

УДК 622.831

**А.А. Козырев, В.В. Рыбин, К.Н. Константинов**

**ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ЗАКОНТУРНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В БОРТУ  
КАРЬЕРА КОМПЛЕКСОМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ  
МЕТОДОВ**

*Описана комплексная методика геомониторинга геомеханического состояния пород в бортах карьеров. Приведены результаты определения напряжённо-деформированного состояния (НДС) и степени нарушенности прибортового массива пород в окрестности крупных карьерных выемок. Показано, что НДС массива пород в большинстве случаев относится к гравитационно-тектоническому типу, а мощность нарушенной зоны меняется в зависимости от природных и техногенных факторов.*

*Ключевые слова: геомониторинг, карьер, контур борта, апатит-магнетитовое месторождение, рудник.*

---

**К**овдорское апатит-магнетитовое месторождение, разрабатываемое рудником «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» представлено рудным телом вертикального падения, при этом карьерная выемка имеет в плане форму эллипса длиной около 1500 м, шириной порядка 800 м. Увеличение глубины разработки месторождений подобного типа с разноской бортов карьера неизбежно сопровождается увеличением объема вскрышных работ. Для того чтобы минимизировать экономические потери и обеспечить при этом безопасность ведения открытых горных работ целесообразно выбирать углы наклона различных участков борта карьера на конечном контуре исходя из геомеханического состояния законтурного массива горных пород. Одними из основных элементов геомеханического состояния массива пород являются напряженно-деформированное состояние (НДС) и структурная нарушенность массива по-

род. Исходя из большой значимости качественного и обоснованного определения эффективных параметров формируемого контура борта, Горный институт проводит исследования в данной области начиная с 90-х г.г. прошлого столетия.

Комплекс натуральных методов, используемый для измерений напряжений, свойств и нарушенности массива горных пород, включает в себя методы разгрузки (МР) в торцевом варианте, телевизионного контроля скважин (ТКС), ультразвукового каротажа (УК) и применяется для решения поставленных задач на карьерах горных предприятий Кольского полуострова, в том числе в карьере рудника «Железный». Исследование геомеханического состояния массива пород, устойчивости борта карьера и отдельных уступов, являются неотъемлемой частью разработанной в Горном институте КНЦ РАН концепции геомеханического обоснования параметров бортов карьеров в скальных породах,

Таблица 1

**Результаты измерений параметров напряжённого состояния пород методом разгрузки в карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК»**

Расчетный участок	Абсолютная отметка измерительной станции, место измерений, борт карьера	H <sub>ср.</sub> , м	Параметры напряжённого состояния массива пород по результатам измерений методом разгрузки			Расчётные напряжения в массиве исходя из собственного веса вышележащих пород	
			$\sigma_{\max}$ , МПа	$\sigma_{\min}$ , Мпа	$\beta_{\max}$ , град.	$\sigma_{\text{верт.}}^{\text{ср}}$ , МПа	$\sigma_{\text{гор.}}^{\text{ср}}$ , МПа
1	Н/С-1: +94 м, 2000, СВБ (ОПУ)	163	20	4	18°	5	1,6
	Н/С-2: +94 м, 2000, СВБ (ОПУ)	163	22	9	-14°	5	1,6
2	Н/С-5: +40 м, 2005, СВБ (ОПУ)	217	13	4	18°	6,5	2,2
	Н/С-13: +15 м, 2009, ВБ	190	16	12	32°	6	3
	Н/С-14: +15 м, 2009, ВБ	190	22	12	15°	6	3
	Н/С-15: +40 м, 2010, ВБ	175	10	9	-20°	5	2
3	Н/С-16: +55 м, 2010, ВБ	160	11	0,5	-11°	5	2
	Н/С-4: +166 м, 2003, ЮВБ	130	3	-1	13°	1,2	0,4
	Н/С-7: +154 м, 2005, ЮВБ	140	11	3	88°	1,6	0,5
	Н/С-7а: +142, 2006, ЮВБ	64	12	2	-125°	3,0	0,5
	Н/С-17: +24 м, 2011, ЮВБ	240	8	6	107°	7	3
5	Н/С-18: +15 м, 2011, ЮВБ	190	10	-1	-45°	6	2
	Н/С-19: +40 м, 2011, ЮЗБ	175	13	7	89°	5	2
	Н/С-20: +40 м, 2011, ЮЗБ	175	8	5	-27°	5	2
6	Н/С-3: +142 м, 2001, СЗБ (ОПУ)	110	8	-2	43°	2	0,6
	Н/С-6: +118 м, 2005, СЗБ (ОПУ)	132	5	-1	6°	2,7	0,9
	Н/С-11: +99 м, 2009, ЗБ	157	23	13	-80°	5	2
7	Н/С-12: +109 м, 2009, ЗБ	160	31	25	-89°	5	2
	Н/С-8: +10 м, 2007, СБ	247	20	3	-24°	7,40	2,50
	Н/С-9: +10 м, 2008, СБ	247	27	8	-17°	7,40	2,50
	Н/С-10: +25 м, 2007, СЗБ	237	24	14	-15°	7,10	2,30

Таблица 2

**Сводные данные о нарушенности законтурного массива пород по данным исследований комплексом методов**

Расчетный участок карьера	н/с №	Дата, год	Горизонт, м	$H_{\text{наруш. зоны (среднее)}}$ , м	Среднее кол-во трещин наруш. зоны, шт.	$I_{\text{гр.н.з.}}$ , шт/м	$H_{\text{законт. масс.}}$ , м	Среднее кол-во трещин вне наруш. зоны, шт.	$I_{\text{гр.вненаруш (среднее)}}$ шт./м.	Метод
1	н/с 1	2000	94	5	3	1	42	23	0,6	УК
	н/с 2	2000	94				47			УК
	н/с 5, 5 кд	2005	40				41			ТКС, МР
2	н/с 13, 14 кд	2009	15	2	4,7	2	46	38	0,8	ТКС, МР
	н/с 14, 15 кд	2009	15				50			ТКС, МР
	н/с 15, 16 кд	2010	40				47			ТКС, МР
	н/с 16, 17 кд	2010	55				47			ТКС, МР
3	н/с 4	2003	166	4	9,8	3	45	58	1,4	ТКС, МР
	н/с 7	2005	154				25			ТКС, МР
	н/с 7а	2001	142							МР
	н/с 17, 18 КД	2011	24				48			ТКС, МР, УК
	н/с 18, 19 КД	2011	15				47			ТКС, МР, УК
5	н/с 19, 20 КД	2011	40	4	11	3	46	16	0,3	ТКС, МР, УК
	н/с 20, 21 КД	2011	40				47			ТКС, МР, УК
6	н/с 3	2001	42	1	3,7	3		85	1,7	МР
	н/с 6, 6 кд	2005	118				50			ТКС, МР, УК
	н/с 11, 12 кд	2009	99				47			ТКС, МР, УК
	н/с 12, 13 кд	2009	109				50			ТКС, МР, УК
7	н/с 8, 9 кд	2007	10	3	8,8	3	47	47	1	ТКС, МР, УК
	н/с 9, 10 кд	2007	10				47			ТКС, МР
	н/с 10, 11 кд	2008	25				48			ТКС, МР
	н/с 10а	2008	10				47			ТКС

основывающейся на их представлении, как иерархически-блочной среды, в которой действует поле напря-

жений гравитационно-тектонической природы [1, 2 и др.]. Следует отметить, что в настоящее время важность

учёта НДС при оценке устойчивости бортов карьеров отмечается многими исследователями [3, 4].

На рис. 1 представлена схема расположения наблюдательных станций (н/с) в пределах карьерного поля рудника «Железный».

Каждая наблюдательная станция состоит из одной колонковой скважины диаметром 76 мм и длиной 50 м, пробуренной под углом  $+3^\circ$  к горизонту [5].

В табл. 1 представлены обобщённые данные измерений параметров напряжённого состояния массива пород карьера «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК», сгруппированные по участкам (рис. 1). Также в табл. 1 для сравнения приведены расчётные параметры напряжённого состояния массива пород исходя только из собственного веса вышележащих пород.

Из данных, представленных в табл. 1 видно, что во всех случаях имеет место превышение абсолютных значений измеренных максимальных компонент главных напряжений  $\sigma_{\max}$  над расчётными параметрами вертикальных напряжений  $\sigma_{\text{верт}}$ , исходя только из собственного веса вышележащих пород. Это свидетельствует о действии в массиве пород уступов на данных участках контура квазигоризонтальных напряжений, превышающих по своему абсолютному значению горизонтальные напряжения вследствие бокового отпора от веса вышележащих пород в случае гравитационной модели напряжённого состояния массива.

В то же время необходимо отметить, что наибольшие абсолютные значения действующих напряжений отмечены в пределах участков №№ 1, 2, 7. В пределах этих участков массив пород сжат, а  $\sigma_{\max}$  – субгоризонталь-

на. В пределах участков №№ 3, 5 и в некоторой степени 6 напряжённое состояние массива пород характеризуется меньшими значениями действующих напряжений, распространены растягивающие напряжения ( $\sigma_{\min}$ ), а  $\sigma_{\max}$  в половине измерений субвертикальна. Результаты анализа отображены на рис. 2, где с точки зрения действующих в массиве пород напряжений, более тёмный цвет соответствует более благоприятным зонам, менее тёмный – менее благоприятным. Окраска отсутствует в местах, где исследования предполагается провести в ближайшее время.

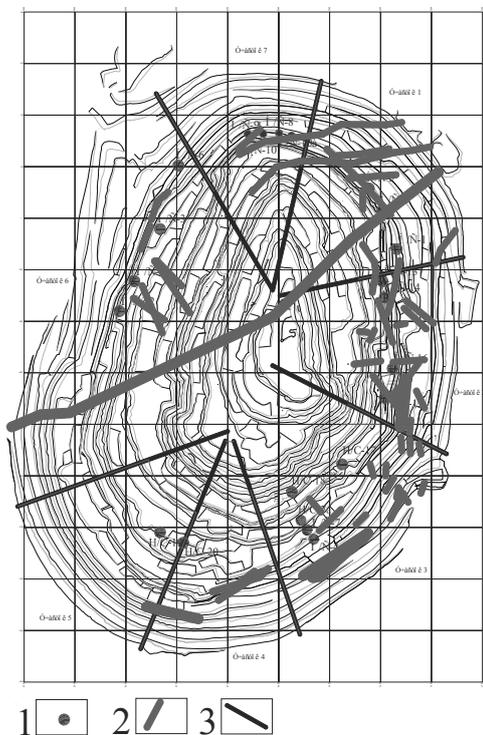
В целом, полученные данные подтверждают действие в массиве пород Ковдорского месторождения поля напряжений гравитационно-тектонического типа, расширяют наши знания о его параметрах в пределах различных участков карьера.

Несмотря на имеющийся разброс полученных результатов, ранее установленная зависимость максимальной компоненты главных напряжений от глубины проведения измерений в целом подтверждается [5] (рис. 3):

$$\sigma_{\max} \approx k \times H, \text{ при } 400 \text{ м} > H > 40 - 50 \text{ м},$$

где  $\sigma_{\max}$  – максимальная компонента главных напряжений, МПа;  $H$  – глубина измерений, м;  $k$  – коэффициент пропорциональности, МПа/м ( $k=0,1$  МПа/м).

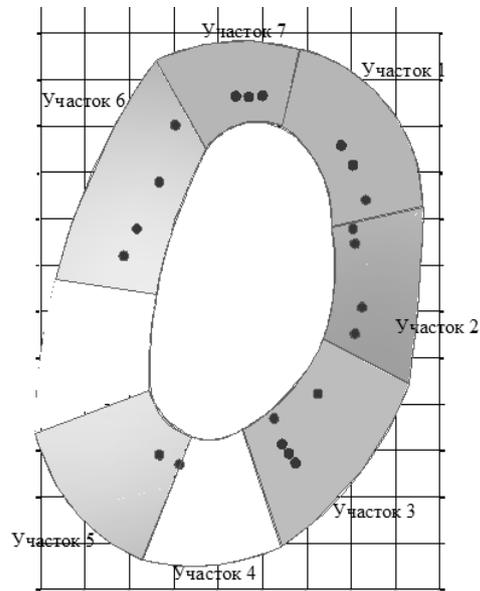
Учитывая общие закономерности распределения тектонических напряжений с глубиной, можно предположить, что на глубинах более 400–500 м зависимость  $\sigma_{\max} = f(H)$  будет нелинейной. При этом, скорее всего рост напряжений с глубиной будет затухать.



**Рис. 1. Схема расположения наблюдательных станций в пределах карьерного поля:** 1 – расположение н/с, 2 – разломы максимального ранга, 3 – границы расчетных секторов

В табл. 2 приведены сводные данные о нарушенности законтурного массива пород по данным исследований комплексом методов.

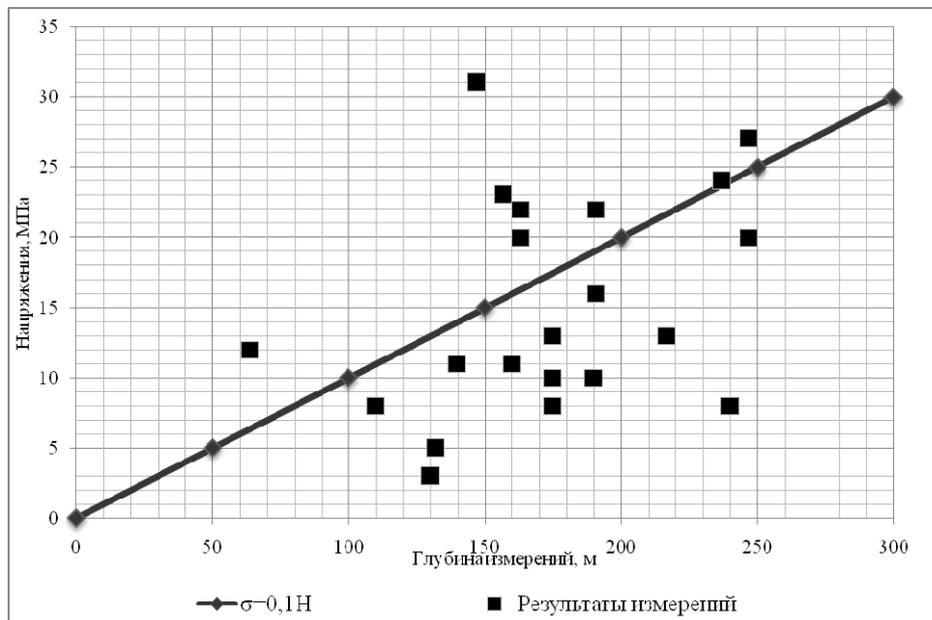
Анализируя представленные в табл. 2 данные, следует иметь в виду, что нарушенность законтурного массива пород определялась несколькими методами в разное время в период с 2000 г. по 2011 г. на различных участках борта карьера, имеющих различные технологические параметры, поставленных в конечном положении с применением различных технологий, прежде всего с применением шадящего взрывания. Хотя перечисленные выше обстоятельства и несколько затрудня-



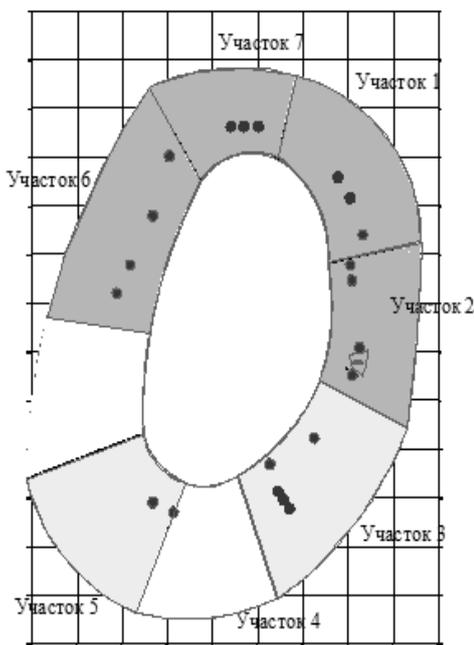
**Рис. 2. Районирование карьера с точки зрения уровня действующих напряжений (точками обозначены места заложения наблюдательных станций)**

ют общий анализ, но всё же некоторые общие сопоставления выполнить можно.

Из данных, представленных в табл. 2 видно, что в пределах нарушенной зоны количество трещин на метр длины исследовательских скважин в среднем более 1 шт./м (от 1 до 3 шт./м), а количество трещин за пределами нарушенной зоны ориентировочно 1 шт./м (0,3—1,7 шт./м). Видно, что средняя мощность нарушенной зоны по участкам меняется от 0 до 5 м, при этом в пределах участков 3 и 5 мощность нарушенной зоны составляет в среднем 4 м, а в пределах участков 2, 6, 7 от 1 до 3 м. Следует заметить, что средняя мощность нарушенной зоны в пределах участка № 1 хотя и составляет 5 м, но такой результат является



**Рис. 3. Зависимость максимальной компоненты напряжений от глубины**



**Рис.4. Районирование карьера с точки зрения нарушения законтурного массива**

следствием применения метода ультразвукового каротажа около-скважинного массива, крайне чувствительного к микротрещиноватости массива пород.

Результаты анализа отображены на рис. 4, где с точки зрения нарушения приконтурного массива пород, более темный цвет соответствует более благоприятным зонам, менее темный – менее благоприятным.

Таким образом, полученные экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии массива свидетельствуют о необходимости учета тектонических напряжений при расчете устойчивости как отдельных уступов, так и борта карьера в целом при его постановке в конечное положение.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Уровень действующих напряжений в массиве пород на северном участке борта карьера несколько выше, чем на южном участке. При этом абсолютные значения действующих напряжений имеют тенденцию к возрастанию с увеличением глубины карьерной выемки.

2. Геомеханическое состояние северного участка борта карьера рудника «Железный» с точки зрения ус-

тойчивости, более благоприятно, чем южного участка.

3. Для уточнения и получения полной картины геомеханического состояния массива пород необходимо продолжать подобные исследования, в особенности в пределах южного и юго-западного участков борта карьера (участки 4, южная часть участка 6), а также на глубинных горизонтах карьера.

---

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев А.А., Каспарьян Э.В., Рыбин В.В. Основные методические положения применения бортов карьеров новой конструкции // Проблемы и тенденции рационального и безопасного освоения георесурсов: сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвящённой 50-летию Горного института КНЦ РАН. – Апатиты; СПб., 2011, с. 340-344.

2. Козырев А.А., Рыбин В.В., Билин А.Л., Фокин В.А., Мелик-Гайказов И.В. Обоснование конструкций устойчивых бортов карьеров в массивах скальных тектонически-напряжённых пород // Горный журнал. – 2010. — № 9. — С. 24-27.

3. Зотеев В.Г., Зотеев О.В. О необходимости совершенствования нормативно-методической базы по геомеханическому обеспечению горных работ // Горный журнал. – 2010. — № 1. — С. 66-68.

4. Яковлев А.В., Ермаков Н.И. Устойчивость бортов рудных карьеров при действии тектонических напряжений в массиве. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2006. – 231 с.

5. Рыбин В.В., Губинский Н.О., Данилов И.В. Опыт определения напряжённого состояния прибортового массива пород на карьерах Кольского полуострова // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы первой молодёжной школы семинара. – М.: ИФЗ, 2009, с. 34-37. **ГИАЗ**

---

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Козырев Анатолий Александрович* — профессор, доктор технических наук, kozar@goi.kolasc.net.ru,

*Рыбин Вадим Вячеславович* — старший научный сотрудник, кандидат технических наук, rybin@goi.kolasc.net.ru,

*Константинов Константин Николаевич* — младший научный сотрудник, const1980@gmail.com

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук.

