УДК 622.831

А.Г.ПРОТОСЕНЯ, *д-р техн. наук, профессор, kaf-sgp@mail.ru*
А.Н.ШОКОВ, *аспирант, ntl2000@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.G.PROTOSENYA, *Dr. in eng. sc., professor, kaf-sgp@mail.ru*
A.N.SHOKOV, *post-graduate student, ntl2000@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПРОГНОЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО ПОДКАРЬЕРНОГО МАССИВА ПРИ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ КОАШВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Определены параметры напряженно-деформированного состояния подкарьерного массива Коашвинского месторождения. Проведена оценка влияния карьерной выемки на распределение напряжений и деформаций. Исследование выполнено с помощью численного моделирования методом конечных элементов.

Ключевые слова: подкарьерный массив, напряжения, деформация, карьер.

THE PREDICTION OF UNDEROPENCAST ROCK MASS STRESS-STRAIN CONDITION DURING SURFACE-UNDERGROUND DEVELOPMENT OF KOASHVA DEPOSIT

The parameters of underopencast rock mass stress-strain condition for Koashva deposit are defined. The estimation of influence of surface development with opencast on the stress-strain distribution in the mass is revealed. Research is revealed with appliance of finite-elements method.

Key words: underopencast mass, stresses, strains, opencast.

Коашвинское апатито-нефелиновое месторождение входит в состав месторождений Хибинской группы, локализованных в пределах «ийолит-уртитовой дуги» Хибинского щелочного массива, его разработка ведется с 1978 г. открытым способом. Конечная глубина карьера составит 420 м. В дальнейшем в связи с экономической целесообразностью планируется переход на подземную разработку подкарьерных запасов.* Представляет интерес оценка влияния карьерной выемки и очистных работ на подготовительные горные выработки.

В работе рассматривается одна из предполагаемых систем разработки подземного рудника – подэтажного обрушения с выпуском на траншейное днище. Расчетная схема рассматриваемой системы разработки и характерные точки исследуемых выработок I-II представлена на рис.1.

Последовательность этапов ведения горных работ для рассматриваемой системы разработки: на первом этапе раскрывается карьер, далее проходятся горные выработки на горизонтах + 80 и + 60, через буродоставочную выработку на горизонте + 60 разрабатывается отрезная щель, через которую дорабатываются два подэтажа. Далее последовательность

* *Каплунов Д.Р.* Комбинированная геотехнология / Д.Р.Каплунов, В.Н.Калмыков, М.В.Рыльникова М., 2003. 560 с.

Kaplunov D.R., Kalmykov V.N., Rylnikova M.V. Combined geotechnology. Moscow, 2003. 560 p.

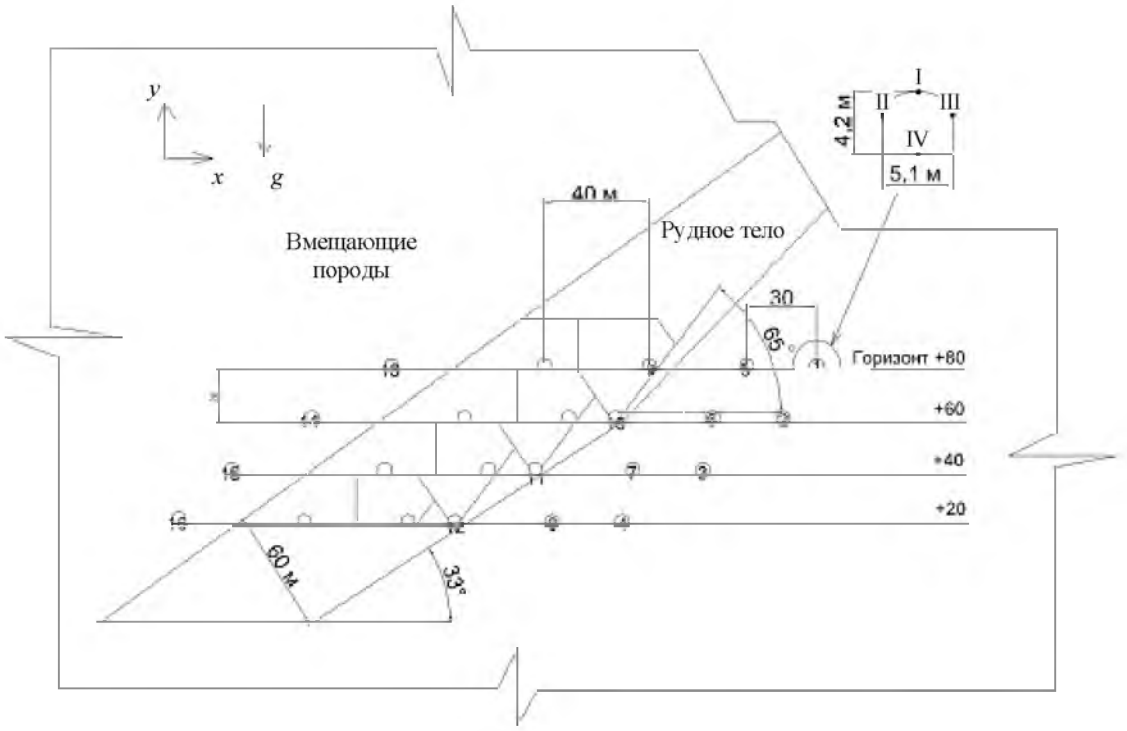


Рис.1. Геометрические параметры системы разработки, рассмотренной в модели

1-4 – южные откаточные штреки; 5-8 – подэтажные транспортные штреки; 9-12 – траншейные штреки; 13-16 – северные транспортные штреки и буродоставочные выработки; I-IV – характерные точки выработок, исследуемые в модели: кровля (I), левая (II) и правая (III) пята свода; IV – почва выработки

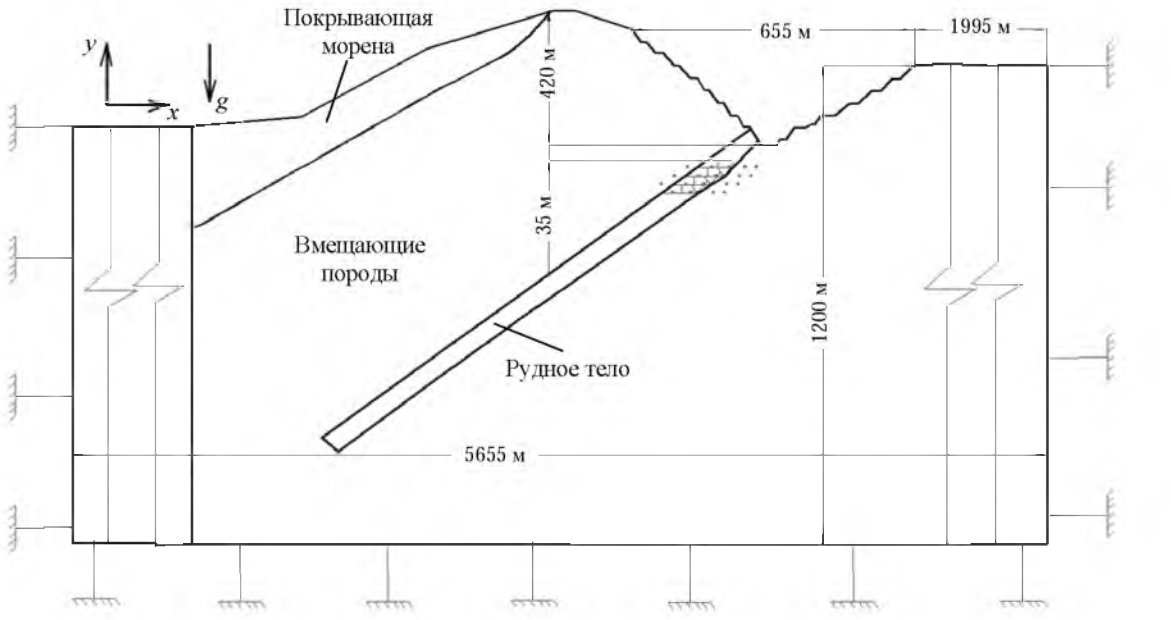


Рис.2. Расчетная схема плоской конечно-элементной модели

Физико-механические свойства массива горных пород

Породы	Удельный вес, кН/м^3	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.	Прочность на одноосное сжатие/ растяжение, МПа
Покрывающая морена	20	55	0,27	–	–	–
Рудное тело	29,6	30000	0,21	34,5	30	128/6
Вмещающие породы	28,3	55000	0,21	60,0	30	225/10
Разрушенные породы	28	60	0,27	1,0	43	–

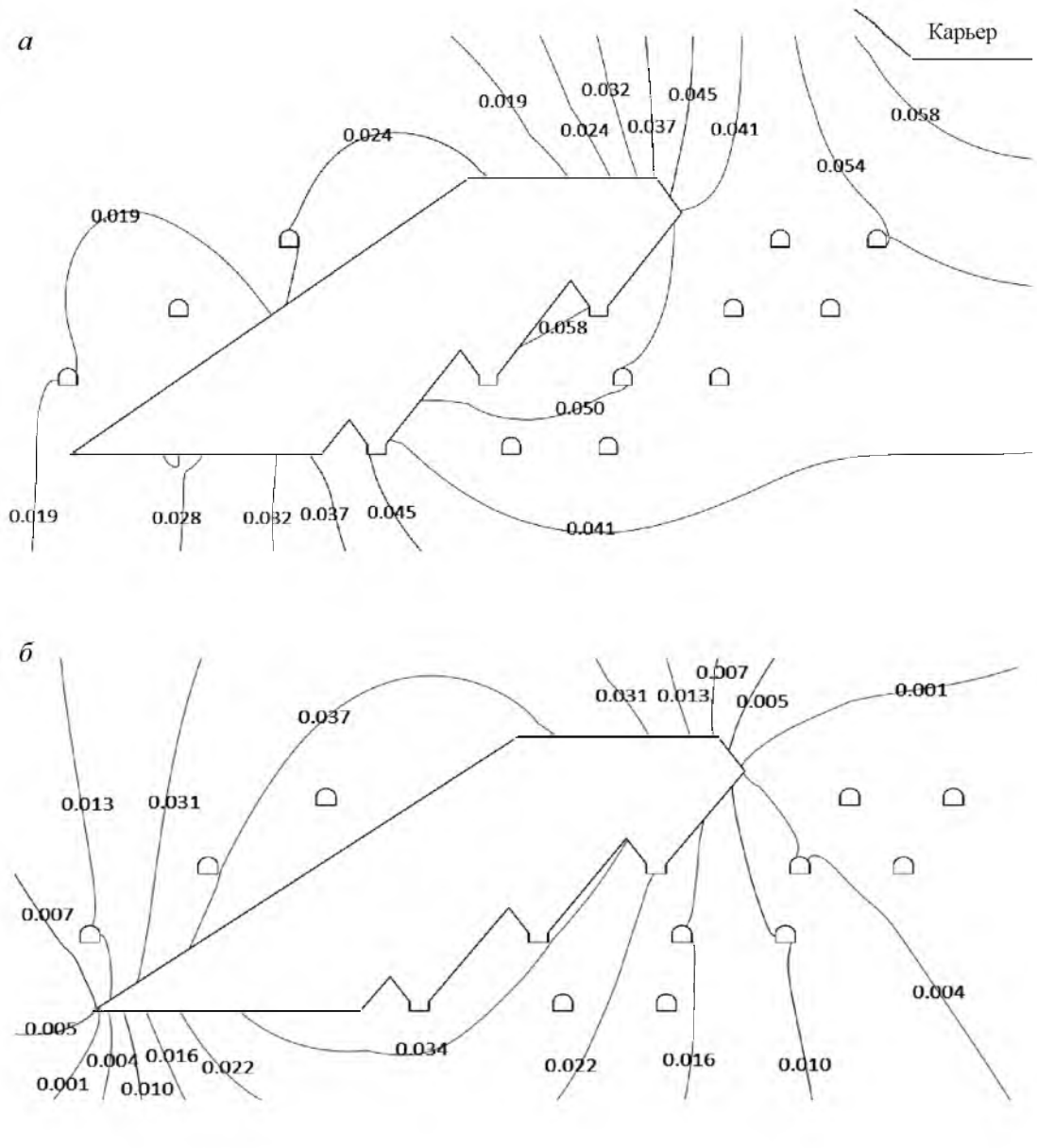


Рис.3. Эпюры распределения вертикальных деформаций, м: *а* – с учетом карьерной выемки; *б* – без нее

повторяется для горизонтов +40 и +20. Для оценки влияния карьерной выемки на подземные горные выработки рассмотрена также модель без раскрытия карьера.

В качестве метода исследования использовалось численное моделирование методом конечных элементов, использование которого позволяет учесть в расчетах прочностные свойства массива, его деформационные свойства, неоднородное геологическое строение массива, последовательность ведения горных работ.

Для проведения исследования разработана плоская конечно-элементная модель (рис.2).

Граничные условия в модели заданы следующим образом: в нижней грани модели запрещены перемещения в вертикальном направлении; в боковых гранях – перемещения, перпендикулярные граням; верхняя грань свободна для перемещений. В модели использовалось 660000 трехузловых квадратичных элементов.

Все породы при расчетах заданы как весомые упруго-пластические материалы, поведение которых описывается условием прочности Кулона. Средневзвешенные физико-механические свойства пород и прочностные свойства с учетом коэффициента структурного ослабления массива приведены в таблице.

На первом этапе исследования сравнивалось распределение деформаций с карьерной выемкой и без нее. На рис.3 представлены эпюры распределения вертикальных деформаций на последнем этапе расчета модели. При варианте с вскрытием карьера все вертикальные деформации имеют положительный знак, т.е. происходит оседание земной поверхности, при этом максимальное значение деформации составляет 58 мм под траншейным штреком 10 (см.рис.1) между горизонтами –80 и –60.

Для случая, когда подземные горные выработки отрабатываются без влияния вышележащего карьера, максимальные абсолютные значения вертикальных деформаций будут следующими. На участке под отрабатываемыми камерами горизонтов +60 и +20 деформация оседания земной поверхности 34 мм, на правом участке от северного транспортного штрека горизонтов +80 и +60 деформация 37 мм. Значит, при отсутствии карьера количественные вертикальные деформации снижаются.

Рассмотрим эпюры распределения горизонтальных деформаций (рис.4). При карьерной выемке максимальные абсолютные значения горизонтальных деформаций отличаются над кровлей камеры горизонта – 80, составляют 8 мм и направлены в сторону дна карьера. Под траншейными штреками горизонтов +40 и +20 деформации направлены от карьера и составляют 4 мм.

Для разработки подземного рудника без карьерной выемки значения горизонтальных деформаций максимальные (17 мм) в почве камеры нижнего горизонта +20 и направлены от разрабатываемой полости. В варианте карьерной выемки горизонтальные деформации развиваются в кровле верхнего горизонта +80 и составляют 15 мм.

Полученные в работе абсолютные значения деформаций в связи с высокими значениями модуля упругости соответствуют высоким уровням напряжений, что может привести к неблагоприятным последствиям. Так как в работе проведено качественное сравнение двух моделей и оценка влияния карьерной выемки, то для получения точных количественных результатов необходимо задать более точную геологическую неоднородность массива с уточненными характеристиками вмещаюших и рудных горных пород.

По рассмотренным в работе эпюрам распределения горизонтальных и вертикальных деформаций можно заключить следующее. Абсолютные значения вертикальных деформаций прикарьерной выемки примерно в 1,5 раза выше, чем в случае с отсутствием карьера. Количественные значения горизонтальных деформаций ниже при варианте с раскрытием карьера, что позволит говорить о положительном влиянии карьера на напряженно-деформированное состояние вмещающего массива вокруг отрабатываемых горизонтов.

На следующем этапе исследования изучены отличия напряженного состояния в

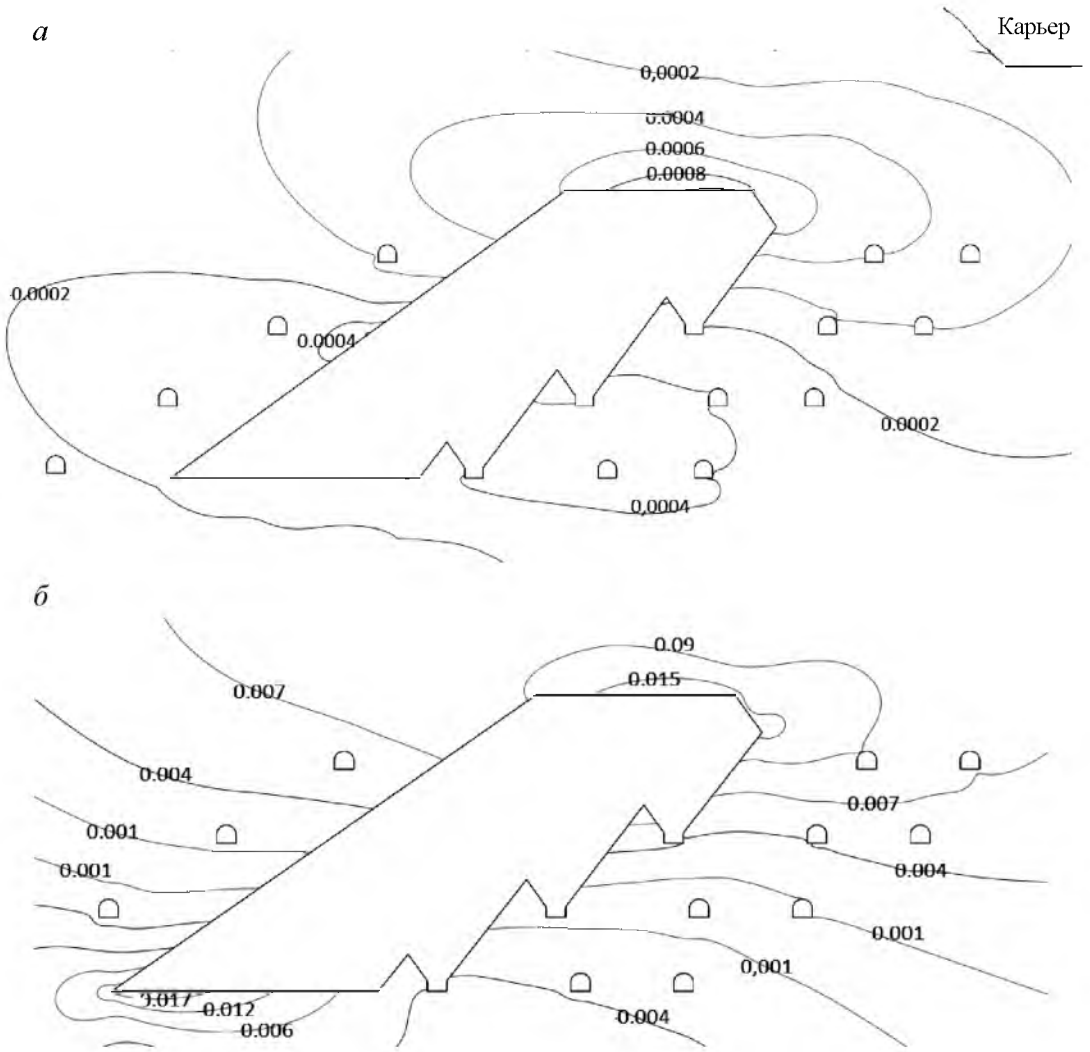


Рис.4. Эпюры распределения горизонтальных деформации, м: *а* – с учетом карьерной выемки; *б* – без нее

двух рассмотренных вариантах модели. Для выработок 1, 5, 9 и 13, находящихся на горизонте +80, карьерная выемка значительно разгружает массив по сравнению с вариантом без разработки карьера. Различие между двумя вариантами распределения напряжений сокращается с увеличением глубины карьера и для выработок 4, 8, 12 и 16 на горизонте +20.

Проведем сравнительную оценку влияния карьерной выемки на максимальные сжимающие и растягивающие значения напряжений для южных откаточных штреков (рис.5). Максимальные значения растягивающих и сжимающих напряжений ниже в случае раскрытия карьера. С увеличением глубины раз-

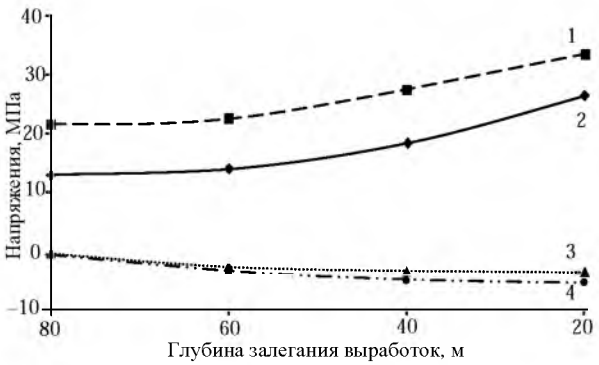


Рис.5. Зависимость максимальных главных нормальных напряжений на контуре выработок южного откаточного штрека от горизонта разработки

1 и 2 – сжимающие напряжения без учета карьера и с учетом его влияния соответственно; 3 и 4 – растягивающие напряжения с учетом влияния карьера и без него

работки выработки отличия уменьшаются. Так, для горизонта +80 отношение максимальных сжимающих напряжений для вариантов без карьерной выемки и с карьерной выемкой составляет 1,65. Для горизонта +20 отношение уменьшается до 1,28. Следовательно с увеличением расстояния от горизонта разработки до карьера влияние последнего на распределение главных нормальных напряжений снижается.

Итак, абсолютные значения вертикальных деформаций при варианте с карьерной выемкой примерно в 1,5 раза выше, чем при отсутствии карьера. Растягивающие и сжимающие напряжения на контурах горных выработок ниже при разработке с карьером, т.е. карьер в значительной степени разгружает подкарьерный массив. С удалением горных работ от карьера отличия в двух рассмотренных вариантах уменьшаются.

В дальнейших исследованиях планируется рассмотреть устойчивость подготовительных выработок, находящихся под влиянием карьера и очистных работ, с учетом тектонических напряжений в массиве.