

УДК 622.833.5

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.044

Леонтьев Аркадий Васильевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
СО РАН,
630091, г. Новосибирск,
Красный проспект, 54
e-mail: leon@misd.nsc.ru

Leontiev Arkady V.

Doctor of Engineering,
Leading Research Worker,
Chinakal Institute of Mining SB RAS,
630091, Novosibirsk, Krasny avenue, 54
e-mail: leon@misd.nsc.ru

**ОБЗОР ДАННЫХ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ
НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ
ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ*****OVERVIEW OF THE DATABASE
OF INSTRUMENTAL STRESS
MONITORING ON THE ROCK MASS
OF THE TASHTAGOL DEPOSIT***Аннотация:*

Приведен обзор сведений об определении напряжений в массиве горных пород Таштагольского месторождения, полученных методами торцевой разгрузки, разгрузки керна с центральной скважиной, частичной разгрузки и путем гидро-разрыва стенок скважины. Контрольные тесты выполнены на восьми горизонтах рудника в зонах очистных работ, а также в нетронутым массиве. Вне зоны очистных работ на глубине 890 м инструментально установлены следующие значения естественных напряжений:

$$\sigma_1 = \sigma_{\max} = 3\gamma H; \quad \sigma_2 = \sigma_{\text{ср.}} = 1,8\gamma H;$$

$\sigma_3 = \sigma_{\min} = \gamma H$; максимальная составляющая напряжений ориентирована в северо-западном направлении, т. е. по простиранию рудных тел ($A = 320 - 356^\circ$). Высказана потребность в очередном цикле экспериментальных работ по контролю параметров силового поля месторождения после состоявшихся в 1988 и 2003 г. в Алтае-Саянском регионе крупных землетрясений.

Ключевые слова: массив горных пород, методы определения напряжений, тектоническое силовое поле, влияние очистных работ на распределение напряжений, главные напряжения

Abstract:

The review of the available database on stress evaluation in the rock mass of the Tashtagol deposit, Russia, taken by methods of face loading-out, central-well coring loading-out, partial loading-out, and borehole-wall hydraulic fracturing techniques, is made. Reference tests were performed at eight mine levels at stope areas and at untouched rock mass as well. The in-situ stress values

$$\sigma_1 = \sigma_{\max} = 3\gamma H; \quad \sigma_2 = \sigma_{av} = 1,8\gamma H;$$

$\sigma_3 = \sigma_{\min} = \gamma H$ are instrumentally established beyond stoping areas at depth of 890 m; the maximum stress component is directed North-West, i.e. along orebody strike ($A = 320 - 356^\circ$). The requirement to pursue the follow-on series of experiments to monitor force field parameters in the deposit area, Altai-Sayan region, after large-scale earthquakes of 1988 and 2003 periods, is substantiated.

Keywords: rock mass, stress evaluation technique, tectonic force field, stoping influence on stress distribution, principal stress

В настоящее время Таштагольский рудник осваивает Северо-Западный участок железорудного месторождения под рекой Кондома с общим запасом руды около 30,0 млн. т. Дальнейшие перспективы развития рудника связаны со строительством ствола для отработки участка Западный. Достоверная диагностика исходного поля напряжений на новых участках является важнейшим условием правильных проектных решений при выборе и обосновании рациональной технологии добычи полезного ископаемого, обеспечивающей безопасность горных работ. При постановке и проведении этих исследований, как представляется, следует опираться на полученный опыт экспериментальных исследований в предшествующие годы.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-01282)

Первые эксперименты по определению напряжений на Таштагольском месторождении выполнены в 1962 – 1968 гг. на глубинах 233 – 410 м от поверхности Земли в выработках, пройденных по рудной залежи, а также во вмещающих породах (сиениты, сланцы) [1, 2]. Применялся метод торцевой разгрузки. В данных экспериментах впервые установлен факт превышения горизонтальными напряжениями вертикальной компоненты в 1,5 – 2,0 раза. К полученным сведениям о величинах напряжений следует относиться как к приближенным. Дело в том, что метод торцевой разгрузки позволяет получить только 15 – 25 % качественных измерений деформаций разгружаемого керна. Достоверность экспериментов существенно зависит от точности определения коэффициентов концентрации напряжений на плоском торце, надежности закрепления датчиков деформаций, а также от свойств и состояния породной среды [3 – 5].

Следующим приближенным подходом в оценке напряженного состояния горных пород была попытка использовать регрессионную зависимость длины (толщины) дискующегося в процессе выбуривания керна от действующих в массиве напряжений [6]. Серия опытов была осуществлена на гор. ± 0 м (540 м от поверхности). Значения напряжений, установленные на этой глубине, имели порядок 95 – 100 МПа, что составляло около 0,7 – 0,8 от предела прочности пород. Заметим, что в силу сложного характера механизма «самопроизвольного» отделения кернов от массива в процессе бурения [7], эффект дискования кернов в большей мере подходит для выявления зон повышенных напряжений, но недостаточно информативен для определения их абсолютных значений.

В 1962 – 1969 гг. сотрудниками Сибирского филиала ВНИМИ и ВостНИГРИ проведены эксперименты по определению напряжений двумя методами — торцевой разгрузки и методом Н. Хаста [8]. Во втором методе использовался струнный динамометр РСД-30 конструкции НИГРИ. Исследования вне зоны очистных работ выполнялись на глубине 350 м от поверхности в специальной камере в сиенитовых породах в районе околоствольного двора шахты «Новокапитальная» (рис. 1). На глубинах 0,5 – 2,5 м от контура камеры установлены следующие значения главных напряжений: вертикальные 6,2 – 10,0 МПа, горизонтальные 16,5 – 20,3 МПа.

В работе [9] приведен анализ распределения напряжений вокруг горных выработок, пройденных в крепких скальных породах. Инструментальные наблюдения выполнены методом частичной разгрузки на гор. + 70 м в орте, пройденном в рудном массиве, и на гор. ± 0 м в диоритовых породах. Установлена максимальная концентрация напряжений непосредственно на контуре горной выработки, особенно во впадинах кровли, где отмечены величины напряжений в 4 раза большие, чем на стенках. Сведения о напряженном состоянии рудного массива вблизи очистного пространства получены в штреке на гор. + 210 м (400 м от земной поверхности) методом разгрузки (способ Н. Хаста) [10]. В призабойной области массива определены следующие значения максимальных и минимальных напряжений: $\sigma_{\max} = 26,6$ МПа, $\sigma_{\min} = 22,9$ МПа. При этом вертикальная составляющая $\sigma_z = 22,0$ МПа, горизонтальная $\sigma_y = 16,5$ МПа. Факт присутствия повышенных напряжений горизонтальной ориентации в массиве рудников Горной Шории, обнаруженный на основе инструментальных наблюдений в Таштаголе, подтвержден в экспериментах на соседних рудниках [11].

С применением метода полной разгрузки в 1971 г. были определены напряжения в массиве из выработок околоствольного двора шахты «Новокапитальная» на гор. ± 0 [12]. В качестве первичных преобразователей использовались фотоупругие тензометры конструкции ИГД МЧМ СССР. Получены следующие значения компонент максимальных и минимальных напряжений: $\sigma_2 = 5,3 – 23,1$ и $\sigma_1 = 3,8 – 15,6$ МПа, что свидетельствовало о том, что контроль напряжений был осуществлен в зоне непосредственного влияния ствола, а именно в зоне разгрузки массива.

В работе [13] представлены результаты исследования напряжений в массиве на гор. – 350 м вне зоны влияния очистных работ, на расстоянии примерно 800 м от рудных

тел. Применялся метод торцевой разгрузки. Средние значения установленных компонент напряжений представлены в табл. 1. На основе полученных данных вычислены значения главных напряжений: $\sigma_1 = 73 \pm 10$ МПа, $\sigma_2 = 44 \pm 8$ МПа и $\sigma_3 = 35 \pm 5$ МПа. Максимальное главное напряжение не меняет своего направления с глубиной, действуя в направлении $A = 330 \pm 10^\circ$. При этом абсолютное значение напряжения увеличивается с глубиной и имеет коэффициент концентрации $K = 1,8 - 3,0$.

Таблица 1

**Средние значения напряжений на гор. – 350 м
по результатам определения их методом торцевой разгрузки [13]**

Азимут скважины, град	Глубина измерительной скважины, м	$E \cdot 10^{-4}$, МПа	ν	$\sigma_{сж}$, МПа	Напряжения на торце скважины, МПа			Угол наклона σ_{max} , град
					σ_{max}	σ_{min}	τ_{max}	
—	2,0–7,0				86,0	42,0	22,0	—
92	2,0–5,5	9,75	0,25	88,0	45,0	24,0	11,0	21
182	2,0–5,5				41,0	23,0	9,0	2

Серия инструментальных наблюдений по определению напряженного состояния породного массива на участке «Восточный» методами щелевой разгрузки и электрометрии выполнена специалистами ИГД МЧМ СССР в 1983 г. на глубине 670 м от земной поверхности в ортах на двух горизонтах: ± 0 и -210 м (см. рис. 1). [14]. По результатам статистической обработки полученных данных установлены следующие значения первоначальных напряжений, МПа:

на глубине 500 м:

$$\sigma_z = 20,0 \pm 4,5$$

$$\sigma_x = 45,2 \pm 8,0$$

$$\sigma_y = 41,8 \pm 10,0$$

на глубине 700 м:

$$\sigma_z = 24,0 \pm 3,3$$

$$\sigma_x = 52,5 \pm 7,4$$

$$\sigma_y = 46,2 \pm 4,6,$$

где σ_x , σ_y , σ_z — компоненты напряжений, ориентированные вкрест, по простиранию месторождения и вертикально, соответственно.

Полученные результаты показали, что в условиях Таштагольского месторождения величина горизонтальных составляющих поля напряжений превышает значение гравитационной компоненты в среднем в 2,1 раза. При этом напряжения, действующие вкрест простирания рудного тела, на 10 % выше составляющей, ориентированной по простиранию. Это положение противоречило ранее полученным сведениям, когда преимущество было отдано горизонтальной компоненте, действующей по простиранию месторождения [13].

Значительная серия экспериментальных работ по определению естественных напряжений осуществлена сотрудниками ВостНИГРИ методом разгрузки керн с центральной скважиной (см. рис. 1). Использовался унифицированный комплекс приборов и оборудования «УК-Тензор», созданный в ИГД СО АН СССР по программе сотрудничества стран – членов СЭВ [15 – 17].

Исследование напряжений выполнено на гор. – 280 м в забое орта 14. В данном случае обнаружен достаточно высокий уровень действующих напряжений, достигающих 0,7–0,9 предела прочности пород на одноосное сжатие (для сланцев $[\sigma_{сж}] = 125$ МПа). Соответствующие данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристика главных напряжений на гор. – 280 м
рудника Таштагольский в зоне влияния очистных работ [15]**

Глубина установки тензометра, м	Величина и азимут напряжений				
	Вертикальная составляющая	По простиранию		Вкрест простирания	
		σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	A_{σ_2} , град	σ_3 , МПа
1,5	22,9	24,0	164	55,8	76
2,0	45,4	77,2	151	97,1	61
4,5	21,7	56,6	164	89,0	61
5,0	43,1	53,7	151	112,4	61

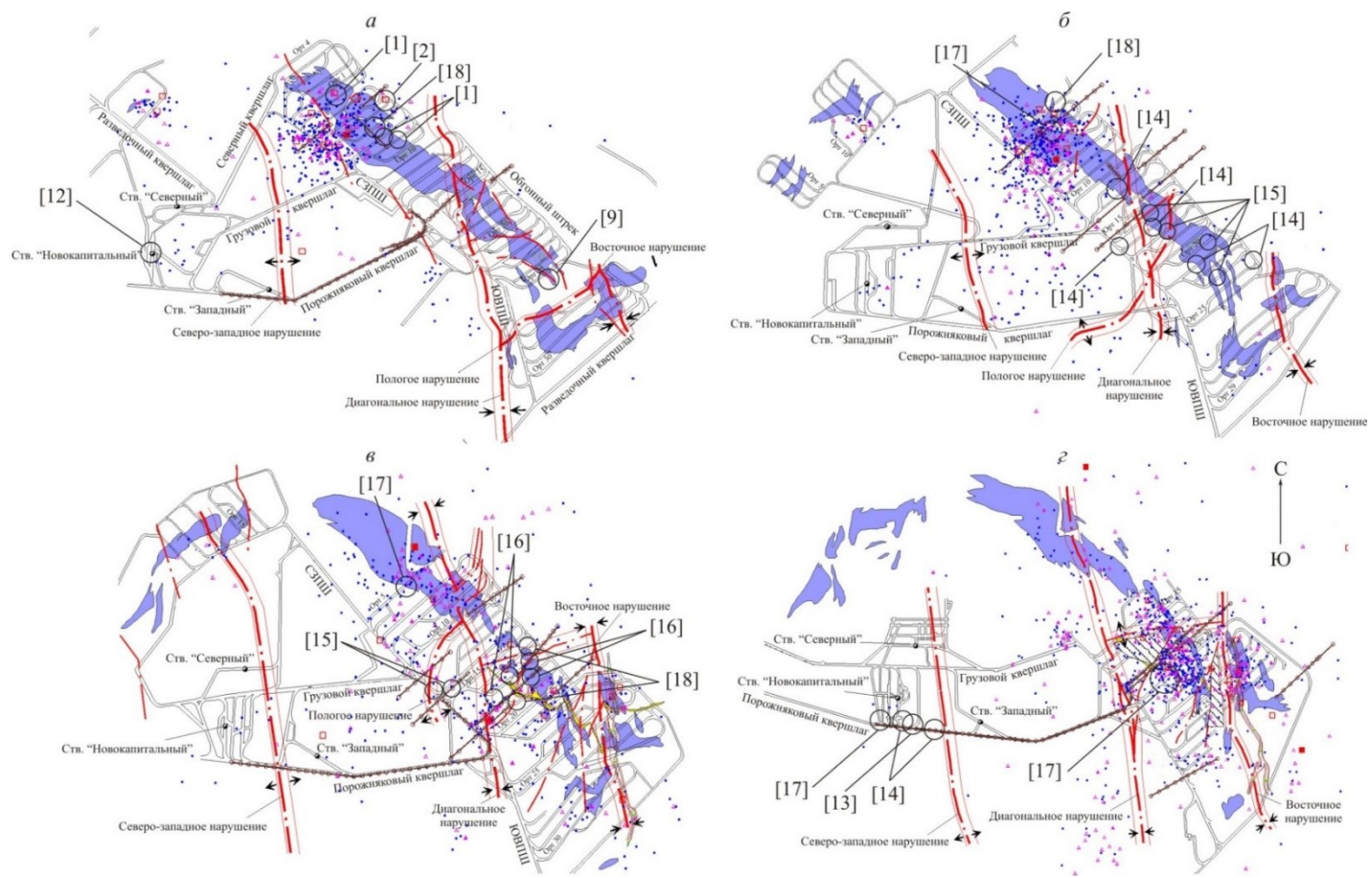
Обобщение имеющихся экспериментальных данных на период с 1962 по 1994 г. позволило установить, что поле напряжений на данном горизонте неоднородно и характеризуется следующим соотношением главных действующих компонент: $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 4,0 : 2,5 : 1,0$.

В 1986–1990 гг. серия опытов по контролю напряжений в породном и рудном массивах была выполнена в этаже между гор. – 280 и – 210 м на различных стадиях процесса подготовки к отработке блоков [16]. Основные измерения проведены в зоне влияния подземных выработок. И частности, в орте № 17 после производства массового взрыва в блоке, по мере приближения к очистному пространству, наблюдалось увеличение компоненты σ_1 от 10,8 до 62,4 МПа (с ориентацией на север) и уменьшение компоненты σ_2 от 44,6 до 7,3 МПа (при $A = 90^\circ$). Таким образом, образование отрезной щели вызвало значительный рост напряжений вблизи очистного пространства и повлияло на ориентировку преобладающих напряжений на $60 - 80^\circ$ при отработке разрезного блока. В зонах концентрации напряжения могли достигать 80 % [$\sigma_{сж}$].

Сотрудниками ВостНИГРИ осуществлен цикл комплексных экспериментов по определению напряжений методами торцевой разгрузки и разгрузки керна с центральной скважиной (по схеме N. Hast и по схеме E.R. Leeman) [17]. Всего произведено десять разгрузок. Отметим, что полученные значения напряжений отличался значительный разброс, скорее всего вызванный погрешностями измерений. Тем не менее сделан вывод, что в массиве действуют горизонтальные сжимающие напряжения, в 1,5–2,5 раза превышающие вертикальные от веса налегающих пород ($\gamma H = 16,5$ МПа). В 1993–1994 гг. получены дополнительные данные о напряженности массива в северном торце месторождения на гор. – 280 м (орт № 5), на гор. – 210 м (орт № 4), а также на гор. – 350 м на новой промплощадке и в районе планируемого разрезного блока (орт № 20) (см. рис. 1 и табл. 3).

Инструментальные определения показали, что вне зоны влияния очистных работ максимальные напряжения ориентированы в северо-западном направлении, по простиранию рудных тел.

В зонах влияния очистных работ направление действия напряжений изменяется на действующее вкрест простирания залежи.



Энергетический класс сейсмособытий: ● 0–2; ▲ 2–3; ▲ 3–4; □ 4–5; ■ 5–6; ◇ 6–7

Рис. 1 – Планы горных выработок гор. – 140 м (а), – 210 м (б), – 280 м (в) и – 350 м (г)

Восточного и Северо-Западного участков месторождения:
СЗПШ и ЮВПШ — северо-западный и юго-восточный полевые штреки;
области экспериментальных наблюдений обозначены окружностями;
источники информации – [4-18]

Таблица 3

Главные нормальные напряжения вне и в зоне влияния очистных работ [17]

Места определения напряжений (горизонт, глубина)	Установленные параметры				Примечание
	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа	Азимут, град	
Гор. – 350 м, $H = 890$ м, район ствола «Новокапитальный»	73,0	44,0	35,0	330	Вне зоны влияния очистных работ, 800 м от рудных тел
Гор. – 350 м, район ствола “Сибиряк”	53,9	25,5	19,8	356	Вне зоны влияния очистных работ, 1000 м от рудных тел, Новая Промплощадка
Гор. – 350 м, разрезной блок № 20	82,4	37,0	23,8	241	Под очистной выемкой
Гор. – 280 м, $H = 820$ м, орт № 5, северный торец	63,6	24,2	18,9	37	В зоне влияния очистных работ; σ_{\max} действует вкрест простирания рудного тела
Гор. – 280 м, разрезной блок № 17, в этаже – 280 ÷ – 210 м	94,1	57,1	22,0	75	Вскрытие гор. – 280 м
	136,8	29,4	42,0	56	Выполнение нарезных работ в блоке
	116,0	67,0	37,0	127	Отрезка блока
	87,0	22,0	59,0	90	Массовое обрушение блока
Гор. – 210 м, $H = 750$ м, орт № 4, северный торец	37,5	19,1	9,8	52	В зоне очистных работ, σ_{\max} действует вкрест простирания рудного тела

В начале 90-х годов прошлого века сотрудниками ИГД СО АН СССР осуществлена серия экспериментов по контролю напряжений в массиве Таштагольского месторождения с использованием гидроразрыва стенок скважины (см. рис. 1 и табл. 4) [18]. Обобщая полученные в 1981 г. данным методом результаты определения напряжений по Таштагольскому руднику, можно отметить следующее:

- все определения напряжений проведены в области их концентрации, обусловленной, главным образом, очистными работами на вышележащих горизонтах;
- распределение средних напряжений по глубине скважин существенно неравномерно даже за зоной влияния ортов (на удалении более 3 м от контура выработки при площади сечения ортов около 7 м²). По-видимому, существенное влияние на определяемую величину напряжений оказала раздробленность массива;
- более нагруженным оказался массив на гор. – 210 м (24,4 – 46,0 МПа). Отмечен рост напряжений с глубиной: 19,0 – 21,6 МПа (на гор. – 140 м) и 23,0 – 26,0 МПа (на гор. – 280 м).

Отрабатываемые подземным способом железорудные месторождения Горной Шории (Таштагольское, Шерегешевское, Казское) расположены в тектонически активном районе, характеризуемом повышенной сейсмичностью. Пространственное распределение эпицентров крупных землетрясений в самых густонаселенных территориях центрального и южного Кузбасса показало, что в рисунке структур группирования эпицентров землетрясений отчетливо выделяется направление ЗЮЗ – ВСВ, субпараллельное границам области [19].

Также отмечается приуроченность «рассеянных» землетрясений к субширотным разломам направления ЮЮЗ – ССВ. Эти сведения, очевидно, являются ориентиром для определения и уточнения направления главных компонент горизонтальных напряжений, действующих в пределах этих месторождений.

Таблица 4

Результаты определения напряжений методом измерительного гидроразрыва

Координаты эксперимента		1-е нагружение		2-е нагружение		3-е нагружение		Величина напряжений, МПа		
Место проведения	Глубина от земной поверхности /от стенки выработки, м	Давление гидроразрыва, P_c , МПа	Давление запыриания, трещины P'_s , МПа	Давление раскрытия трещины, P_r , МПа	Давление запыриания, трещины P''_s , МПа	Давление раскрытия трещины, P'_r , МПа	Давление запыриания трещины, P'''_s , МПа	σ_{\min}	σ_{\max}	$\frac{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}}{2}$
Гор. -140 м, орт № 6, скв. № 1	620/3,0	25,0	12,0	20,4	12,0	19,2	12,0	12,0	16,2	14,1
Гор. -140 м, орт № 6, скв. № 2	620/1,4	38,4	16,1	24,0	-	-	-	16,1	24,3	20,2
Гор. -140 м, орт № 6, скв. № 3	620/5,6	16,8	-	9,6	-	-	-	-	-	-
Гор. -140 м, орт № 6, скв. № 4	620/3,4	37,2	19,0	28,8	-	-	-	19,0	28,2	23,6
	620/4,4	38,4	21,6	28,8	21,6	-	-	21,6	36,0	28,8
Гор. -140 м, орт № 6, скв. № 5	620/3,1	22,8	-	15,6	4,8	-	-	4,8	9,6	7,2
	620/3,8	19,2	-	27,6	-	28,8	-	-	-	-
Гор. -210 м, орт № 2, скв. № 360	653/12,0	12,0	10,0	16,0	13,0	19,8	13,0	13,0	23,0	18,0
	653/11,0	-	-	21,4	16,5	37,6	32,3	24,4	43,7	34,5
	653/10,0	50,0	38,0	38,0	38,0	-	-	38,0	76,0	57,0
	653/8,0	-	-	52,0	46,0	53,0	46,0	46,0	85,0	65,5
	653/6,0	-	-	46,8	41,5	-	-	41,5	77,7	59,6
	653/4,0	40,7	24,5	38,2	24,5	-	-	24,5	35,3	29,9
Гор. -210 м, орт № 2, скв. № 361	653/11,9	29,7	18,0	17,6	13,5	18,4	15,0	15,5	33,5	24,5
Гор. -280 м, орт № 16, скв. № 1	720/8	33,0	26,0	30,0	26,0	-	-	26,0	48,0	37,0
	720/7	30,0	26,0	30,0	26,0	-	-	26,0	48,0	37,0
Гор. -280 м, орт № 18, скв. № 2	720/9	52,0	23,0	52,0	23,0	-	-	23,0	17,0	20,0
	720/8	51,0	23,0	51,0	23,0	-	-	23,0	18,0	20,5

В последние десятилетия силовое поле в районах рудников Горной Шории подверглось значительному воздействию двух крупных динамических событий – Кочуринского (5.02.1988) и Чуйского (27.09.2003) землетрясений [20]. Первое с энергией 10^9 Дж произошло в долине р. Кочура юго-восточнее г. Таштагол на глубине 0,8 – 1,5 км от земной поверхности. Чуйское землетрясение с магнитудой по шкале Рихтера $M = 7,3$ зафиксировано на территории Горного Алтая в долине р. Чуя на удалении 300 км от г. Таштагол. Главный толчок землетрясения отнесен к глубине 8 км.

Можно отметить некоторые особенности влияния произошедших землетрясений на напряженно-деформированное состояние Таштагольского месторождения, проявившихся в характере проявления динамических событий на руднике после производства технологических взрывов [20]. Так, после Кочуринского землетрясения в течение года произошло более 850 сейсмических толчков с энергиями от 10^2 – 10^{10} Дж, среди которых отмечено шесть с энергией в 10^7 – 10^{10} Дж. В первой половине 1988 г. наблюдалось снижение количества динамических событий, что, видимо, связано с «разрядкой» напряженного состояния среды в очаговой зоне землетрясения. Далее во второй половине года интенсивность динамических проявлений в массиве месторождения существенно возросла; более десятка сейсмических событий в этот период достигло энергий 10^5 – 10^7 Дж. Повышенная активизация массива охватила технологические зоны на южном (на глубине 760 м), северном (на глубинах 480 – 690 м) флангах, а также в районе ствола «Западный».

Как показано в работе [21], «наличие сейсмического фона в земной коре от искусственных или естественных источников в условиях синфазности его спектра с колебательным спектром структурных элементов формирующейся очаговой зоны концентрации напряжений способствует тому, что при определенных условиях последняя может эволюционировать в акустически активное состояние с переходом накопленной упругой энергии очаговой зоны в кинетическую энергию движения составляющих ее структурных элементов – в виде нелинейных геомеханических квазирезонансов с сопутствующим излучением продольных, поперечных и маятниковых волн». Основываясь на данной концепции, исследования сложных квазистатических и динамических процессов при нарушении равновесного состояния породного массива источниками различного происхождения представляются одной из перспективных задач геомеханических наблюдений на Таштагольском месторождении, которое отличается блочно-иерархическим строением.

Выводы

Выполненные в период 1962 – 1981 гг. экспериментальные оценки напряжений на различных глубинах Таштагольского рудника показали, что геомеханическое состояние массива горных пород в области месторождения характеризовалось:

– вне зоны очистных работ на глубине $H = 890$ м (гор. – 350 м) естественными напряжениями $\sigma_1 = \sigma_{\max} = 3\gamma H$, $\sigma_2 = \sigma_{\text{ср}} = 1,8\gamma H$, $\sigma_3 = \sigma_{\min} = \gamma H$; максимальная составляющая напряжений ориентирована в северо-западном направлении, т. е. по простиранию рудных тел ($A = 320 - 356^\circ$);

– в зоне влияния очистных работ значения напряжений оценивались величинами $\sigma_1 = \sigma_{\max} = 5\gamma H$, $\sigma_2 = \sigma_{\text{ср}} = 3,5\gamma H$, $\sigma_3 = \sigma_{\min} = \gamma H$, а направление действия максимального напряжения изменялось на ортогональное с $A = 45 \pm 15^\circ$;

– тектоническая составляющая максимальных напряжений на месторождении на новой западной промплощадке на гор. – 350 м определена равной 45,9 МПа, а вкрест простирания составляет 17,5 МПа;

– значения горизонтальных напряжений увеличиваются с глубиной.

Совокупность приведенных выше сведений о результатах определения абсолютных напряжений в породном массиве Таштагольского месторождения и их эволюции

свидетельствует об их существенной «разрозненности». В выполненных экспериментальных исследованиях, как правило, отсутствовала изначально постановка задачи непосредственного контроля параметров поля напряжений нетронутого массива. Основная доля полученных данных была посвящена решению локальных задач, связанных с оценкой напряжений вблизи горных выработок и в зоне их непосредственного влияния либо в окрестности очистного пространства.

В современных условиях данные по контролю напряжений в массиве горных пород должны являться составной частью геомеханико-геодинамического мониторинга месторождения, учитывать специфику контролируемого объекта как нелинейной открытой самоорганизующейся системы с формирующимися определенным образом энергонасыщенными очаговыми зонами.

Литература

1. Батугин С.А. Исследование напряженного состояния массива горных пород методом разгрузки в условиях Таштагольского железорудного месторождения / С.А. Батугин, А.Т. Шаманская // ФТПРПИ. – 1965. – № 2. – С. 28 - 33.
2. Егоров П.В. Исследование напряженного состояния горных пород в районах разрывных нарушений методом разгрузки на Таштагольском железорудном месторождении / П.В. Егоров, А.Т. Шаманская // Измерение напряжений в массиве горных пород: матер. семинара. – Новосибирск: Наука, 1968. – С. 107-114.
3. Hocking G. Three-dimensional elastic stress distribution around the flat end of a cylindrical cavity // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. – 1976. – Vol. 13. – №. 12. – P. 331 - 337.
4. Hiramatsu, Y. Stress around a shaft or level excavated in ground with a three dimensional stress state / Y. Hiramatsu Y., Oka // Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ., – 1961. – XXIV Part 1. – Vol. 24. – P. 56 - 76.
5. Батугин С.А. Пути повышения точности и надежности определения напряжений в массиве горных пород методом разгрузки // Измерение напряжений в массиве горных пород: матер. семинара. – Новосибирск: Наука, 1968. – С. 58 - 77.
6. Нестеренко Г.Т. Приближенный метод оценки напряженного состояния горных пород / Г.Т. Нестеренко, А.Т. Шаманская, П.В. Егоров // Измерение напряжений в массиве горных пород: матер. семинара. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1970. – С. 46 - 49.
7. О стрельбании горных пород / А.П. Бобряков, В.И. Крамаренко, А.Ф. Ревуженко, Е.И. Шемякин // ФТПРПИ. – 1980. – № 5. – С. 3 - 12.
8. Сравнение двух методов измерения напряжений в горных породах / П.В. Егоров, А.Т. Шаманская, В.И. Бояркин, Б.В. Шрепп // Измерение напряжений в массиве горных пород: материалы семинара. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР – 1970. – С. 59-61.
9. Шаманская А.Т. Распределение напряжений вокруг горных выработок, пройденных в крепких скальных породах / А.Т. Шаманская // Измерение напряжений в массиве горных пород: материалы семинара. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР. – 1970. – С. 91-95.
10. Шрепп Б.В. Изучение проявлений опорного давления на призабойный массив / Б.В. Шрепп, В.И. Бояркин // Измерение напряжений в массиве горных пород: материалы семинара. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1970. – С. 95 - 97.
11. Егоров П.В. Естественное поле напряжений массива пород Горной Шории / П.В.Егоров, А.Т. Шаманская // Измерение напряжений в массиве горных пород: материалы семинара. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972. – С. 140 - 143.
12. Шрепп Б.В. Изучение напряженного состояния массива с использованием фотоупругих тензометров и оптических датчиков / Б.В. Шрепп, В.И. Бояркин, В.Ф. Свечников // Измерение напряжений в массиве горных пород: материалы семинара. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972. – С. 221 - 223.

13. Исследование параметров тектонического поля напряжений на глубоких горизонтах Таштагольского месторождения / Е.М. Лапшин, Б.В. Шрепп, В.И. Бояркин, А.И. Сопин // Исследование напряжений в горных породах: сб. науч. тр. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. – С. 11 - 17.
14. Исследование напряженного состояния Таштагольского месторождения / Н.П. Влох, А.В. Зубков, Ю.Г. Феклистов, В.В. Скрипченко, Б.П. Жуков, В.А. Плеханов, Ю.М. Зубков // Исследование напряжений в горных породах: сб. науч. тр. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. – С. 3 - 11.
15. Оценка напряженного состояния массива пород на рудниках Горной Шории методом разгрузки / В.И. Бояркин, А.М. Нохрин, Е.М. Лапшин, В.А. Старожилов // Напряженно-деформированное состояние горных пород: сб. науч. тр. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1988. – С. 130 - 135.
16. Шрепп Б.В. Оценка напряженного состояния массива пород Таштагольского месторождения / Б.В. Шрепп, А.М. Нохрин // Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния массива шахт и рудников: сб. науч. тр. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1990. – С. 138 - 142.
17. Шрепп Б.В. Управление геомеханическими процессами при разработке мощных удароопасных железорудных месторождений изменением геометрии и формы выработанного пространства: дис. ... д-ра техн. наук / Б.В. Шрепп. – Новосибирск, 1996. – 324 с.
18. Результаты совместных испытаний устройств для гидроразрыва скважин / Е.И. Шемякин, П. Кноль, А.В. Леонтьев, С.Н. Попов, В.К. Аксенов. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1981. – 150 с.
19. Шрепп Б.В. Разработка научно-методических основ геомеханического обеспечения подземной отработки железорудных месторождений Сибири в геодинамически активном регионе: дис. ... д-ра техн. наук / Б.В. Шрепп. – Новосибирск, 2009. – 396 с.
20. Линдин Г.Л. Особенности сейсмоактивности Таштагольского месторождения перед горными ударами / Г.Л. Линдин, Т.В. Лобанова // ФТПРПИ. – 2012. – № 2. – С. 70 - 79.
21. Адушкин В.В. От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия – к волнам маятникового типа в напряженных геосредах / В.В. Адушкин, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. – Ч. I. – 2012. – № 2. – С. 3-27; Ч. II. – 2013. – № 2. – С. 3-46; Ч. III. – 2014. – № 4. – С.10-38.