

вий поддержания выработок в зависимости от свойств пород и состояния массива. Установлено, что с учетом разрушения массива пород вблизи обнажений для ограничения его развития при эксплуатации выработок необходимо в комплексе решать вопросы рационального вовлечения в работу крепи зоны разрушенных пород вокруг выработок. Выполненный анализ подтверждает лишний раз сформировавшееся мнение о путях обеспечения устойчивости выработок, но новизна исследований заключается в предложенном критерии и аппарате расчета, которые дают возможность выполнять такие работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников В.Г., Левченко Г.В. Кинетика и механизм разрушения пород вблизи обнажений // Геотехническая механика. Сб. научн. тр. - Днепропетровск. - 2000. - Вып. 21. - С. 83-86.
2. Николаевский В.Н. О разрушении вязкоупругих тел // Прикл. мат. и мех. - 1981. - Т. 45. - Вып. 6. - С. 1121-1128.
3. Колесников В.Г., Левченко Г.В. Кинетика разрушения пород в приконтурной области // Геотехническая механика. Сб. научн. тр. - Днепропетровск, 2001. - Вып. 27. - С. 36-41.

**УДК 550.343.6**

А.В. Ловчиков

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧАГОВЫХ ЗОН ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ НА РУДНИКАХ.**

Виявлені та обґрунтовані закономірності очагових зон гірничо-тектонічних ударів на рудниках, наведено фактичні дані, побудовано графіки залежностей.

### **LAWS OF FORMATION THE CENTER ZONES OF ROCK-TECTONIC IMPACTS ON ORE MINES.**

There're revealed and proved the laws of formation the center zones rock-tectonic impacts on ore mines, the fact sheet is given, the diagrams of dependences are constructed.

Наиболее тяжелые горные удары, происходящие в рудниках, называются горно-тектоническими. Такие удары, обычно, вызывают в рудниках разрушения целиков и выработок на больших площадях. Нами предложено относить к горно-тектоническим удары, выделенная сейсмическая энергия которых не менее  $10^{10}$  Дж, а площадь разрушения выработок после которых составляет не менее 10 тыс. м<sup>2</sup> [1]. Как показывает практика эксплуатации наиболее глубоких рудников мира, проблемы с горно-тектоническими ударами, как и с горными ударами вообще, наиболее остро встают с глубины более 1000-1500 м. В настоящее время на рудниках России таких глубин достигли только отдельные выработки на некоторых месторождениях (Норильское, Таштагольское и другие), вследствие чего количество происшедших горно-тектонических ударов пока невелико и исчисляется первыми десятками случаев. Приведем примеры некоторых наиболее сильных горно-тектонических ударов, имевших место в последние годы на российских рудниках, а также, для сравнения, некоторых аналогичных событий на зарубежных рудниках, взятые из литературных источников (таблица).

Таблица 1 – Характеристика очагов сильнейших техногенных землетрясений в рудниках

| №№ п/п | Магнитуда землетрясения | Сейсмическая энергия, Дж | Рудник, месторождение, его местонахождение                                       | Дата сильнейшего толчка             | Последствия в руднике  |
|--------|-------------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|--|
| 1      | 4.0-4.4                 | $10^{11}$ - $10^{12}$    | Российские рудники<br>“Умбозеро”, Ловозерское месторождение, Кольский полуостров | 17.08.1999 г.<br>8h 44' 35''        | Площадь разрушенных выработок рудника 600-650 тыс. м <sup>2</sup> .  |
| 2      | ~3.5-4.0                | $10^{10}$ - $10^{11}$    | Шахта “Курбазакская”, ЮУБР   | 28.05.1990 г.<br>6h 35' и<br>8h 40' | Площадь разрушения выработок в руднике 450000 м <sup>2</sup> .   |
| 3      | 3.5-3.8                 |                          | Верхнекамское месторождение калийных солей, г. Соликамск                         | 5.01.1995 г.<br>15h 56'             | Обрушения кровли в выработанном пространстве 300 тыс. м <sup>2</sup> , мульда на поверхности 650×850 м.                        |
| 4      | 3.4-3.6                 |                          | АО “Апатит”, Кировский рудник  | 16.04.1989 г.                       | Разрушения крепи, поднятия и смещения рельсового пути, выбросы пород до 2 м <sup>3</sup> на 3 горизонтах (200 м по вертикали). |
| 5      | 2.2-2.6                 | $10^9$                   | Рудник “Умбозеро”<br>ОАО “Севредмет”, Ловозерское месторождение                  | 3-9.11.91 г.                        | Разрушения в очистных выработках на площади 80000 м <sup>2</sup> .   |
| 6      | 5.5                     |                          | Зарубежные рудники<br>Калийный рудник Верра, Тюрингия, Германия                  | 13.03.1989 г.                       | Площадь разрушения выработок в руднике 6000000 м <sup>2</sup> [2], глубина от поверхности 400-1000 м                           |
| 7      | 5.3                     |                          | Троновый рудник Солвей, штат Вайоминг, США                                       | 3.02.1995 г.                        | Площадь разрушения выработок 1900000 м <sup>2</sup> , глубина от поверхности 490-520 м [3].                                    |
| 8      | 4.9                     |                          | Золотодобывающий рудник Клерксдорп, Витватерсранд, ЮАР                           | 14.04.1987                          | Площадь разрушения выработок 2500 м × 300 м, глубина от поверхности ~2500 м [4].   |

Для выявления закономерностей происхождения упомянутых выше событий, обратим внимание на некоторые горнотехнические аспекты проблемы. Прежде всего, на то обстоятельство, что все упомянутые наиболее сильные сейсмические события (табл. 1), за исключением события № 4, произошли на пологопадающих пластообразных месторождениях малой и средней мощности.

Причиной горно-тектонических ударов являются подвижки геолого-структурных блоков массива, обусловленные влиянием горных работ. Геолого-структурные блоки ограничиваются тектоническими нарушениями, плоскости которых являются гранями блоков. Для инициирования горно-тектонических ударов необходимы подвижки крупных блоков, с поперечными размерами порядка сотен метров. Приблизительное представление о размерах сдвинувшихся блоков дают размеры участков разрушившихся выработок (табл. 1). Однако для получения наглядного представления о размерах очага горно-тектонического удара необходимо иметь более четкий линейный показатель.

Геолого-структурные блоки IV-V рангов, подвижки которых происходят вследствие воздействия горных работ, подрабатываются горными выработками по плоскости пластообразных рудных залежей. В плоскости пласта они обычно имеют форму четырехугольников неправильной формы. Примем, в первом приближении, что они имеют форму квадрата. Тогда поперечный размер такого блока можно оценить по формуле:

$$L = \sqrt{S} \quad (1)$$

где  $L$  – поперечный размер блока, м;  $S$  – площадь блока в плоскости пласта,  $\text{м}^2$ .

Поскольку не все тектонические нарушения, ограничивающие сдвинувшиеся геолого-структурные блоки, вскрываются горными выработками, определить непосредственно размер сдвинувшегося блока не всегда представляется возможным. Поэтому в качестве приближенного размера сдвинувшегося блока (или нескольких блоков) в плоскости пласта примем площадь области разрушенных, вследствие горно-тектонического удара, выработок. Тогда поперечный размер очага горно-тектонического удара можно определить по формуле (1). На рис. 1 показаны графики зависимости площади разрушенной области и ее поперечного размера, определенного по формуле (1), от мощности (энергии) горно-тектонического удара, построенные по данным таблицы. Из графиков видно, что наблюдается прямопропорциональная зависимость между энергией горно-тектонического удара и размерами разрушенной области, по крайней мере, в пределах энергетических характеристик событий, определяемых магнитудами  $2 < M \leq 5$ . В работе [5] эта зависимость выражена нами эмпирической формулой:

$$\lg E = 3.26L + 8.3 \quad (2)$$

где  $E$  – энергия горно-тектонического удара, Дж;  $L$  – поперечный размер очага горно-тектонического удара, км.

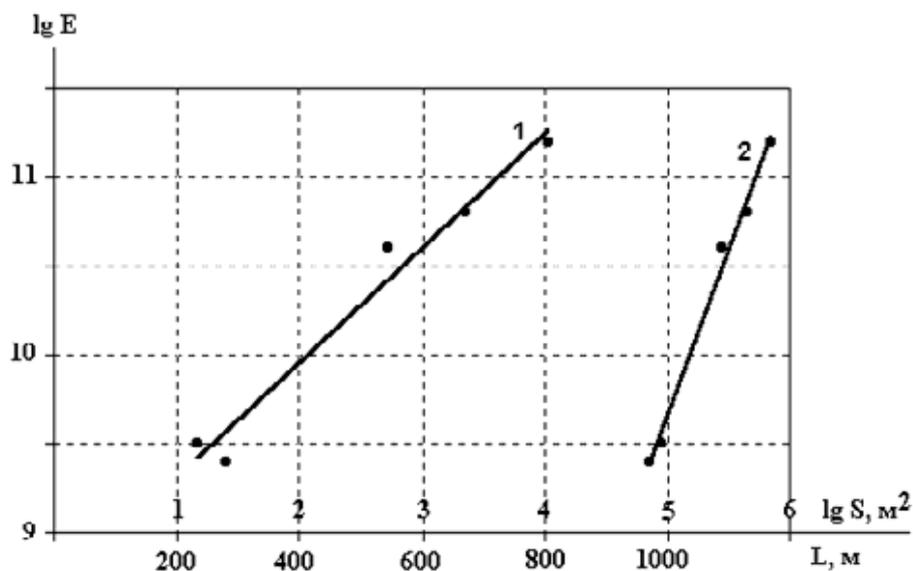


Рис. 1 – Зависимость поперечного размера (1) и площади разрушенной области (2) от энергии горно-тектонического удара

Прямая 1 на рис. 1 близко соответствует зависимости (2). Формула (2) полезна тем, что в соответствии с методологическими положениями прогноза горных ударов [5], по размерам геолого-структурных блоков позволяет прогнозировать энергию потенциальных горных ударов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 99-05-64506).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ловчиков А.В. Горно-тектонические удары на российских рудниках, статистика и некоторые закономерности. Физ.-тех. Проблемы разработки полезн. ископаемых, № 2, 1997, с. 22-32.
2. Knoll P. The fluid-Induced Tectonic rockburst of march 13, 1989 in the "Werra" Rotash mining district of the GDR (first results) // Gerlands Beitrage zur Geophysic. – 1990? – 99(6) – P. 239-245.
3. Swanson P.L., Boler F.M. The magnitude 5.3 seismic event and collapse of the solvey trona mine: analysis of rillar/floor failure stability: Open file report 86-95, U.S. Departament of the Inteior Bureau of Mines.– 82 p.
4. Brummer R.K., Rorke A.J. Case studies on large rockburst in South African gold mine. Rockburst and Seismicity in Mines. C. Fairhurst (ed.), Balkema, Rotterdam, 1990, p.p. 323-329.
5. Ловчиков А.В. Параметры очагов сильнейших горно-тектонических ударов на рудниках России. Горный журнал, № 2, 2000 г., с. 9-11.