УДК 622.83+539.4

В.В.ЗУБКОВ, *д-р техн. наук, главный научный сотрудник, zubkov2005@yahoo.com*
А.А.ФИЛИНКОВ, *канд. техн. наук, заведующий лабораторией, post@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

V.V.ZUBKOV, *Dr. in eng. sc., chief research assistant, zubkov2005@yahoo.com*
A.A.FILINKOV, *PhD in eng. sc., laboratory head, post@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В статье приведена система мониторинга по обеспечению геодинамической безопасности отработки месторождений полезных ископаемых. Предлагаемая система геодинамического мониторинга позволяет оценить напряженное состояние рудного массива на планируемый вариант отработки и дать рекомендации по безопасной отработке месторождения. На основе анализа данных моделирования рассмотрен один из вариантов геомеханического обоснования проекта отработки рудной залежи.

Ключевые слова: проект отработки, рудное месторождение, напряженно-деформированное состояние, геодинамический мониторинг.

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF PROJECTS OF ORE DEPOSITS MINING

The paper presents the monitoring system for better geodynamic safety in mining of mineral deposits. The suggested system of geodynamic monitoring allows us to evaluate the stress state of ore massif for the planned variant of mining and to give recommendations on the safe deposit mining. Based on the analysis of the modeling data, consideration was given to one of the variants of geomechanical substantiation of the project of ore deposit mining.

Key words: project of mining, ore deposit, stress-strain state, geodynamical monitoring.

При разработке проектов строительства и эксплуатации горных предприятий мы используем систему геодинамического мониторинга (рис.1).

Для каждого этапа, указанного в блок-схеме, разработаны необходимые методики для его осуществления. Например, для моделирования напряженного состояния массива горных пород около очистных выработок разработаны специальные программы, основанные на реализации специальных форм граничных интегральных уравнений:

1) программа **BLOCKS2D** для расчета напряженного состояния блочного массива горных пород;

2) программа **SUIT2D** для расчета напряженного состояния массива горных пород около системы очистных выработок;

3) программа **SUIT3D** для расчета напряженного состояния массива горных пород около системы очистных выработок любой сложной формы в плане;

4) программа **FAULT3D** для расчета напряженного состояния около системы очистных выработок произвольной формы в плане и ориентации в пространстве в массиве горных пород с тектоническими нарушениями;

5) программа **LaySubsid** для расчета сдвижения Земной поверхности, вызванного отработкой полезных ископаемых с учетом слоистого строения массива горных пород и взаимодействия на контактах слоев.

Понятно, что для всех горно-добывающих предприятий невозможно в полном объеме выполнить мероприятия геодинамического мониторинга. Рассмотрим один из воз-



Рис.1. Блок-схема геодинамического мониторинга

можных вариантов разработки рекомендаций по безопасному ведению горных работ.

Оценка напряженного состояния блочного массива горных пород. Естественное поле напряжений массива горных пород является результатом взаимодействия всех образующих элементов блочной структуры. Взаимное смещение и деформирование блоков определяют напряженное состояние блочного массива горных пород. В реальных условиях невозможно учесть все блоки различного ранга и для конкретной ситуации достаточно принять во внимание лишь блоки, сопоставимые с характерными размерами решаемой задачи. Это могут быть, например, размеры шахтного поля, отрабатываемой свиты пластов и т.п. Блоки, размеры которых значительно превышают характерные размеры рассматриваемой области, учитываются граничными условиями на внешней границе области или на бесконечности. Блоки, размеры которых значительно меньше рассматриваемых в задаче, могут быть учтены интегрально, через свойства пород.

При математическом моделировании нетронутого напряженного состояния массив горных пород рассматривается как блочная структура, образованная разрывными нарушениями. Часто сами блоки рассматривают как упругие и считают, что все необратимые пластические процессы сконцентрированы на контактах блоков. В зависимости от типа нарушения (сдвиг, сброс, взброс, разрыв и т.п.) на контактах блоков задаются различные условия взаимодействия – от полного сцепления до полного проскальзывания.

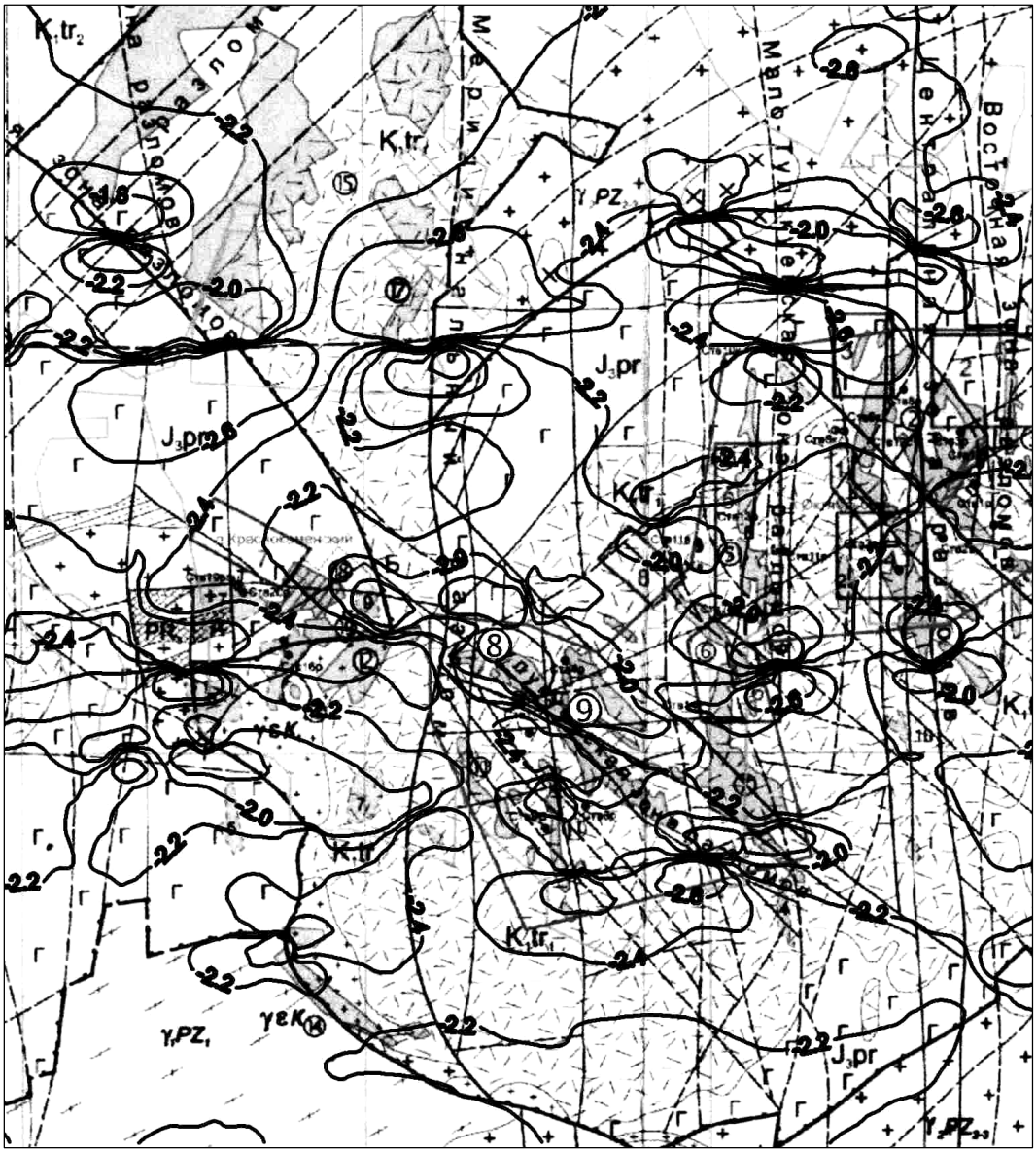


Рис.2. Прогнозная карта напряженного состояния ($\sigma_x/\gamma H$) блоковой структуры района Стрельцовского рудного поля

На рис.2 приведена прогнозная карта напряжений σ_x в пределах блоковой структуры района Стрельцовского рудного поля, вызванных наличием активных участков разломов. Как видно из рисунка, район рудников № 8 и 9 попадает в зону повышенных напряжений ($\sigma_x/\gamma H > 2{,}4$), распространяющихся вдоль Тулукуевской зоны разломов.

Математическое моделирование напряженного состояния рудного массива при его отработке на руднике «Глубокий». Для моделирования картины распределения напряжений породного и рудного массивов рассмотрены схемы фактически отработанной рудной залежи и перспективные планы ее отработки. Рассматривалось вертикальное сечение с планом горных работ в проекции на вертикальную плоскость, на основании которого составлены расчетные схемы. Расчеты выполнялись по программе BLOCKS2D, которая позволяет проводить оценку напряженного состояния блочного массива горных пород при произвольных условиях взаимодействия по кон-

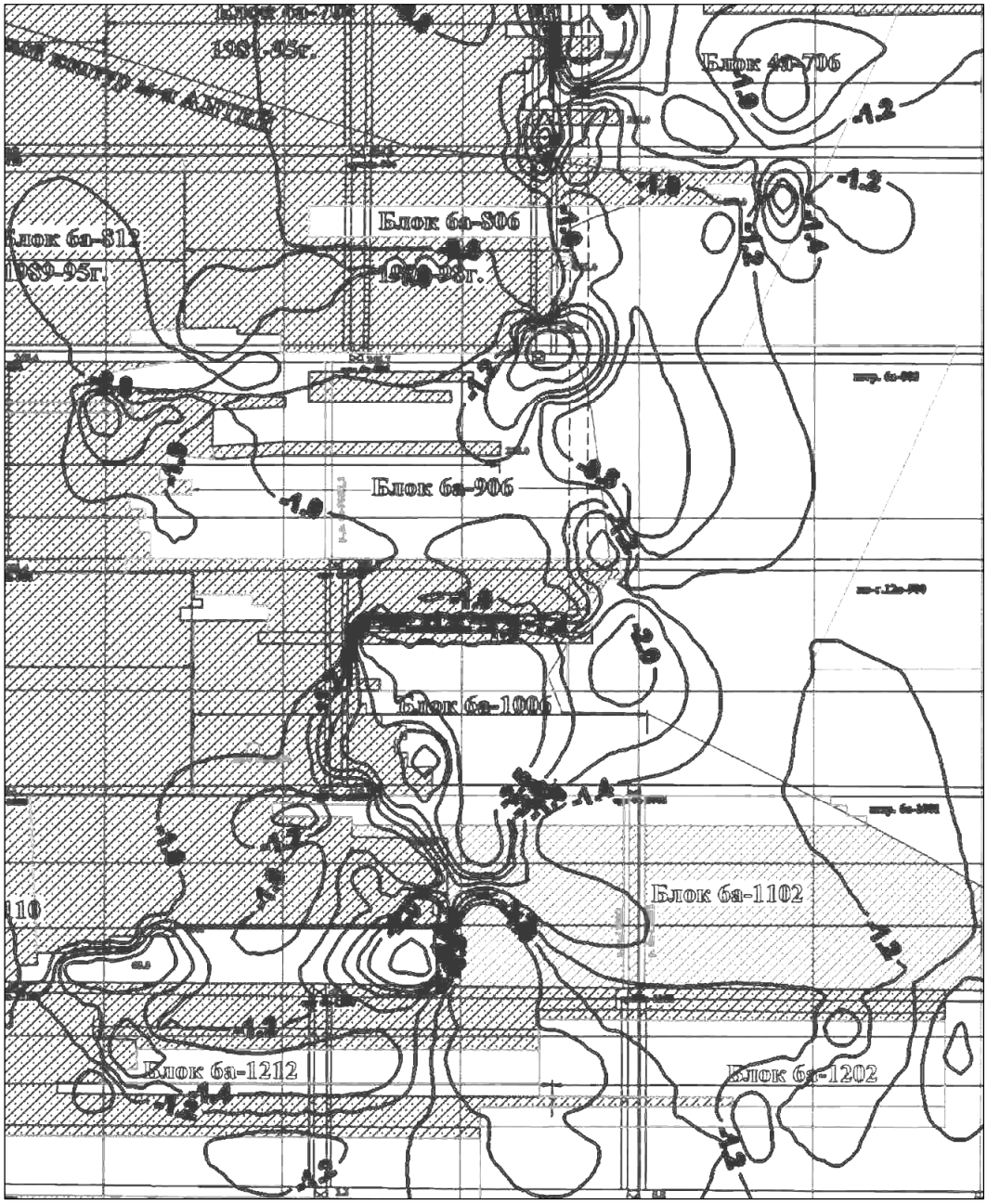


Рис.3. Прогнозная карта напряженного состояния ($\sigma_y/\gamma H$) рудного и породного массива

тактирующим поверхностям. В данном случае блоками считались окружающие породы, рудное тело и закладка. Следует отметить, что существенное влияние на напряженное состояние блочного массива горных пород оказывают граничные условия на контактах блоков. Поэтому при задании граничных условий необходимо привлекать данные натурных наблюдений за подвижками по разрывным нарушениям, контактам породных блоков и массива закладки.

На рис.3 приведена прогнозная карта напряжений $\sigma_y / \gamma H$ для одной из рассматриваемых схем отработки рудной залежи. Результаты расчетов показывают, что зоны повышенных напряжений ($\sigma_y/\gamma H > 1{,}0$) наблюдаются как в надработанных, так и в подработанных частях рудного массива. Следует

отметить, что резкое изменение уровня напряжений происходит в зонах контакта руды и закладки из-за большой разницы в упругих характеристиках массивов.

Математическое моделирование напряженного состояния рудного массива показало, что, с одной стороны, опережающие заходки по простиранию создают в рудной залежи зоны разгрузки, а с другой стороны, неотработанные вдающиеся и выступающие части рудного массива играют роль целиков, которые значительно снижают или полностью исключают эффект разгрузки. Поэтому для определения оптимальных параметров отработки было проведено моделирование возможных вариантов ведения горных работ, чтобы установить, какое число заходок и какой ширины по простиранию определяет необходимую зону разгрузки, а также при какой высоте неотработанных частей рудного массива будет минимальное число зон повышенного горного давления на планируемых к отработке участках.

Таким образом, для проведения горных (подготовительных и очистных) работ по безопасной отработке месторождения необходимо соблюдать следующие горно-технические условия:

- определить блок отработки запасов в целике;
- оценить техническую возможность выполнения разгрузки целиков в смежных блоках;
- определить, в каких блоках выполнять проведение заходок в зоне опорного давления в направлении от отработанного на нетронутый массив;
- при технической невозможности выдерживать указанное направление производить опережающую разгрузку рудного массива в направлении проходки;
- ежемесячно разрабатывать технические и организационные мероприятия по предотвращению динамических явлений.