© А.А. Еременко, В.М. Серяков, В.А. Еременко, Е.Н. Щептев, В.С. Беляев, 2013

УДК 622.831.325

А.А. Еременко, В.М. Серяков, В.А. Еременко, Е.Н. Щептев, В.С. Беляев

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОЛЧКОВ ПРИ ВЫЕМКЕ РУДНЫХ ТЕЛ

Выполнена оценка геомеханического состояния массива в охранном целике под реку на Подрусловом участке Шерегешевского месторождения. Установлен процесс перераспределения напряжений и толчков при отработке блоков в рудных телах.
Ключевые слова: напряжение, моделирование, рудное тело, месторождение, блок.

Горная Шория является важным регионом России по разработке месторождений железной руды. Разработка месторождений ведется шахтным способом и в основе технологии добычи лежит отбойка горной массы посредством массовых взрывов. Экономика горного производства диктует производственникам постоянное наращивание мощности массовых взрывов. Вместе с тем, согласно карте сейсмического районирования ОСР-97 Горная Шория расположена в 7 балльной зоне сейсмичности [1]. Поэтому увеличение масштабов производства, которое сопровождается увеличением объемов выработанного подземного пространства, ведет к изменению напряженно-деформированного состояния горного массива. Кроме того, и сам массовый взрыв является сильным динамическим воздействием на верхнюю литосферу. Перечисленные факторы обуславливают мощные техногенные воздействия на геофизическую среду, являются сильным антропогенным вмешательством в ход естественного тектонического процесса региона. Закономерным итогом такого вмешательства являются горные удары, которые наблюдаются на шахтах Горной Шории.

Исследования показывают, что горные удары – это лишь один класс геодинамических событий, которые сопровождают разработку месторождений. Сюда следует добавить и горно-тектонические удары, которые по энергии соответствуют естественным землетрясениям, и обрушение горных выработок, и провалы дневной поверхности, и пылегазовые взрывы, и релаксационные процессы в горном массиве, которые связаны с консервацией шахт. Все указанные геодинамические явления сопровождаются излучением сейсмических сигналов различной амплитуды и частоты, что позволяет изучать эти явления с помощью тех же методов и той же аппаратуры, которая используется в сейсмологии.

Техногенные воздействия на литосферу происходят как путем создания плотностных неоднородностей (выемка из горного массива объемов полезных ископаемых), так и путем изменения скорости перемещений естественных тектонических структурных

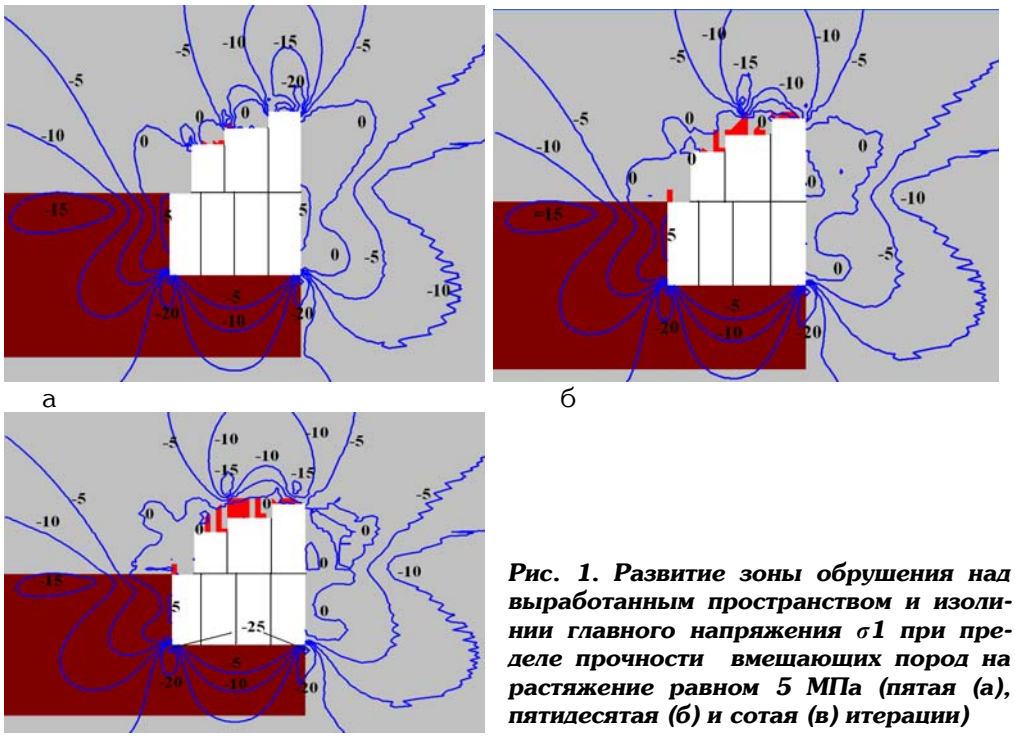


Рис. 1. Развитие зоны обрушения над выработанным пространством и изолинии главного напряжения σ1 при пределе прочности вмещающих пород на растяжение равном 5 МПа (пятая (а), пятидесятая (б) и сотая (в) итерации)

элементов за счет изменений поля напряжений. При огромном запасе тектонической энергии в нарушенной среде даже относительно слабые техногенные воздействия могут спровоцировать мощные геодинамические события.

Указанная выше постановка проблемы позволит найти новые подходы к решению задачи о техногенном воздействии горного производства на геофизическую среду и его последствиях. Ее решение будет иметь важное прикладное значение для горнодобывающей отрасли и, в частности, для взрывной отбойки в удароопасных условиях.

Одним из эффективных метод оценки геомеханического состояния массива горных пород в районах ведения очистных работ является математическое моделирование. Значительные запасы руд Подруслового участка сосредоточены в охранном целике под рекой Большая речка. В настоящее время на этом участке вне охранного целика отработаны рудные блоки в этаже (+325 +185) м.

Выполнена оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке рудных запасов в охранном целике под реку Большая речка. Исследования выполнены методом конечных элементов. Исходное напряженное состояние массива было принято соответствующим данным натурных наблюдений: на глубине H вертикальное напряжение $\sigma_y = \gamma H$, где γ — объемный вес налегающих пород, H — расстояние до земной поверхности; горизонтальное напряжение в плоскости рассматриваемого сечения $-\sigma_x = 2\gamma H$. Механические свойства рудного тела и вмещающих пород при моделировании были приняты следую-

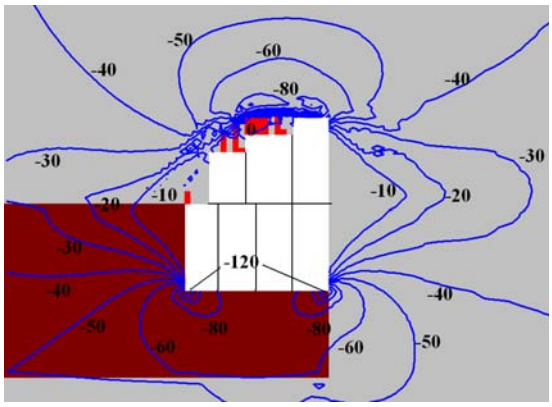


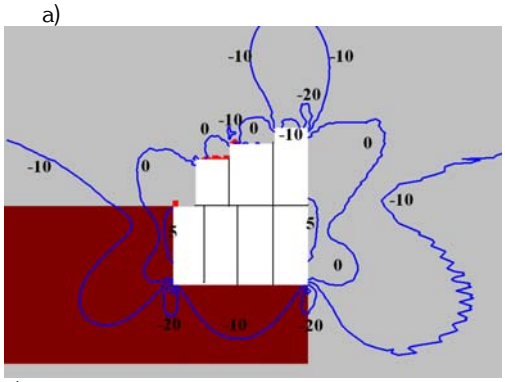
Рис. 2. Конфигурация зоны обрушения над выработанным пространством и изолинии главного напряжения σ2 при пределе прочности вмещающих пород на растяжение, равном 5 МПа

щими: модуль Юнга E = 90000 и 75000 МПа, коэффициент Пуассона v = 0,29 и 0,25, соответственно.

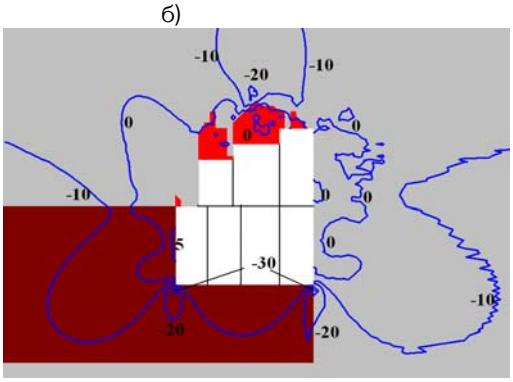
Рис. 1 дает возможность проследить развитие зоны обрушения в кровле выработанного пространства при значении предела прочности вмещающих пород на растяжение σр = 5 МПа. Здесь же показаны изолинии распределения главного напряжения σ1. При выбранном значении предела прочности зона обрушения охватывает лишь незначительную область массива в кровле выработанного пространства, что слабо сказывается на распределении напряжений σ1 и σ2 . Окончательная картина их распределения приведена на рис. 1 (сотая итерация) и 2.

На рис. 3 приведены некоторые результаты расчетов процесса разрушения и обрушения массива в окрестности выработанного пространства при σр = 3 МПа. В этом случае зона обрушения охватывает значительный объем вмещающих пород в кровле очистного пространства. Его величина становится сопостави-

а)



б)



в)

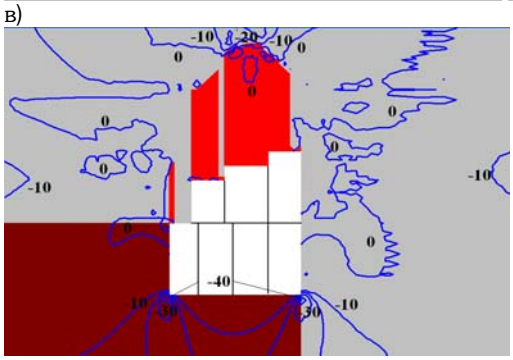


Рис. 3. Развитие зоны обрушения над выработанным пространством и изолинии главного напряжения σ1 при пределе прочности вмещающих пород на растяжение равном 3 МПа (пятая (а), пятидесятая (б) и сотая (в) итерации)

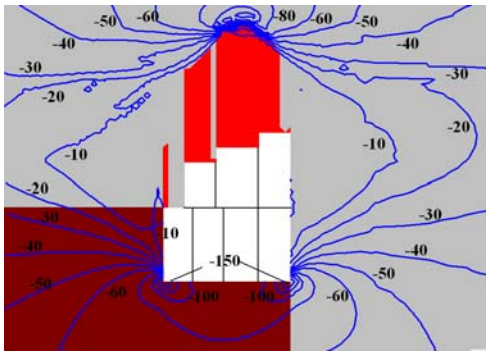


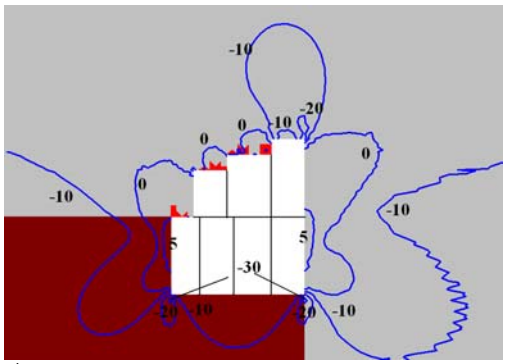
Рис. 4. Конфигурация зоны обрушения над выработанным пространством и изолинии главного напряжения σ2 при пределе прочности вмещающих пород на растяжение, равном 3 МПа

мой с объемом выработанного пространства. Высота зоны обрушения достигает 100-120 м. Существенным образом изменяется распределение главных напряжений (рис. 3 и 4).

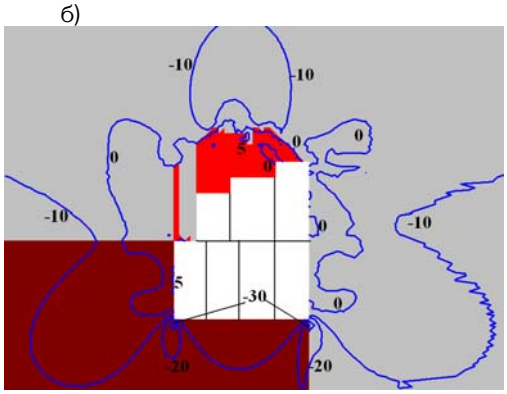
На рис. 5 приведены картины развития зоны обрушения над выработанным пространством при σр = 2 МПа. В процессе моделирования разрушения подработанной толщи разрушение последовательно развивается от кровли очистного пространства до земной поверхности. Размеры рис. 5 соответствуют размерам рис. 4 и не охватывают всю подработанную толщу до земной поверхности. Проследить развитие зоны обрушения до земной поверхности можно на рис. 6, окружающий выработанное пространство массив дан в другом масштабе.

На рис. 5 и 6 приведены также изолинии распределения главного напряжения σ1 , позволяющие проследит процесс перераспределения напряжений в окрестности выработанного пространства по мере развития

а)



б)



в)

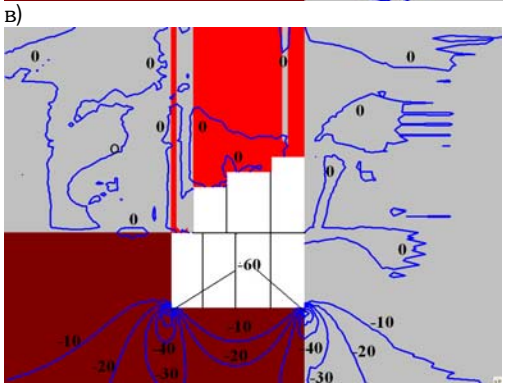


Рис. 5. Развитие зоны обрушения над выработанным пространством и изолинии главного напряжения σ1 при пределе прочности вмещающих пород на растяжение, равном 2 МПа (пятая (а), пятидесятая (б) и сотая (в) итерации)

а) б)

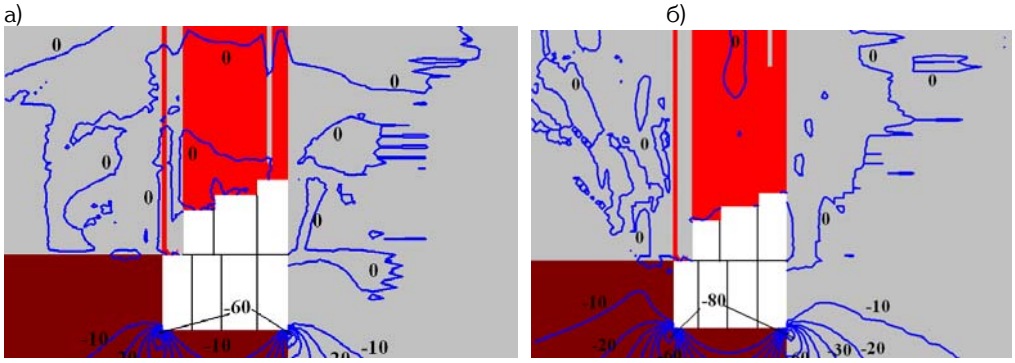


Рис. 6. Дальнейшее развитие зоны обрушения над выработанным пространством и изолинии главного напряжения σ1 при пределе прочности вмещающих пород на растяжение, равном 2 МПа (сотая (а) и сто пятидесятая (б) итерации)

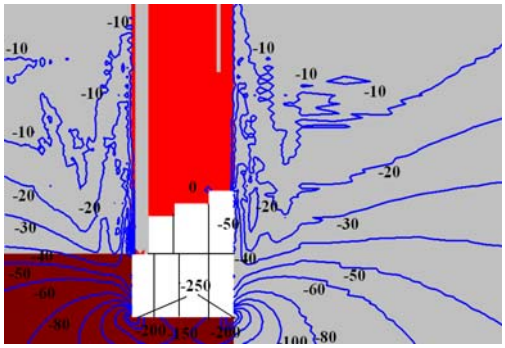


Рис. 7. Конфигурация зоны обрушения над выработанным пространством и изолинии главного напряжения σ2 при пределе прочности вмещающих пород на растяжение, равном 2 МПа

зоны обрушения в подработанной толще пород. Окончательное распределение полей главных напряжений показано на рис. 6, *б* и 7. Вся область вмещающих пород, граничащая с отработанным пространством и обрушенными породами, оказывается разгруженной от высоких напряжений. Зоны концентрации сжимающих напряжений перемещаются в область рудного тела и вмещающих пород, расположенную в почве отработанного пространства, т.е. район последующей отработки рудного тела в этаже +185 ÷ +255 м.

Проведены экспериментальные исследования процесса распределения толчков при отработке блоков с применением микросейсмического метода, которые показали, что в зоне концентрации напряжений во вмещающем массиве горных пород происходят толчки с сейсмической энергией от 10^2 до 10^4 Дж. Таким образом, исследования показали, что при отработке запасов руды в слепом рудном теле участка Подруслового на Шерегешевском месторождении во вмещающем массиве в местах, где формируются зоны концентрации напряжений, регистрируются толчки различной интенсивности. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Еременко Андрей Андреевич – доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией,
Серяков Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией,
ИГД СО РАН, admin@misd.nsc.ru,
Еременко Виталий Андреевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,
ИПКОН РАН, eremenko@ngs.ru
Щептев Евгений Николаевич – начальник ОКСа Горно-Шорского филиала ОАО «Евразруда»,
Беляев Вадим Сергеевич – нач. участка ППГУ Горно-Шорского филиала ОАО «Евразруда»,
info@evraz.com