

Распределение объектов по группам было выполнено с помощью кластерного анализа [1]. Критерий объединения сейсмособытий i и j, используемый в алгоритме последовательной кластеризации, представлял собой следующее условие:

$$R_{i,j} \le \text{distance}, \qquad (1)$$

где distance – априорно задаваемый параметр; $R_{i,j} = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{1/2}$, x_i, y_i, x_j, y_i – координаты i-го и j-го события.

Если i или j уже сами по себе являются кластерами, то координаты (x_i, y_i и x_j, y_i вычисляются как среднее значение координат, входящих в кластеры сейсмособытий (невзвешенный центроидный метод объединения), а затем проверяется условие (1). Построение набора осуществляется по алгоритму, при котором первоначально кластеры состоят из одного события $\{i\}$, $i = 1 \ldots N$. Кластер $\{i\}$ выбирается из общей последовательности $\{I\}$ случайным образом. Затем из набора $\{\{I\}\backslash\{i\}\}$ случайным образом выбирается кластер $\{j\}$ для проверки условия (1). Если условие выполняется, кластеры объединяются. Цикл по всем элементам набора $\{I\}$ продолжается, пока существует хотя бы одна пара кластеров, подлежащая объединению. Для distance был выбран характерный размер структурных блоков –25 м, составляющих породный массив месторождения.

Установлено, что большинство сейсмических событий проявляются на тех же глубинах, что и обрушаемые блоки. На началь-

ном этапе отработки этажа основные зоны концентрации динамических явлений формируются после взрыва «разрезного» блока. Кластерный анализ распределения сейсмособытий позволил выделить четыре области концентрации динамических явлений на горизонте –140 м, восемь на горизонте –210 м, семь на горизонте –280 м и две области на горизонте –350 м.

После обрушения технологических блоков в массиве горных пород инициируется сложный квазистатический процесс сдвижения, который включает в себя следующие этапы [4]:

- воздействие ударной волны напряжений на геологическую среду в районе месторождения;
- инициализация квазистатического процесса сдвижения массива от очага взрыва в радиальном направлении;
- активизация геологических структур и областей в массиве, в которых начинается свой медленный процесс сдвижения, вызывающий последующие динамические явления.

В соответствии с этими предположениями оценка степени удароопасности областей концентрации динамических явлений была проведена с помощью следующих физических параметров:

1) времени t_0 с момента взрыва до момента регистрации первого события в соответствующей области;

2) радиальной скорости распространения возмущения при взрывах от центра взорванного блока до первого динамического явления в рассматриваемой области:

$$V'_{\mathrm{Rad}} = \frac{R'}{t_0}, \qquad (2)$$

где R' – расстояние от очага взрыва до первого динамического явления;

3) кажущейся скорости деформационных процессов для хронологически последовательных событий $i,i+1$ в этой области:

$$V'_{\mathrm{Rel}} = \frac{R_{i,i+1}}{t_{i,i+1}}, \qquad (3)$$

где $R_{i,i+1}$, $t_{i,i+1}$ – расстояние и время между двумя соседними динамическими явлениями;

4) среднего энергетического класса K зоны концентрации динамических явлений, рассчитываемого как среднее арифметическое энергетических классов всех событий, входящих в эту зону.

По времени t_0 были определены опасные сейсмоактивные участки массива горных пород (МГП). Скорости развития деформационных процессов в различных геологических структурах, полученные на основе исследования изменений параметров V'_{Rad} и V'_{Rel} для областей концентрации динамических явлений, приведены в таблице.

Параметры концентраций динамических явлений

Область МГП, реагирующая на взрывное воздействие	Диапазон изменения, 10^{-2} м/с		Энергетический класс K
	V'_{Rad}	V'_{Rel}	
Контакты руд и пород	4,5-52,3	0,06-10,0	2,6
Дайки	0,2-17,7	0,1-2,7	1,6
Трещины	0,5-37,2	0,05-1,6	3
Тектонические трещины	0,1-32,9	0,2-26,2	3

При следующем этапе отработки этажа – обрушении блоков № 20, 14, 21 характер пространственно-временного распределения сейсмособытий существенно изменился, а количество динамических явлений возросло в 2-2,5 раза. В породном массиве образовались новые области концентрации сейсмособытий, причем центры кластеров сместились по глубине с гор. –210 м на гор. –280 м (рис.2). Количество зон концентрации динамических явлений на гор. –280 м увеличилось с семи до двадцати четырех (на первом этапе отработки этажа были выделены кластеры I-VII). Это можно расценивать как признак формирования удароопасной ситуации. Кроме того, кластеры плотно прилегают друг к другу, а их геометрические центры приближаются к диагональному тектоническому разлому, разделяющему висячий и лежачий бок месторождения. Горный удар после взрыва блока № 13 произошел вблизи пересечения диагонального разлома и нижней ветви пологого нарушения. Координаты горного удара соответствуют координатам центра кластера V на гор. –280 м. Следует выделить опасные по времени активизации

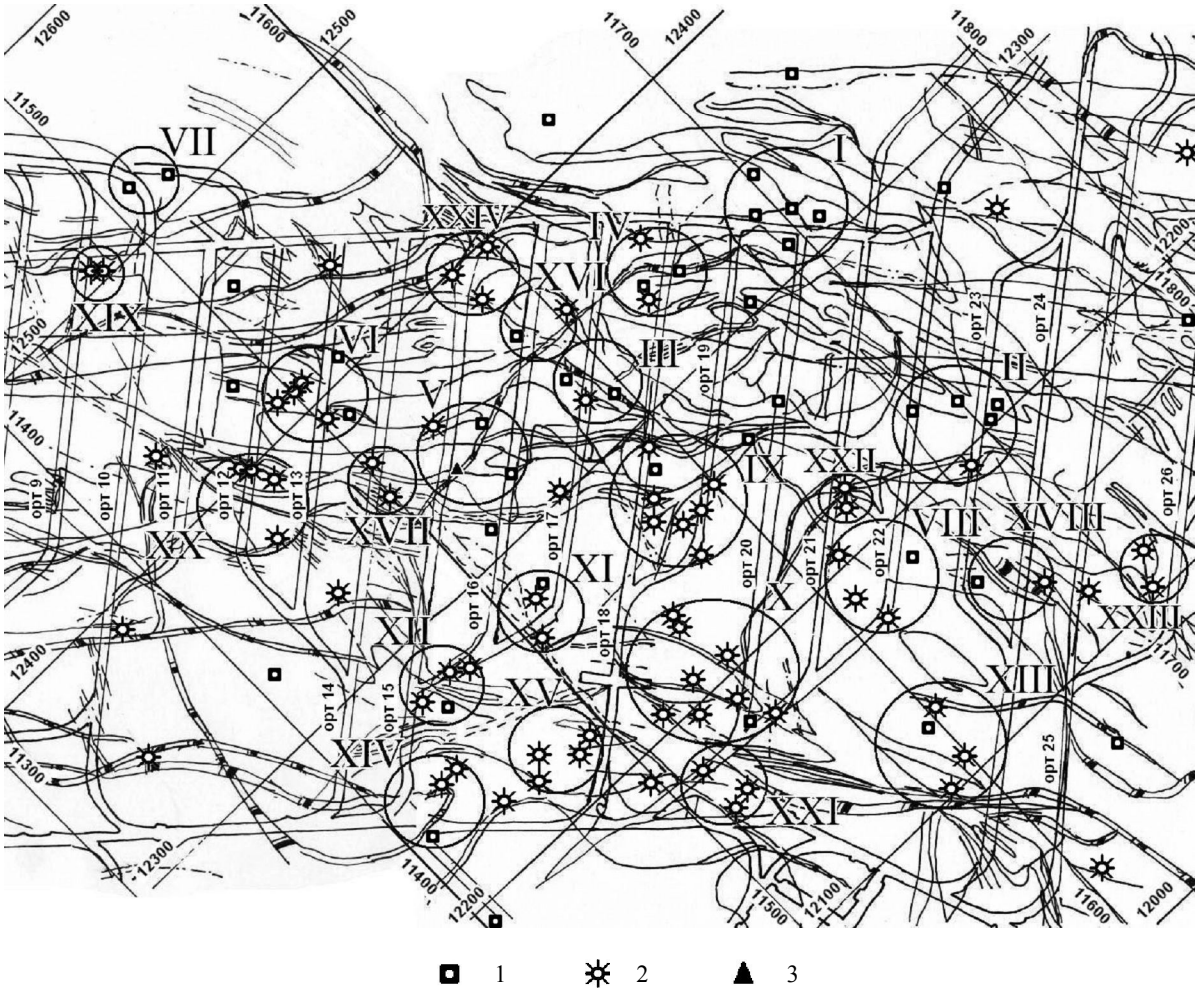


Рис.2. Области концентрации (I-XXIV) динамических явлений на гор. –280 м, образовавшиеся после обрушения блоков № 14-21; 1 – события, зарегистрированные после взрывов блоков № 15-19; 2 – события, произошедшие после взрывов блоков №20,14,21; 3 – очаг горного удара после обрушения блока № 13; 11300-11800,12000-12800 – координаты Y, X в маркшейдерской сетке

соседние кластеры № IX, X и XV, сформировавшиеся по краям диагонального разлома, в которых также могут произойти динамические явления высоких энергетических классов. Угол наклона прямых, описывающих уменьшение параметра t_0 от предыдущего взрыва (A) до последующего взрыва (B) (рис.3) показывает, что зоны IX и XV – наиболее опасные. Тем не менее значение среднего энергетического класса K для кластера V равно 3,38, тогда как в областях IX, X и XV параметр K составляет 2; 2,76 и 1,83. По-видимому, так как кластер V располагается ближе всего к области пересечения диагонального и пологого разломов, горный удар произошел именно там.

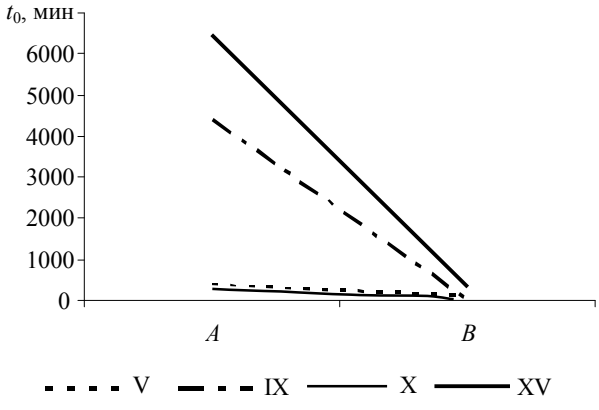


Рис.3. Изменение параметра t_0 при проведении массовых взрывов A, B для областей концентрации динамических явлений № V, IX, X и XV

Таким образом, на основании проведенных исследований можно выделить следующие признаки подготовки горного удара в массиве:

1. Увеличение количества областей концентрации сейсмических событий.

2. Смещение областей концентрации на нижний горизонт отрабатываемого этажа.

3. Группировка областей около крупных тектонических нарушений.

4. Уменьшение параметра t_0 для кластеров и возрастание среднего энергетического класса K.

В мае 2004 г. на Таштагольском месторождении был проведен массовый взрыв первой очереди «разрезного» блока № 17 на гор. –280 м. Обрушение блока вызвало большое количество динамических явлений, основная часть которых произошла на гор. –350 м.

Все это свидетельствует о возможной подготовке крупного динамического явления, а следовательно, необходимости проведения здесь аналогичных исследований по установлению сейсмоактивных геологических структур и определению их геометрических, энергетических и временных параметров.

Работа выполнена при поддержке молодежного гранта им. академика М.А.Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Герман В.И.* К вопросу о формализации процедуры прогнозирования динамических явлений в массиве горных пород / В.И.Герман, В.А.Мансуров // Труды Междунар. конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли» (2-4.10.2001) Новосибирск, 2002. С.368-375.

2. Исследование процесса распределения динамических явлений при массовых взрывах / А.А.Еременко, В.А.Еременко, А.В.Серяков, В.В.Дорогунцов // Труды Междунар. конф. «Проблемы и перспективы развития горных наук» (1-5.11.2004). Т.1. Геомеханика / ИГД СО РАН. Новосибирск, 2005. С.266-272.

3. *Курленя М.В.* Геомеханические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири / М.В.Курленя, А.А.Еременко, Б.В.Шрепп. Новосибирск: Наука, 2001. 184 с.

4. *Серяков А.В.* Влияние массовых взрывов на распределение динамических явлений и афтершоков Кочуринского землетрясения в Горной Шории: Автореф. дис. … канд. техн. наук. Новосибирск, 2006. 167 с.