

УДК 622.831; 622.2; 622.235

В.А. Еременко, Е.Н. Семенякин

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ЗОН ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ УДАРООПАСНЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ***

Установлена взаимосвязь последовательной отработки блоков с процессом формирования зон концентрации напряжений и динамических явлений в условиях действия высоких горизонтальных напряжений на больших глубинах ведения горных работ.

Ключевые слова: горный удар, зоны концентрации напряжений и динамических явлений, сейсмическая энергия, массовый взрыв, блок, тектонические нарушения.

Железорудные месторождения Западной Сибири располагаются в регионах современной тектонической активности недр. Горизонтальные напряжения превышают вертикальные вне зоны очистной выемки в 1,3—2,6 раза, в зоне — в 3,5–5,2 (рис. 1) [1, 2]. Глубина горных работ на месторождениях достигла 1050 м [3, 4]. При переходе горных работ на большую глубину увеличивается горное давление, и изменяются физико-механические свойства горных пород [5, 6].

Применение системы разработки этажного принудительного обрушения с отработкой рудных тел сплошным фронтом без оставления целиков позволяет управлять горным давлением за счет погашения выработанного пространства обрушенными вмещающими горными породами (рис. 2). Наибольшее влияние на массив горных пород оказывают взрывные работы. Масса заряда ВВ технологических (в среднем 0,7–20 т) и массовых взры-

вов (в среднем 120–370 т) изменяется от 0,5 до 700 т, при этом обрушается массив объемом от 30 до 250 тыс. м³.

Микросейсмическим методом с понижением глубины разработки месторождений регистрируются динамические явления с сейсмической энергией от 10 до 10⁹ Дж (удары горно-тектонического типа, горные удары, микроудары, толчки и др.), сопровождающиеся выбросами руды (породы) в подземные выработки объемом свыше 10 м³, разрушением крепи, смещением машин, механизмов и оборудования, приводящим к нарушению технологического процесса.

Вследствие перераспределения напряжений при нарушении сплошности массива формируются зоны концентрации сжимающих напряжений, действующих вблизи контура по всему периметру обнажения отрабатываемого участка. Их наличие определяется методами кернового бурения, электрометрии и глубинными реперными станциями. На значитель-

* Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт № 16.515.11.5085.

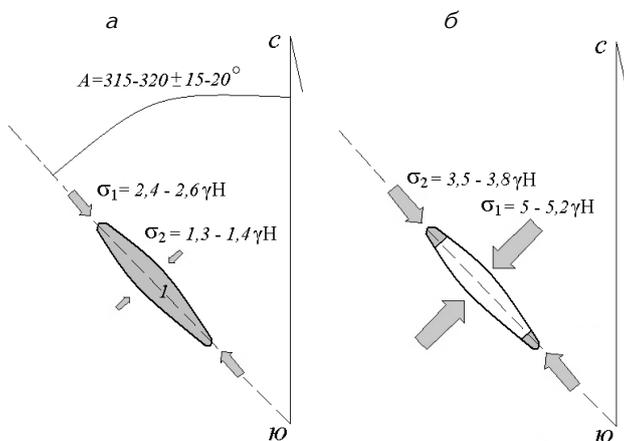


Рис. 1. Распределение главных нормальных напряжений (σ_1 , σ_2) и их величин вне зоны (а) и в зоне ведения очистных работ (б). 1 – рудное тело; А – азимут действия максимальных природных сжимающих напряжений

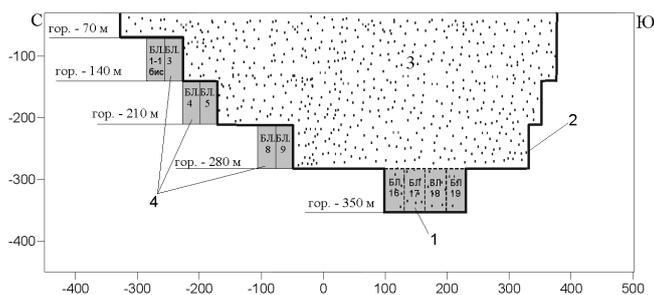


Рис. 2. Схема расположения блоков на участке Восточном Таштагольском месторождении (вертикальный разрез по простиранию рудных тел): 1 – разрезной блок нижнего этажа; 2 – граница очистного пространства; 3 – выработанное пространство; 4 – технологические блоки; Бл. 1-1 бис ч 19 – номера блоков; гор. -350 ÷ -70 м – горизонты; -100 ÷ 500 – расстояние, м; с – Ю – север – юг

ных расстояниях от выработанного пространства наблюдаются смещения, из-за неравномерности которых происходит деформирование массива и изменение его напряженного состояния. Массовые взрывы инициируют выделение сейсмической энергии в массиве и провоцируют динамические явления. Наибольшая концентрация действующих напряжений определена в массиве с предельным состоянием

на расстояниях от 20 до 60 м от границы выработанного пространства, где значения напряжений приближены или выше предела прочности горных пород. В этих областях механические процессы под воздействием техногенных факторов происходят с большей интенсивностью. Массив горных пород, расположенный на границе очистного или выработанного пространства и находящийся в запредельном состоянии, ранее уже подвергался значительному воздействию горных работ и тектонических напряжений. В нем произошли и происходят механические процессы в виде смешений, деформаций, разрушений горных пород и др., вызванные действием высокого горного давления (рис. 3).

При развитии фронта ведения очистных работ в центральной части шахтного поля зоны концентрации динамических явлений с увеличением сейсмической энергии толчков смещаются к флангам месторождения (рис. 4). Динамические явления в зоне ведения очистных работ происходят по всему шахтному полю как в плане, так и по высоте обрабатываемых участков. Значительно реже они наблюдаются вне зоны ведения очистных работ. Наиболее сильные толчки приурочены к тектоническим нарушениям и локализуются в районе очистных работ, зоне опорного давления, в районе подсечного пространства и днищ

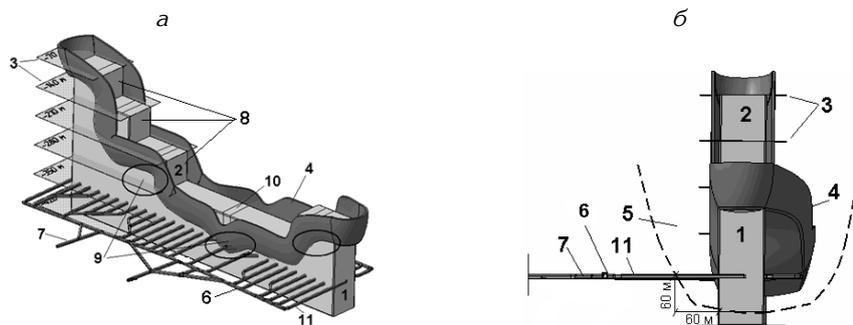


Рис. 3. Схема обработки участка Восточного Таштагольского месторождения системой разработки этажного принудительного обрушения при переходе горных работ на нижележащие горизонты. Аксонометрия (а) и вид с фланга (б); 1 – обрабатываемое рудное тело с углом падения 70-90°; 2 – обрабатываемые блоки; 3 – горизонты; 4 – зона максимальных напряжений; 5 – зона повышенных концентраций напряжений; 6 – полевой штрек; 7 – квершлаг; 8 – границы очистного пространства; 9 – зоны концентрации динамических явлений; 10 – разрезной блок нижележащего этажа; 11 – орт



Рис. 4. Схема расположения зон концентрации динамических явлений (1). b_1 – разрезной блок в этаже; b_n – обрабатываемые блоки; n – номер блока; h – ширина блока; R – расстояние от выработанного пространства до центра зоны концентрации динамических явлений; r – ширина зоны; r_0 , r_k – границы зоны концентрации динамических явлений; H – высота этажа; H_1 – высота днища блока; H_2 – высота бурового горизонта

блоков, где находится наибольшее количество подготовительных и нарезных выработок.

Зоны концентрации динамических явлений формируются в процессе хрупкого разрушения рудного и породного массива или подвижки по тектоническим нарушениям как в глубине, так и в краевых частях массива, состоящего из структурных блоков разного уровня, где имеются тектонические разломы, трещины, контакты

разномодульных пород и пр. Динамические явления провоцируются в основном взрывными работами в массиве с предельным состоянием, где значения напряжений приближены или выше предела прочности горных пород. После взрывов происходит разгрузка массива (рис. 5). Затем в течение определенного времени напряжения в массиве вновь возрастают в районе установленных зон, являющихся концентраторами. Если не

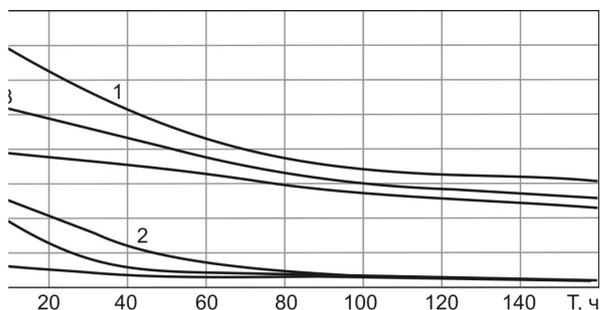


Рис. 5. Изменение показателя энергетического класса динамических явлений в течение недели после массовых взрывов на Таштагольском месторождении: 1, 3, 5 — максимальная энергия толчков, соответственно на северной фланге (1), в центральной части (3) и южной фланге (5) месторождения; 2, 4, минимальная энергия толчков

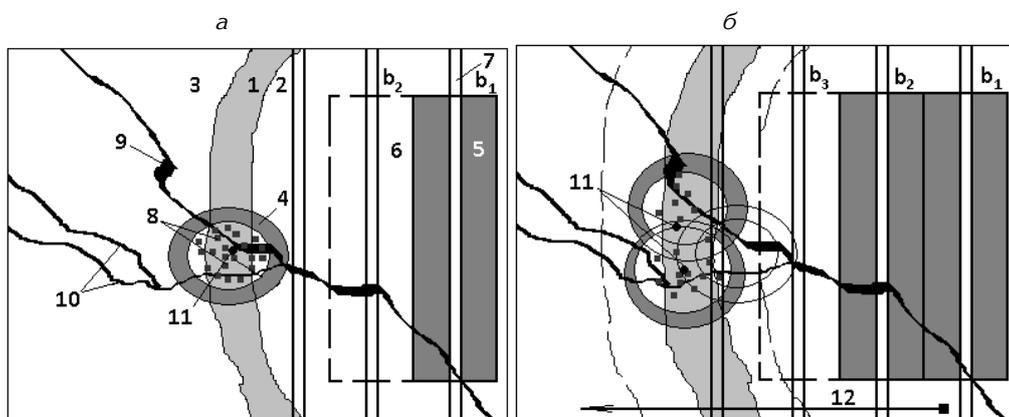


Рис. 6. Схема формирования зон концентрации динамических явлений (а, б) при последовательной отработке блоков. $b_{1,3}$ — отработываемые блоки; 1 — массив горных пород, находящийся в предельном состоянии от действия максимальных сжимающих напряжений; 2 — запредельное состояние; 3 — упругое состояние; 4 — зона повышенных напряжений; 5 — взорванный блок; 6 — подготавливаемый блок; 7 — орт; 8 — динамические явления; 9 — тектонические нарушения; 10 — оперяющие трещины; 11 — зона концентрации динамических явлений; 12 — направление последовательной отработки блоков

производится очередной взрыв, то возрастает вероятность возникновения динамических явлений с большим энергетическим классом [7]. Зона концентрации толчков формируется после отбойки очередного блока на большем расстоянии от центральной части шахтного поля, так как границы очистного и выработанного пространств перемещаются к флангам месторождения (рис. 6).

Границы зон концентрации динамических явлений (r_0 , r_k) в процессе отработки этажа от центра к флангам месторождений определяются выражением

$$\{r_0; r_k\} = \{(r + h \cdot (n - 1,67)); (r + h \cdot (n - 0,33))\},$$

где r_0 — расстояние от выработанного пространства до начала границы зоны концентрации динамических явлений, м; r_k — расстояние от выработанного пространства до окончания границы зоны концентрации динамических явлений, м; r — ширина зоны концентрации динамических явлений, м; h — ширина блока, м; n — номер блока ($n = 1$ — первый разрезной блок в этаже).

Установлено, что при последовательной выемке блоков после массо-

вых взрывов в районе днищ блоков возникают микроудары и горные удары с сейсмической энергией от 10^5 до 10^8 Дж; в кровле и бортах выработанного пространства происходят толчки с энергией от 10^2 до 10^4 Дж. Зоны концентрации напряжений удалены от границ выработанного пространства в днище и бортах блока на расстояния до 100 м, в кровле — 150 м.

Таким образом, установлены закономерности формирования зон концентрации напряжений и динамических явлений в процессе развития

горных работ с применением системы разработки этажного принудительного обрушения. Определены границы зон концентрации динамических явлений относительно выработанного пространства. Полученные результаты позволяют своевременно разработать профилактические мероприятия, направленные на повышение безопасности ведения горных работ, включающие, например, использование в прогнозируемых зонах концентрации динамических явлений соответствующих типов крепления выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А. Техногенные геомеханические поля напряжений. — Новосибирск: Наука, 2005. — 264 с.
2. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных к горным ударам / ВостНИГРИ, ВНИМИ. — Новокузнецк, 1991. — 90 с.
3. Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П. Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов. — Новосибирск: Наука, 2008. — 250 с.
4. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. Разработка руд на больших глубинах. — М.: Недра, 1982. — 292 с.
5. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. — М.: Недра, 1999. — 288 с.
6. Турчанинов И.А. О взаимосвязи напряжённого состояния и свойств горных пород // ФТПРПИ. — 1978. — № 2. — С. 20-25.
7. Еременко В.А., Лобанов Е.А., Татарников Б.Б., Котляров А.А. Исследование влияния увеличения объема выработанного пространства на интенсивность динамических явлений. — Материалы 8 Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». 14-18 ноября 2011 г. — Москва: 2011. — С. 41-46. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Еременко В.А. — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИГКОН РАН, e-mail: eremenko@ngs.ru;
Семенякин Е.Н. — аспирант, инженер-электроник НОУ «Региональный центр подготовки персонала Евраз-Сибирь».

