УДК: 52.13.19

В.В.ЗУБКОВ, *д-р техн. наук, главный научный сотрудник, zubkov2005@yahoo.com*
И.А.ЗУБКОВА, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник*
Г.В.ЛЕОНТЬЕВ, *старший научный сотрудник, leontiev_gv@spmi.ru*
А.Г.ЗИЛЕЕВ, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник, zileev@spmi.ru.*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

V.V.ZUBKOV, *Dr. in eng. sc., chief research assistant, zubkov2005@yahoo.com*
I.A.ZUBKOVA, *PhD in eng. sc., senior research assistant*
G.V.LEONTIEV, *senior research assistant, leontiev_gv@spmi.ru*
A.G.ZILEEV, *PhD in eng. sc., senior research assistant, zileev@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПРИБОРТОВЫХ ЗАПАСОВ КОАШВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В связи с постепенным выбытием рудных площадей в долинной части для поддержания производственной мощности Коашвинского карьера возникает необходимость вовлечения в отработку прибортовых запасов, расположенных в северо-западном борту карьера. Для вскрытия и отработки прибортовых запасов необходимо оценить геодинамические и геомеханические условия с целью безопасного ведения горных работ. Описано решение данной задачи с помощью программного продукта 3DEC фирмы Itasca.

Ключевые слова: карьер, прибортовые запасы, моделирование, поле напряжений, карта напряжений.

ASSESSMENT OF GEODYNAMIC AND GEOMECHANICAL CONDITIONS IN THE MINING OF ORE BODIES OF NEAR-ORE BANK RESERVES AT THE KOASHVA OPEN-PIT MINE

In connection with a gradual extraction of ore areas in a valley, with the aim of support of annual output of the Koashva open-pit mine, a necessity arises in involving in the mining of near-ore bank reserves, located in the north-west bench of open-pit mine. For uncovering and mining of near-ore bank reserves it is necessary to assess the geodynamic and geomechanical conditions for support of the safe mining operations. The article describes the solution of this problem by means of software product 3DEC of Itasca firm.

Key words: open-pit mine, near-ore bank reserves, modeling, stress field, map of stresses.

В настоящее время актуальным является вопрос о комбинированной отработке месторождений с целью рационального недропользования. При комбинированном способе отработки месторождения полезного ископаемого по способу ведения горных работ различают последовательную (в начале месторождение отрабатывается открытым, затем подземным способом или наоборот) и совмещенную (работы одновременно ведутся открытым и подземным способом).

Мировая практика показывает, что ежегодно доля месторождений, отрабатываемых комбинированным способом, растет. Невозможность расширения границ карьера, экономическая неэффективность дальнейшей отработки месторождения открытым способом, увеличение экологического воз-

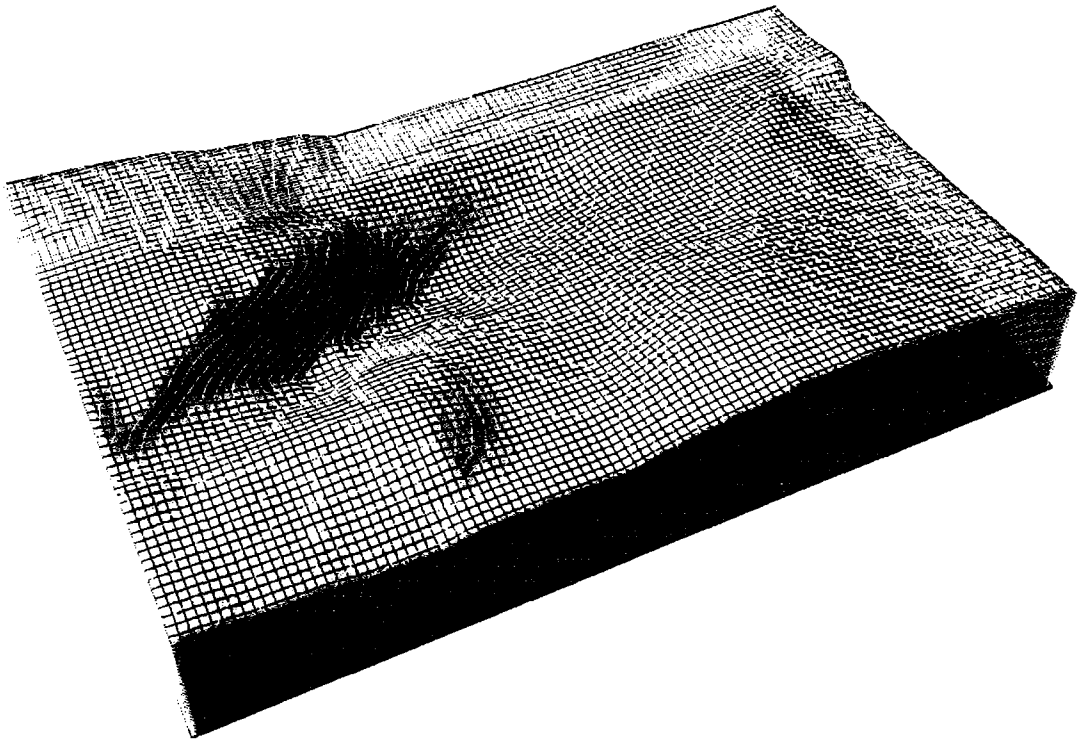


Рис.1. Поверхность карьера, построенная по сетке сечений

действия на окружающую среду создают необходимость перехода от открытых горных работ к подземному способу.

Коашвинское месторождение отрабатывается открытым способом с 1978 г. Проектный уровень добычи составляет 4 млн т руды/год. В настоящее время горные работы ведутся на отметках +280-+64 м. Проектная отметка дна карьера –188 м.

В связи с постепенным выбытием рудных площадей в долинной части, с целью поддержания производственной мощности карьера, возникает необходимость вовлечения в отработку прибортовых запасов, расположенных в северо-западном борту карьера. Северо-западный борт поставлен в конечное положение, что позволяет начать работы по отработке прибортовых запасов в любой момент.

Для создания расчетной модели месторождения и проведения на ее основе оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород была получена исходная информация в виде геологических разрезов, планов и модель карьера Коашвинского месторождения (в формате AutoCAD).

Построение расчетной модели Коашвинского месторождения в формате, используемом в программе 3DEC, выполнялось в следующей последовательности: построение геолого-структурной модели; построение расчетной модели; генерация сетки элементов.

Построение геолого-структурной модели Коашвинского карьера выполнялось с использованием программного комплекса Rhino3D. Такой способ построения геолого-структурной модели позволяет исключить имеющиеся в исходной модели повторяющиеся точки и полилинии, нахлесты поверхностей и пробелы в них.

Затем дополняем модель подстилающей толщей пород, т.е. получаем тело расчетной модели.

Построение расчетной модели Коашвинского месторождения выполнялось с использованием программного комплекса Kubrix3D. Выбираем расчетную модель карьера и делим ее на блоки. При этом размеры блоков выбираются так, чтобы вблизи границы поверхности карьера они были меньше.

Генерация сетки элементов расчетной модели Коашвинского месторождения выполняется в программе 3DEC.

К сожалению, для такой модели оказалось невозможно сгенерировать сетку элементов для выполнения расчетов. Наличие вдающихся частей расчетной модели не позволяет выполнить генерацию сетки. Чтобы исправить это положение, была модернизирована геолого-структурная модель Коашвинского карьера. Новая геолого-структурная модель Коашвинского карьера была импортирована в программу Rhino3D, дополнена подстилающей толщей (создано тело расчетной модели) и построена равномерная сетка сечений в двух направлениях – по оси карьера и перпендикулярно этой оси. По сетке сечений построена новая поверхность карьера (рис.1).

В программе Kubrix3D читаем расчетную модель карьера и делим ее на блоки.

С использование команд комплекса 3DEC создается управляющий файл, в котором задаются:

- блоковая структура;
- свойства всех областей расчетной модели (модуль упругости, коэффициент Пуассона, объемный вес, предел прочности при сжатии, предел прочности при растяжении, угол внутреннего трения);
- модель среды (упругая изотропная, упругая анизотропная, условие пластичности по Кулону – Мору и др.);
- граничные условия;
- история нагружения;
- число шагов нагружения.

Массив горных пород, окружающий прибортовые запасы, на данный период является относительно малоизученной средой. Дополнительная эксплуатационная разведка и начало ведения горных работ дадут более полные данные о полях напряжений в массиве.

На данном этапе можно сказать, что поля напряжений в рассматриваемом массиве имеют дискретный и неоднородный характер. Ориентировочные значения величины регионального поля напряжений в районе Коашвинского месторождения приняты из указаний по безопасному ведению горных работ* такими же, как для ближайшего Расвумчоррского месторождения, а именно: $\sigma_x = 30$ МПа, $\sigma_y = 55$ МПа (σ_x – широтное направление, σ_y – меридиональное направление).

Физико-механические свойства руд и пород Коашвинского месторождения (средние значения)**:

Тип руд и пород	Апатит-нефелиновые руды	Вмещающие породы
Модуль упругости, ГПа	62,0	83,0
Плотность, т/м³	2,9	3,3
Предел прочности при сжатии, МПа	128,0	225,0
Предел прочности при растяжении, МПа	4,2	10,4

После завершения расчета в программе 3DEC можно отобразить: расчетную модель; оси координат; вертикальные и горизонтальные сечения расчетной модели; компоненты, вектора и тензоры напряжений, смещений и скоростей смещений и т.д.

Результаты расчетов для вертикального сечения по центру карьера представлены в виде изолиний напряжений σ_x, σ_z, нормированных напряжений $\sigma_x/\sigma_{сж}$ и $\sigma_z/\sigma_{сж}$, смещений и вектора смещений.

Результаты расчетов показывают, что смещения бортов на западном фланге Коашвинского карьера весьма малы (не превышают 6-7 см), т.е. они устойчивы. Напряжения в прибортовом массиве в пределах γH и $\lambda\gamma H$. Зоны, в которых расчетные значения действующих напряжений превышают предел прочности руды на одноосное сжатие, не обнаружены.

---

* Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатито-нефелиновые месторождения) / КНЦ РАН. Апатиты, 2002. 97 с.

Direction on safe mining operation at mineral deposits being hazardas and prone to rock bursts (Hibinsky apatito-nefelinovye deposits) / KSC of the Russian Academy of Sciences. Apatity, 2002. 97 p.

** О результатах по изучению морфологии рудных тел с пересчетом запасов комплексных руд Коашвинского месторождения в 1992-2001 гг.: Отчет о НИР; Отв. исполнитель Г.Б.Иванов / ОАО «Мурманская геологоразведочная экспедиция». Апатиты, 2001. 170 с.

On the results of study of morphology of ore bodies with reestimation of reserves of complex ores at the Koashva deposit in 1992-2001: Report; Responsible executor G.B.Ivanov / JSC «Murmansk Geological Prospecting Expedition». Apatity, 2001. 170 p.

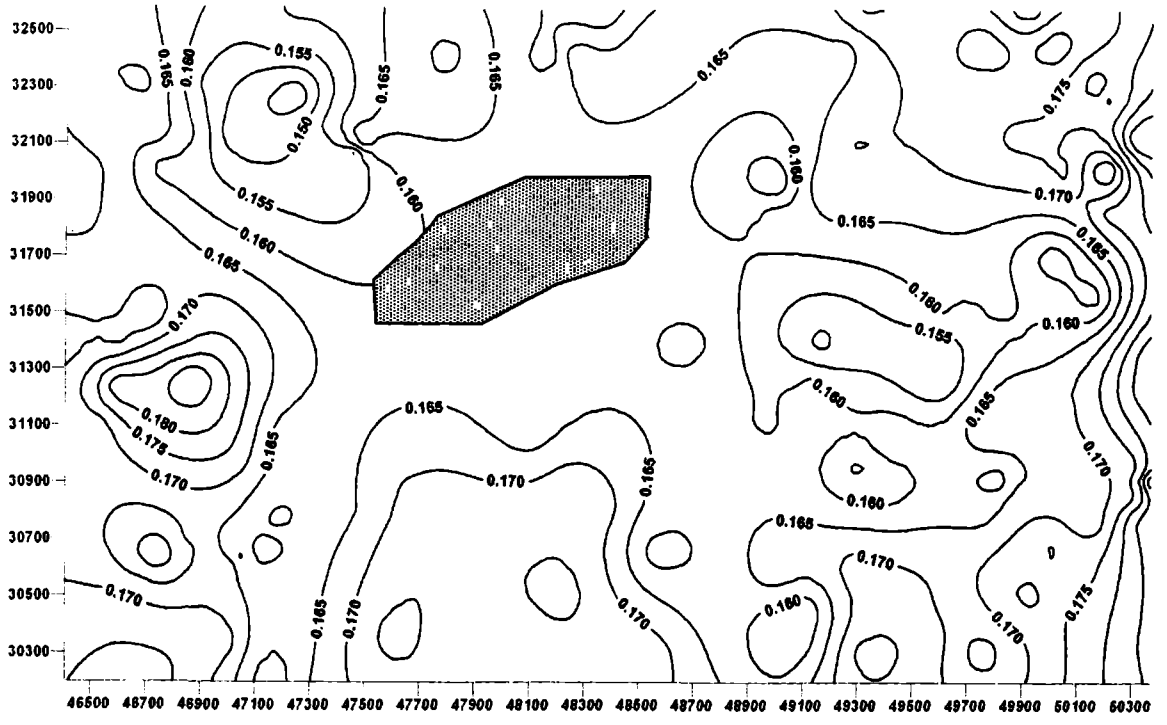


Рис.2. Прогнозная карта напряжений $\sigma_x/\sigma_{сж}$ на горизонте 160 м ($\sigma_{сж}$ = 128 МПа)

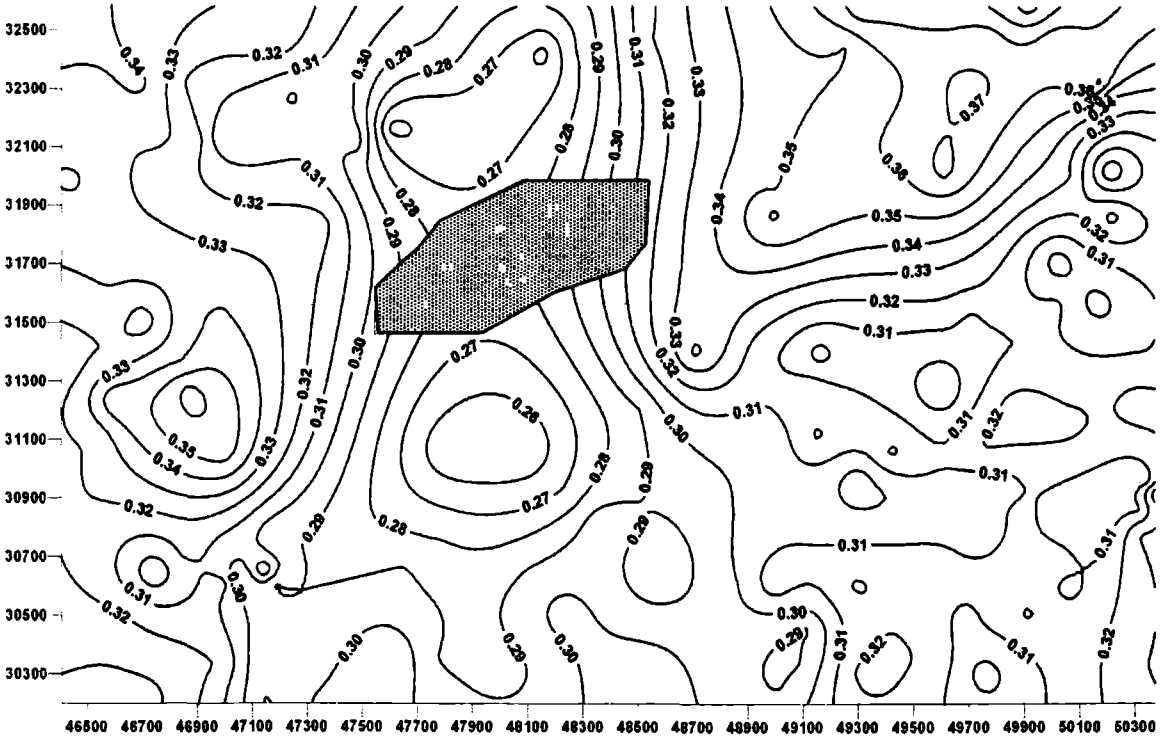


Рис.3. Прогнозная карта напряжений $\sigma_y/\sigma_{сж}$ на горизонте 160 м ($\sigma_{сж}$ = 128 МПа)

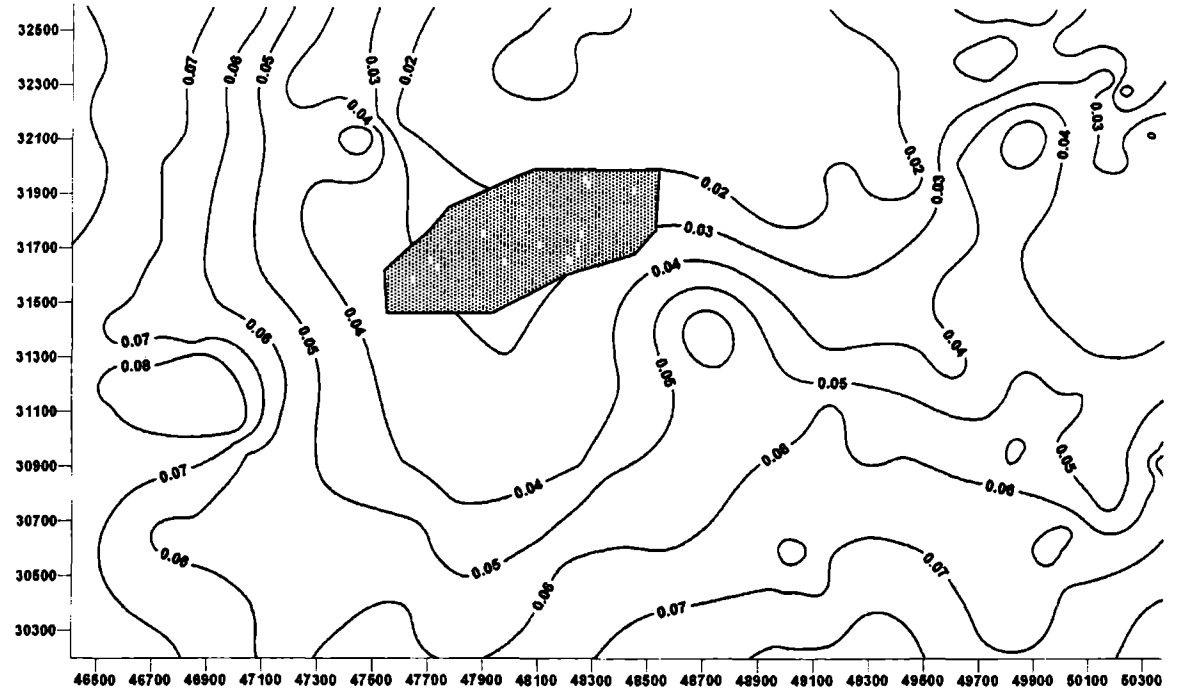


Рис.4. Прогнозная карта напряжений $\sigma_z/\sigma_{сж}$ на горизонте 160 м ($\sigma_{сж}$ = 128 МПа)

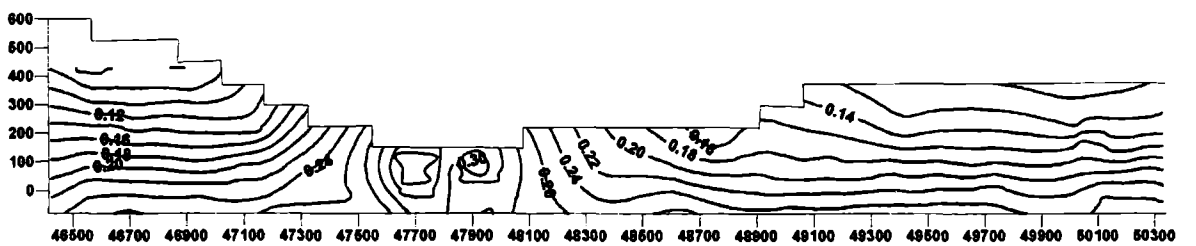


Рис.5. Прогнозная карта напряжений $\sigma_x/\sigma_{сж}$ в сечении Y = 31500 ($\sigma_{сж}$ = 128 МПа)

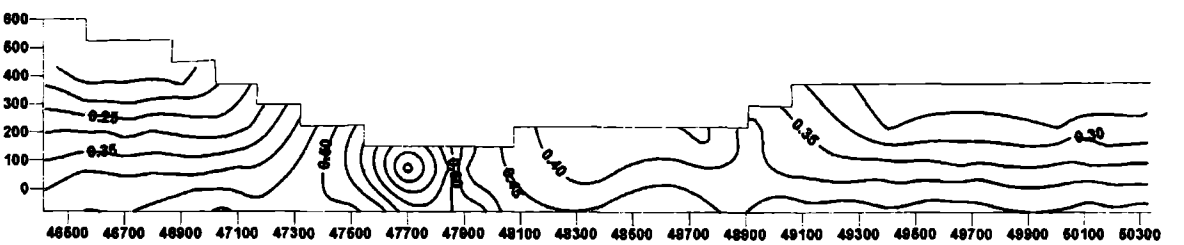


Рис.6. Прогнозная карта напряжений $\sigma_y/\sigma_{сж}$ в сечении Y = 31500 ($\sigma_{сж}$ = 128 МПа)

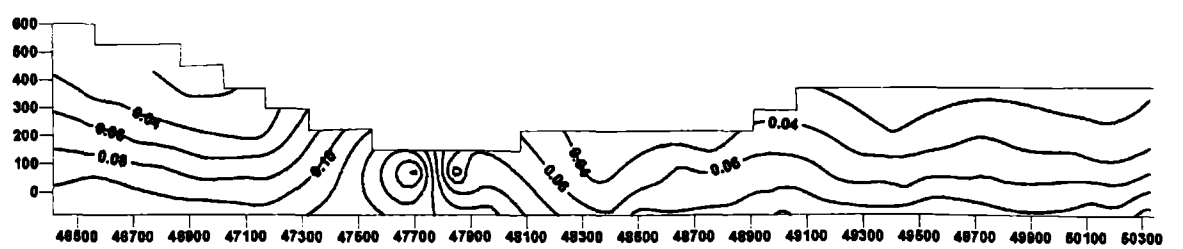


Рис.7. Прогнозная карта напряжений $\sigma_z/\sigma_{сж}$ в сечении Y = 31500 ($\sigma_{сж}$ = 128 МПа)

Например, значение нормированных напряжений на горизонте 160 м при среднем значении $\sigma_{сж} = 128$ МПа не превосходят $\sigma_x/\sigma_{сж} = 0{,}19$, $\sigma_y/\sigma_{сж} = 0{,}39$, $\sigma_z/\sigma_{сж} = 0{,}085$. На рис.2-4 показаны прогнозные карты напряжений $\sigma_x/\sigma_{сж}$, $\sigma_y/\sigma_{сж}$, $\sigma_z/\sigma_{сж}$ на горизонте 160 м, а на рис.5-7 – в сечении $Y = 31500$.

Полученные результаты соответствуют горно-технической обстановке, а именно, малая глубина карьера и высокая прочность руды и вмещающих пород не способствуют образованию высоких концентраций напряжений в прибортовом массиве.

Таким образом, предварительная оценка состояния на участках прибортовых запасов оценивается как геодинамически безопасная. Однако, с началом ведения подземных горных работ или при достижении определенной глубины карьера, геодинамическое состояние массива на Коашвинском месторождении резко изменится. Концентрации напряжений в результате формирования зон опорного давления и их суперпозиции могут достигнуть предельных значений. Поэтому принятие проектных решений по вскрытию, подготовке и отработке рудных залежей прибортового массива должно осуществляться с учетом возможного проявления горного давления, как в статической, так и в динамической форме.