

С.В. Цирель, А.Н. Шабаров, А.А. Просветова

**ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА
ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОРНЫХ РАБОТ**

Проанализированы основные методы прогнозирования потенциального геодинамического риска при подземной разработке месторождений. Предложен новый метод оценки геодинамического риска на уровне тектонических блоков с учетом их тектонической деформированности и отношения вертикальной составляющей тензора напряжений к гидростатическому давлению. Составлена классификация вероятных геодинамических опасностей в блоках с различными значениями критерия потенциальной геодинамической опасности.

Ключевые слова: геодинамическая опасность, горные удары, напряженно-деформированное состояние, тектоническая деформированность.

Наиболее точные прогнозные оценки геодинамической опасности могут быть получены в процессе отработки месторождений по текущим признакам напряженности в выработках (стреляния, шелушение, шелчки, различные инструментальные оценки) и сейсмоактивности. Однако не менее важно проведение предварительных оценок удароопасности на стадиях составления планов отработки, раскройки шахтных полей, выбора системы, порядка и направлений отработки.

Основными методами прогнозирования потенциального геодинамического риска являются, с одной стороны, оценки опасности различных тектонических структур [1], а с другой стороны – компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния [2, 3].

На первый взгляд, представляется, что указанные методы представляют собой два различных подхода к одним и тем же данным. В первом случае оценки опираются на статистические данные о частоте динамических явлений в различных тектонических структурах. Во втором случае произ-

водится расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) для тех же тектонических структур, причем при выборе критерия опасности опять-таки используются статистические данные о частоте динамических явлений.

Однако на самом деле между этими двумя подходами есть и более глубокие различия. Анализ геодинамического риска в различных тектонических блоках и в различных участках этих блоков позволяет выявить влияние на удароопасность различных характеристик горного массива, в том числе его трещиноватости (включая не только количество трещин, но их направления и морфологию), его пористости, насыщенности флюидами и др. Эти особенности горного массива отражают не только его современное напряженно-деформированное состояние, но также его историю, память о испытанных ранее деформациях.

Включение многих из этих характеристик в свойства массива при расчетах напряжений в настоящее время затруднительно. Прежде всего, отсутствуют статистически достоверные методы учета влияния тектонического

строения на свойства массива. При этом неточный учет может привести к существенным искажениям, занижению риска в наиболее опасных тектонических структурах. Например, в приразломных зонах наиболее напряженных разломов породы имеют наименьшую трещиноватость и наиболее плотную структуру, что ведет к увеличению прочностных характеристик. Учет повышения прочностных характеристик при недостаточном учете повышения модуля деформации и сниженной способности к релаксации напряжений и диссипации энергии может привести к выводам, что на подобных участках массива геодинамический риск снижается, а не повышается.

Как показали исследования, при оценке геодинамического риска на уровне тектонических блоков важную роль играет их тектоническая деформированность D [1], в простейшем случае представляющий собой конечную деформацию сдвига – тангенс угла сдвига, который испытал данный блок за всю свою геологическую историю, оцененный по маркирующему слою. В случае граничных разрывов, имеющих противоположное падение, необходимо еще учитывать влияние деформаций сжатия или растяжения на напряженность структурного блока. Сопоставление введенного показателя с частотой геодинамических событий проводилось на ряде удароопасных месторождений и показало сильную корреляцию ($R = 0,85–0,98$) между значениями D и количеством геодинамических событий. Данный показатель может использоваться как дополнительная относительная характеристика геодинамического риска для структурных блоков.

Исследования, проведенные на рудниках «Октябрьский» и «Таймырский» (ОАО «ГМК «Норильский никель»), показали, что по уровню текто-

нической деформированности участки массива можно разделить на три группы:

- участки с минимальной опасностью ($D < 0,4$);
- участки опасные ($0,4 \leq D \leq 0,8$);
- участки повышенной опасности ($D > 0,8$).

Следует отметить, что точность такого прогноза существенно зависит от адекватности геологической интерпретации блокового строения массива по разрезам и от количества таких разрезов. В связи с этим для выявления геодинамически опасных зон на участках планируемых горных работ необходимо проводить расчеты тектонической деформированности блоков массива по всем существующим геологическим разрезам на прилегающей территории. Наиболее эффективно использование объемных геолого-структурных моделей месторождений.

В качестве показателя опасности на основе оценок НДС предлагается использовать отношение вертикальной составляющей тензора напряжений к гидростатическому давлению, введенное в [4]. Успешное применение данного относительного показателя как характеристики удароопасности для Воркутского и Донецкого угольных бассейнов, по-видимому, опирается на два обстоятельства. Во-первых, изменения наиболее стабильной компоненты тензора напряжений массива, «вертикального давления», суммарно отражают изменения других его компонент, во-вторых, отношение $\sigma_z/\gamma H$ (где γ – средняя плотность, H – глубина) показывает степень отклонения НДС массива от стабильного безопасного состояния и характеризует уровень удароопасности, даже максимальное напряжение не превышает 70% среднего предела прочности на сжатие породы.

Таким образом, в первом приближении прогноз геодинамической опас-

Вероятные геодинамические опасности в блоках с различными значениями K

Блоки с $K > 2,0$	Блоки с $K \leq 2,0$
При проведении подготовительных выработок возможны стреляния, толчки, микроудары, внезапные выбросы, иногда – горные удары.	При проведении подготовительных выработок возможны стреляния, толчки, иногда внезапные выбросы.
При очистных работах возможны горные удары и выбросы, иногда – горно-тектонические удары.	При очистных работах возможны выбросы, стреляния, толчки, микроудары, реже – горные удары.

ности должен базироваться на двух величинах – $\sigma_z/\gamma H$ и D . Очевидно, они независимы друг от друга, причем геодинамические явления могут иметь место при высоких значениях $\sigma_z/\gamma H$ в блоках с малой тектонической деформированностью (низких значениях D), но обратное невозможно – в зонах разгрузки даже в блоках с высокими значениями D динамические события не происходят. Исходя из проведенных рассуждений, а также линейной связи количества динамических событий с D , критерий потенциальной геодинамической опасности можно K представить в виде:

$$K = (\sigma_z/\gamma H - 1) + \beta D (\sigma_z/\gamma H - 1)$$

Ретроспективный анализ сейсмических событий в разделительном массиве РМ-1 на руднике «Октябрьский» ОАО «ГМК «Норильский никель» продемонстрировал, что почти 90% из них локализируются в области значений $\sigma_z/\gamma H \geq 1,4$. Сопоставление участков с различными значениями D показало, что большая часть сейсмических событий произошедших между изолиниями $\sigma_z/\gamma H = 1,5$ и $\sigma_z/\gamma H = 1,4$ произошла в блоках с высокими значениями $D \approx 0,8-1,0$ при средневзвешенном значении в исследуемой об-

ласти $D \approx 0,3-0,4$. Таким образом, изменение D смещает критическое значение β до 0,5. Соответственно, в первом приближении условие геодинамической опасности имеет вид:

$$K = (1,0 + 0,5 D) (\sigma_z/\gamma H - 1,0) > 2,0$$

В дальнейшем полученное условие должно быть уточнено за счет привлечения новых данных и учета дополнительных факторов.

Различие возможных геодинамических опасностей в блоках со значениями K больше и меньше двух представлено в таблице.

Следует отметить, что полученные численные значения зависят от типа пород, строения массива и общей геодинамической обстановки, поэтому при анализе других месторождений количественная точность может быть достигнута после сравнения фактической геодинамической активности с условиями, характеризующими опасность геодинамических явлений. В то же время постоянство критических значений D и $\sigma_z/\gamma H$ для ряда рудных месторождений и угольных бассейнов указывает, что константы, входящие в формулу могут быть без большой ошибки перенесены на другие удароопасные массивы, планируемые к обработке.

1. Шабаров А.Н., Цирель С.В., Гусева Н.В., Дупак Ю.Н., Кобылянский Ю.Г., Оловянный А.Г. Практические приложения геодинамики недр. Горная геомеханика и маркшейдерия в III тысячелетии. – СПб.: изд. ВНИМИ, 2004. – С. 137–162.

2. Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С., Зубков В.В. и др. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов.

Справочное пособие. – М.: Недра, 1992. – 256 с.

3. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. – М.: Недра, 1992. – 224 с.

4. Зубков В.В. К вопросу об опорном давлении, вызванном влиянием очистных выработок на смежных угольных пластах. Сборник № 99. – Л.: ВНИМИ, 1976. – С. 144–147. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Цирель Сергей Владимович¹ – доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: tsirel58@gmail.com,

Шабаров Аркадий Николаевич¹ – доктор технических наук, проректор (директор) научного центра геомеханики и проблем горного производства, e-mail: shabarov_an@spmi.ru,

Просветова Анастасия Александровна¹ – аспирант, инженер, e-mail: Stasia_89@list.ru,

¹ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 551.24

PREDICTIVE ESTIMATE GEODYNAMIC HAZARD ASSOCIATED WITH DESIGN OF MINING

Tsirel' S.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: tsirel58@gmail.com,

Shabarov A.N.¹, Doctor of Technical Sciences,

Vice-Principal (Director), Research Center for Geomechanics and Problems of Mining Practice, e-mail: shabarov_an@spmi.ru

Prosvetova A.A.¹, Graduate Student, Engineer, e-mail: Stasia_89@list.ru,

¹ National Mineral Resource University «University of Mines», Saint-Petersburg, Russia.

Analyzed the main methods of predicting the potential geodynamic hazard in underground mining activity. A new method for estimating the geodynamic risk at the level of tectonic blocks in accordance with their tectonic deformation and the relationship of the vertical component of the stress tensor to the directionless pressure. A classification of possible geodynamic phenomenons in blocks with different criteria geodynamic potential hazards.

Key words: geodynamic hazard, rock bump, stress-strain state, tectonic deformation.

REFERENCES

1. Shabarov A.N., Tsirel' S.V., Guseva N.V., Dupak Yu.N., Kobylyanski Yu.G., Olovyanyni A.G. *Prakticheskie prilozheniya geodinamiki neдр. Gornaya geomekhanika i marksheideriya v III tysyacheletii* (Practical applications of geodynamics of Earth's interior: The 3rd millennium rock mechanics and mine surveying), Saint-Petersburg, izd. VNIMI, 2004, pp. 137–162.

2. Petukhov I.M., Lin'kov A.M., Sidorov V.S., Zubkov V.V. *Raschetnye metody v mekhanike gornykh udarov i vybrosov. Spravochnoe posobie* (Computational methods in mechanics of rock bursts and outbursts. Reference aid), Moscow, Nedra, 1992, 256 p.

3. Stavrogin A.N., Protosenya A.G. *Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya gornykh porod* (Mechanics of rock deformation and failure), Moscow, Nedra, 1992, 224 p.

4. Zubkov V.V. *K voprosu ob opornom davlenii, vyzvanom vliyaniem ochistnykh vyrabotok na smezhnykh ugoľnykh plastakh*. Sbornik № 99 (Abutment pressure induced by contiguous bed mining. Collection no 99), Leningrad, VNIMI, 1976, pp. 144–147.

