

УДК 622.271

**В.В. Рыбин, А.А. Козырев, И.В. Данилов**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЁННОГО  
СОСТОЯНИЯ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА  
ПОРОД НА КАРЬЕРАХ КОЛЬСКОГО  
ПОЛУОСТРОВА \***

Приведены результаты экспериментального определения параметров напряжённого состояния устойчивости бортов карьера «Железный» Ковдорского ГОКа.

Ключевые слова: геомеханическое обоснование, борта карьера, приконтурный массив, напряженное состояние.

**Семинар № 16**

**V.V. Ribin, A.A. Kozirev,  
I.V. Danilov  
THE DEFINITION OF THE  
PARAMETERS OF THE STRESSED  
STATE OF THE CONTOURED ROCK  
MASS AT THE OPEN PITS OF THE  
KOLSKIY PENINSULA**

*The results of the experimental definition of the parameters of the stressed state of the bench stability of the open-cut pit "Zhelezniy" of the Kovdorskij mining and processing enterprise are given.*

*Key words: geomechanical feasibility, open-cut pit benches, contoured rock mass, stresses state.*

\*Исследования проводились при поддержке гранта РФФИ проект № 05-05-97523

**В** рамках проводимых в настоящее время Горным институтом КНЦ РАН работ по геомеханическому обоснованию возможностей оптимизации параметров карьеров в скальных тектонически-напряжённых породах одним из определяющих факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, является их напряжённое состояние [1, 2].

В связи с важностью учёта напряжённого состояния при оценке устой-

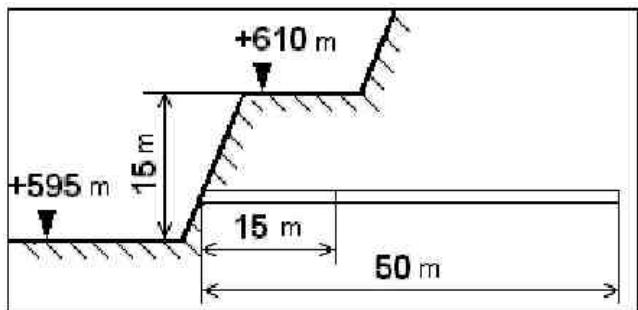
чивости бортов карьеров были проведены специальные экспериментальные определения его параметров в карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК», Ньюркпахском карьере Восточного рудника и в карьере Центрального рудника ОАО «Апатит».

Исследования проводились методом разгрузки в варианте торцевых измерений [3].

На рис. 1 в качестве примера показана типовая конструкция измерительной станции. На рис. 2 приведён график распределения напряжений по длине скважины.

В таблице представлены обобщённые данные измерений параметров напряжённого состояния массива пород карьеров ОАО «Ковдорский ГОК» и «Апатит».

Расчётные параметры напряжённого состояния массива пород исходя только из собственного веса вышележащих пород определялись исходя из известных зависимостей:  $\sigma_{верт} = \gamma H$ ;  $\sigma_{гор} = \lambda \times \sigma_{верт}$ , где  $\sigma_{верт}$  – вертикальные и горизонтальные напряжения в массиве пород от собственного веса вышележащих пород;  $\gamma$  - объёмный вес пород,  $t/m^3$  ( $\gamma \approx 3 t/m^3$ );  $\lambda$  –



**Рис. 1. Типовая конструкция станции по измерению параметров напряжённо-деформированного состояния массива пород методом разгрузки:** общая длина скважины – 50 м, участок измерений методом разгрузки – 15 м

коэффициент бокового отпора, в общем случае  $\lambda = v / (1 - v)$ ;  $v$  – коэффициент Пуассона (для горных пород исследуемых месторождений  $v \approx 0.25$ ).

Например, для станции на гор. +500 м в Ньюркпахском карьере Восточного рудника ОАО «Апатит», получим:

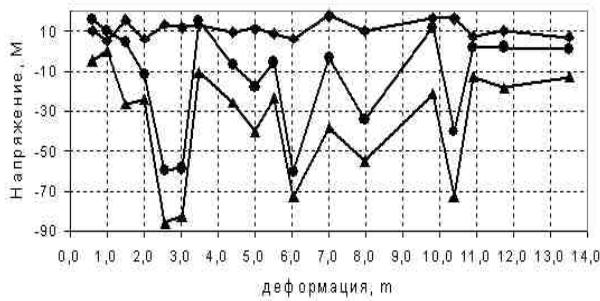
$$\sigma_{verp} = \gamma H = 3 \text{ т/m}^3 \times 200 \text{ м} = \\ = 600 \text{ т/m}^2 = 6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{rop} = \lambda \times \sigma_{verp} = (v/(1-v)) \times \sigma_{verp} = \\ = (0.25/(1-0.25)) \times 6 \text{ МПа} = 2 \text{ МПа}.$$

Сравнение расчетных и измеренных величин напряжений в массиве показывает, что действующие значения максимальных компонент главных напряжений на 13 измерительных станциях из 14 превышают максимальные расчетные напряжения от собственного веса вышележащих пород. Невысокие значения действующих напряжений на гор. +610 м в карьере Центрального рудника объясняются расположением измери-

тельной станции в аномальной зоне (рабочая зона карьера, трещиноватый массив). При этом в большинстве случаев отношение  $\sigma_{max} / \sigma_{verp}^{cp} > 2$ . Это обстоятельство позволяет сделать вывод о соответствии напряжённого состояния массива пород исследованных месторождений гравитационно-тектоническому типу. Применительно к карьерам Восточного и Центрального рудников ОАО «Апатит» этот вывод подтверждается выявленными ранее общими закономерностями распределения напряжений в районе Хибинских апатит-нефелиновых месторождений [4-6].

Несмотря на имеющийся разброс полученных результатов, можно, в первом приближении, представить зависимость между максимальной компонентой главных напряжений и глубиной измерений для всех исследуемых месторождений в виде:  
 $\sigma_{max} \approx 0.1 \times H$ , при  $H > 40 \div 50$  м,  
где  $\sigma_{max}$  – максимальная компонента главных напряжений, МПа;  $H$  – глубина измерений, м.



**Рис. 2. Распределение напряжений по длине исследовательской скважины; верхний, средний и нижний графики – соответственно, распределение максимальной касательной, минимальной и максимальной компонент квазиглавных напряжений по длине участка измерений в скважине**

**Параметры напряжённого состояния массива пород крупных карьеров ОАО «Ковдорский ГОК» и ОАО «Апатит»**

Абсолютная отметка измерительной станции, место измерений, борт карьера	Глубина (средн.) расположения измерительной станции от первоначального рельефа $H_{ср.}$ , м	Измеренные параметры напряжённого состояния массива пород по результатам измерений методом разгрузки			Расчётные параметры напряжённого состояния массива пород исходя только из собственного веса вышележащих пород	
		максимальная компонента $\sigma_{max}$ , МПа	минимальная компонента $\sigma_{min}$ , МПа	наклон $\sigma_{max}$ к горизонту. $B_{\sigma_{max}}$ , °	вертикальная компонента $(\gamma H) \sigma_{vert}^{ср}$ , МПа	горизонтальная компонента ( $\gamma H) \sigma_{top}^{ср}$ , МПа
+40м, 2005, СВБ (ОПУ) <sup>1</sup>	217	13	4	18°	6.5	2.2
+94м, 2000, СВБ (ОПУ)	163	20	4	18°	5	1.6
+94м, 2000, СВБ (ОПУ)	163	22	9	-14°	5	1.6
+118м, 2005, СЗБ (ОПУ)	90	5	-1	6°	2.7	0.9
+142м, 2001, СЗБ (ОПУ)	65	8	-2	43°	2	0.6
+166м, 2003, ЮВБ	40	3	-1	13°	1.2	0.4
+154м, 2005, ЮВБ	52	11	3	88°	1.6	0.5
Ньюркпахский карьер Восточного рудника ОАО «Апатит» <sup>2</sup>						
+500м, 2002	200	18	12	-16	6	2
+470м, 2003	230	24	10	-18	6.9	2.3
+440м, 2004	260	33	20	56	7.8	2.6
+470 м, 2005	230	22	12	106	6.9	2.3
Карьер Центрального рудника ОАО «Апатит»						
+610 м, 2003	290	5	-3	36	8.7	2.9
+595 м, 2004	305	26	19	37	9.15	3.05
+580 м, 2005	320	17	4	41	9.6	3.2

<sup>1</sup>СВБ – северо-восточный борт карьера; СЗБ – северо-западный борт карьера; ЮВБ – юго-восточный борт карьера; ОПУ – опытно-промышленный участок.

<sup>2</sup>в Ньюркпахском карьере Восточного и в карьере Центрального рудников ОАО «Апатит» все измерения проводились на северных бортах со стороны висячего бока рудной залежи в пределах ОПУ.

Поскольку все измерения методом разгрузки выполнены на участках наиболее протяжённых бортов карьеров, где коэффициент концентрации горизонтальных напряжений близок к

единице, то полученные значения напряжений в первом приближении можно рассматривать как исходные в нетронутом массиве пород.

Учитывая общие закономерности распределения тектонических напря-

жений с глубиной, можно предположить, что на глубинах более 400–500 м зависимость  $\sigma_{\max} = f(H)$  будет нелинейной. При этом рост напряжений с глубиной будет затухать. По мере накопления экспериментальных данных предложенная зависимость будет уточнена.

В целом на основе выполненных исследований напряжённого состояния массива пород на карьерах Кольского полуострова можно сделать следующие выводы:

1. Напряжённое состояние приконтурного массива пород всех исследуемых месторождений соответствует гравитационно-тектоническому типу.

2. Абсолютные значения параметров напряжённого состояния Хибинских апатит-нефелиновых месторождений несколько выше, чем на Ковдорском месторождении. Наибольшее значение максимальной компоненты главных напряжений, зафиксированное на Ньюрпахском карьере составило 33 МПа, в карьере Центрального рудника – 26 МПа, а в карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» – 22 МПа.

3. В первом приближении зависимость между максимальной компонентой главных напряжений ( $\sigma_{\max}$ , МПа) и глубиной измерений ( $H$ , м) можно представить в виде:  $\sigma_{\max} \approx 0.1 \times H$ , при  $50 \text{ м} < H < 500 \text{ м}$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция формирования нерабочих бортов глубоких карьеров Кольского Заполярья / Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.П. Решетняк, Э.В. Каспарьян, В.В. Рыбин, В.С. Свинин, А.Н. Рыжков // Горный журнал, 2004. – № 9. С. 45-50.

2. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в предельном положении / А.А. Козырев, С.П. Решетняк, Э.В. Каспарьян, В.В. Рыбин, Н.А. Свердленко // Безопасность труда в промышленности, 2003. – №10. – С.41-44.

3. Руководство по измерению напряжений в массиве скальных пород методом разгрузки (вариант торцевых измерений) / АН СССР, Кол. Фил., Горн. ин-т; Сост.: И.А.

Турчанинов, Г.А. Марков, В.И. Иванов. – Апатиты: КНЦ РАН, 1970. – 48 с.

4. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах / А.А. Козырев, В.И. Панин, В.И. Иванов, С.Н. Савченко и др. – Апатиты, 1996. – 159 с. (I часть); 162 с. (II часть).

5. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок / И.А. Турчанинов, Г.А. Марков, В.И. Иванов, А.А. Козырев. - Л.: Наука, 1978. - 256 с.

6. Марков Г.А. Тектонические напряжения и горное давление в рудниках Хибинского массива. - Л.: Наука, 1977. - 213 с. **ГИАБ**

### Коротко об авторах –

Рыбин В.В. – старший научный сотрудник лаборатории геомеханики,  
Козырев А.А. – заместитель директора,  
Данилов И.В. – ведущий технолог лаборатории геомеханики,

Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, root@goi.kolasc.net.ru

