

**Н.И. Косухин, Д.В. Сидоров, А.Н. Шабаров**

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
РУДНОГО МАССИВА ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ  
В ЗОНАХ МЕЛКО-АМПЛИТУДНЫХ  
ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ**

*Рассматриваются горно-геологические, горнотехнические и геодинамические особенности разработки Октябрьского и Талнахского рудных месторождений. Показано, что отработка рудного массива на участках осложненных зонами тектонических нарушений осуществляется в неравнокомпонентном природно-техногенном поле напряжений, связанном с взаимовлиянием очистных работ и зон тектонических нарушений. На примере компьютерного моделирования различных вариантов расположения выработанных пространств до зон тектонических нарушений I-го и II-го типов получены количественные закономерности формирования геодинамически опасных зон в структурно-неоднородном рудном массиве.*

*Ключевые слова: напряженное состояние, удароопасность, тектоническое нарушение, программный комплекс, моделирование.*

**И**ntenсивная разработка Октябрьского и Талнахского месторождений рудником «Таймырским» привела к необходимости ведения горных работ в условиях больших глубин, сопровождающихся высоким уровнем напряженного состояния рудного массива. На месторождении ведется разработка прочных хрупких руд, склонных к горным ударам, что зачастую приводит к проявлению горного давления в динамической форме с разрушением горных выработок и несущих элементов горных конструкций [1, 2]. Геодинамическую ситуацию существенно ухудшает тектоническое строение массива горных пород, характеризующиеся неравномерно напряженным состоянием участков рудного массива. Анализ случаев проявления горного давления в динамической форме с разрушением горных выработок и несущих элементов горных конструкций показал, что несмотря на многообразие влияющих факторов (геологических, технологических, организационных), геологиче-

ская нарушенность массива является основной причиной.

В геологическом строении Октябрьского и Талнахского месторождений выделено четыре [1] морфологических типа нарушений, из которых наиболее широкое распространение имеют тектонические нарушения I и II типа. Сместители тектонических нарушений I типа характеризуются сглаженной плоскостью, по которой крылья нарушения плотно сомкнуты. В крыльях у тектонического шва формируются максимальные напряжения, являющиеся опасными и характеризующиеся появлением видимых признаков динамического проявления горного давления, которые постепенно снижаются по мере удаления от него. Тектонические нарушения II типа характеризуются раскрытыми швами и наличием зоны дробления, заполненной рыхлыми продуктами катаклаза. Видимые признаки проявления горного давления в динамической форме (интенсивное заколообразование,

шелушение пород, стреляние пород) отсутствуют. Вместе с тем возможно выявление повышенной категории удароопасности при ведении горных работ при подходе к ним [3]. Тектонические нарушения также отличаются большим разнообразием по амплитудам разрыва, углам падения и простираения плоскостей сместителей. Зачастую серии тектонических нарушений формируют в рудном массиве тектонические зоны различной ширины и протяженности.

Как отмечается в работе [4] одним из основных параметров дизъюнктивов, оказывающих влияние на формирование удароопасности, является амплитуда нарушения. У тектонических нарушений с большой амплитудой имеется гораздо большая возможность, по сравнению с мелко-амплитудными нарушениями, для реализации энергии упругого деформирования горных пород в виде подвижки по плоскостям блоков с выделением значительного количества сейсмической энергии в форме мощных горно-тектонических ударов. У нарушений, имеющих малую амплитуду, явления сдвигового типа, происходят значительно реже, поскольку само нарушение представляет собой локализованную неразвитую плоскость, чаще заземленную с одной или нескольких сторон, что обуславливает высокую концентрацию напряжений, которая реализуется в виде хрупкого разрушения горных пород с выбросом горной массы в выработки в форме горных ударов.

Поскольку механизм протекания геодинамических процессов вблизи тектонических нарушений существенно зависит от амплитуды дизъюнктивов, то проведение исследований по оценке влияния нарушений на напряженное состояние рудного массива необходимо проводить отдельно для мелко-амплитудных и крупно-ампли-

тудных нарушений. В связи с этим в настоящей статье основное внимание будет уделено исследованию влияния мелко-амплитудных тектонических нарушений на напряженное состояние рудного массива, а в последующих публикациях – влиянию крупно-амплитудных тектонических нарушений.

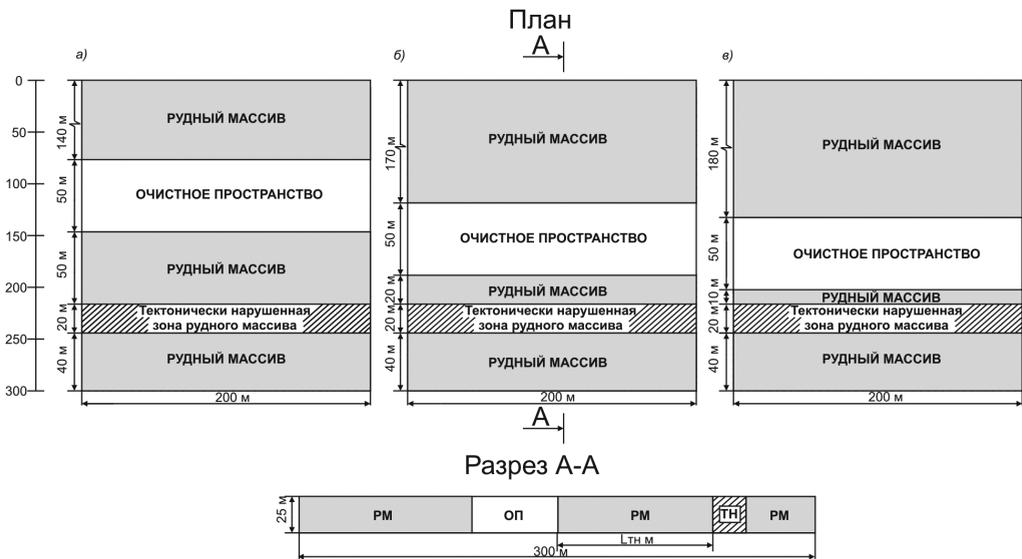
Для решения проблемы удароопасности при ведении горных работ на руднике «Таймырский» применяется комплекс прогнозно-профилактических работ, регламентируемых соответствующими правовыми и нормативно-методическими документами [2]. Для оценки нарастания геодинамических процессов в рудном массиве при ведении горных работ в тектонически нарушенных зонах специалистами Центра геодинамической безопасности ГМК «Норильский Никель» в соответствии с требованиями [2] выполняется сейсмический мониторинг, а службой прогноза и предотвращения горных ударов рудника Таймырский значительный объем экспериментальных работ по локальному прогнозированию напряженного состояния рудного массива. В случае выявления текущим прогнозом удароопасной ситуации в результате критического взаимовлияния природного и техногенного полей напряжений, опасный участок должен приводиться в неудароопасное состояние, что при определенных горнотехнических условиях требует значительных временных затрат по проведению разгрузочных мероприятий и, как следствие, к снижению эффективности добычных работ, что например наблюдается при необходимости выполнения работ по разгрузке протяженных опасных участков рудного массива, формирующихся при ведении широкого фронта очистных работ на переловые тектонические нарушения.

В настоящее время решение вышеупомянутых проблем эффективно

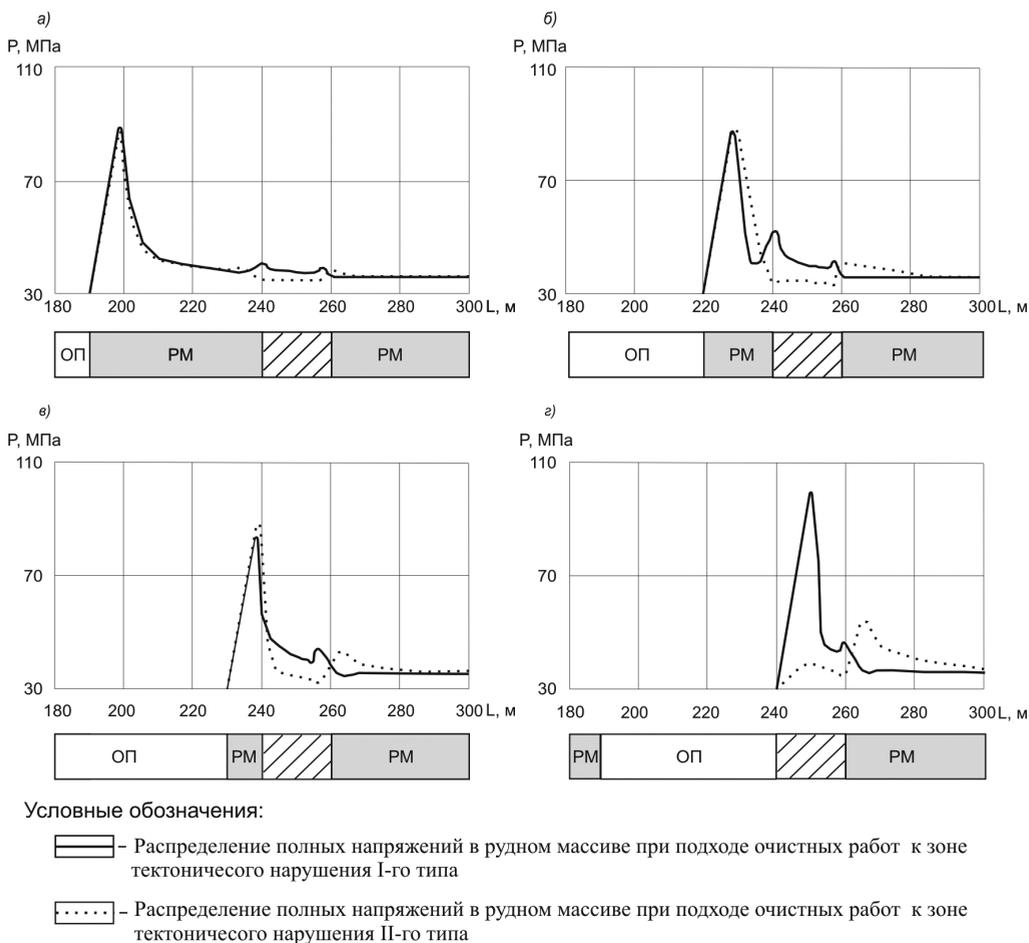
достигается путем прогнозирования геодинамического состояния рудного массива с использованием компьютерного моделирования геомеханических и геодинамических процессов, происходящих при разработке месторождений. Для этих целей может быть использован программный комплекс «PRESS 3D URAL» [5, 6], позволяющий оперативно решать геомеханические задачи заблаговременной оценки напряженно-деформированного состояния тектонически-нарушенного рудного массива, а также планирования противоударных мероприятий с учетом развития горных работ [7]. Предусмотренная в программном комплексе автоматизация процессов формирования базы исходных данных объектов с последующим интерполированием их свойств (глубины, мощности, физико-механических характеристик, параметров мелкоамплитудных и крупно-амплитудных тектонических нарушений, а также параметров мероприятий по профилакти-

ке горных ударов) в пределах исследуемого участка, обработки информации и вывода полученных результатов, а также учет широкого диапазона изменяющихся горно-геологических и горнотехнических факторов позволяет значительно снизить временные и трудовые затраты на построение серии расчетных моделей при моделировании развития очистных работ [8].

Для проведения численного эксперимента принимались расчетные схемы приведенные на рис. 1, предусматривающие переменные расстояния от очистных работ до зоны тектонических нарушений различных типов. При численном моделировании принимались следующие исходные данные [1, 2]: глубина ведения горных работ  $H_p = 1300$  м, модуль упругости рудного массива  $7 \cdot 10^4$  МПа, модуль упругости вмещающих пород  $E_n = 5 \cdot 10^4$  МПа, предел прочности руды на одноосное сжатие  $\sigma_{сж.} = 90$  МПа, мощность рудного массива  $m = 25$  м.



**Рис. 1. Расчетных схемы участка при различной величине расстояния между выработанным пространством и тектоническим нарушением: а) – расстояние 50 м, б) – расстояние 20 м, в) – расстояние 10 м**



**Рис. 2. Эпюры распределения полных нормальных напряжений в тектонически нарушенном рудном массиве при расстоянии от очистных работ до тектонической зоны, равном: а) 50 м; б) 20 м; в) 10 м; г) 0 м**

Тектонические нарушения, в соответствии с рекомендациями [3], принимались в виде жестких включений с повышенным модулем упругости  $E_3 = 10^6$  МПа при моделировании нарушений I типа, и мягких включений с модулями упругости  $E_3 = 3,5 \cdot 10^3$  МПа ( $0,05 E_p$ ) при моделировании нарушений II типа. Расстояния между очистными работами и зонами тектонических нарушений принимались равными  $a = 50, 20, 10, 0$  м.

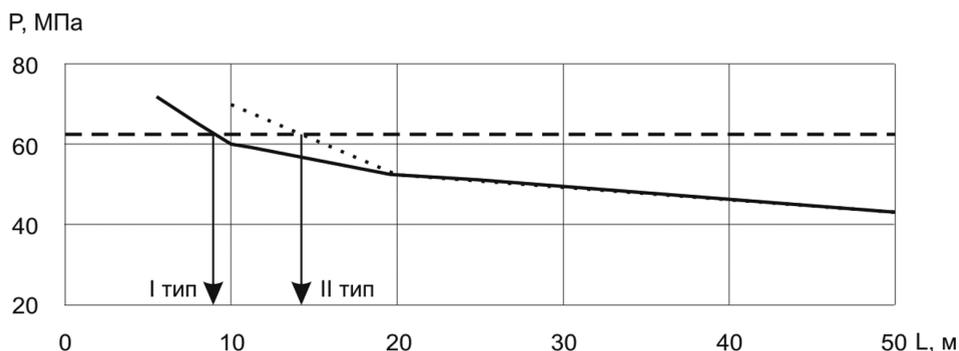
Результаты численного моделирования напряженного состояния

рудного массива при различных расстояниях от очистных работ до зоны тектонических нарушений I-го и II-го типов представлены на рис. 2.

Анализ полученных результатов показывает, что уменьшение ширины участка между очистными работами и зоной тектонических нарушений I-го типа приводит к формированию эпюры напряжений с двумя ярко выраженными максимумами опорного давления со стороны очистного пространства и зоны тектонических нарушений, и нарастающую опорного давлe-

### Средние напряжения в рудном массиве

№ варианта	Расстояние от очистных работ до зоны нарушений, м	Средние напряжения на участке между..., МПа	
		ОП и ТН I-го типа	ОП и ТН II-го типа
1	50	43,3	43,3
2	20	52,6	51,7
3	10	60,3	69,4
4	5	73,45	34,7
5	0	146,9	41,0



Условные обозначения:

- Средние полные напряжения на участке рудного массива между ОП и ТН I-го типа
- Средние полные напряжения на участке рудного массива между ОП и ТН II-го типа
- Средние полные напряжения на участке рудного массива между ОП и ТН II-го типа

**Рис. 3. Определение допустимых расстояний от очистных работ до зон тектонических нарушений**

ния в рудном массиве за зоной тектонических нарушений (рис. 2, б). При сокращении рудного участка между очистными работами и зоной тектонических нарушений до предельного размера оба максимума опорного давления в краевой части рудного массива объединяются в один с резким увеличением уровня действующих напряжений (рис. 2, в-г) до концентрации  $3,3\gamma H$ . В тоже время эпюра на-

пряжений на участке рудного массива, осложненного зоной тектонических нарушений II-го типа характеризуется формированием двух максимумов опорного давления: первого — в краевой части рудного массива до зоны тектонических нарушений от влияния очистных работ и второго — за зоной тектонических нарушений от влияния самой зоны нарушений (рис. 2, в). В случае расположения очистных ра-

бот вприсечку к зоне тектонических нарушений II-го типа в рудном массиве будет формироваться только один максимум опорного давления за нарушенной зоной. В самой зоне тектонических нарушений II-го типа напряжения будут невысокими и составлять около  $1,3\gamma H$  (рис. 2, г).

Для оценки устойчивости рудного участка между очистными работами Результаты оценки средних напряжений на исследуемом участке между очистными работами и зонами тектонических нарушений при различной ширине участка, представлены в таблице.

Анализ полученных результатов показывает, что при расстоянии от очистных работ до тектонических нарушений I и II типов, равном 50 м, средние напряжения на разделяющем участке для обоих вариантов равны (таблица), что свидетельствует об отсутствии взаимовлияния очистных работ и зон тектонических нарушений. По мере уменьшения ширины разделятельного участка в обоих случаях

отмечается нарастание средних напряжений до критического уровня, составляющего для условий рудника «Таймырский» 63 МПа. С учетом данных таблицы на рис. 3 приведен график определения минимально допустимых по безопасности размеров рудных участков между очистными работами и зонами мелкоамплитудных тектонических нарушений, которые для рассматриваемых условий составят: 9 м при наличии зоны ТН I-го типа и 13 м при наличии зоны ТН II-го типа.

Результаты выполненных исследований позволяют осуществить заблаговременный прогноз геодинамической опасности при ведении очистных работ в рудном массиве, осложненном зонами мелко-амплитудных тектонических нарушений. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование геодинамических процессов в рудном массиве при ведении очистных работ в зонах влияния крупно-амплитудных тектонических нарушений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по управлению горным давлением при сплошных системах разработки с твердеющей закладкой на рудниках Норильского ГМК. – Ленинград. – 1987.

2. Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. – Норильск. – 2007.

3. Сидоров Д.В., Шабаров А.Н. Влияние тектонических нарушений на закономерности распределения напряжений в зонах опорного давления // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 3. – С. 237–239.

4. Методические рекомендации и наказы по повышению безопасности ведения горных работ в удароопасных условиях у тектонических нарушений на шахтах СУБРа. – Североуральск. – 1994.

5. PRESS 3D URAL. Комплексное геомеханическое обоснование безопасных па-

раметров подземной разработки месторождений полезных ископаемых. Свидетельство о государственной регистрации в Роспатент – 2012. Режим доступа <http://www.press3dural.ru>.

6. Программа для ЭВМ «PRESS 3D URAL». Свидетельство о государственной регистрации в Роспатент. 2012. Рег. № 2012618481.

7. Сидоров Д.В. Прогноз геодинамической опасности при разработке Североуральских бокситовых месторождений в зонах влияния тектонических нарушений // Рудник будущего. – 2011. – № 3(7). – С. 64–67.

8. Сидоров Д.В. Применение автоматизированного программного комплекса «PRESS 3D URAL» для прогнозирования удароопасных зон и параметров заблаговременной скважинной разгрузки рудной залежи и целиков в сложных геомеханических условиях // Записки Горного института. Т. 204. – 2013. – С. 284–293. **ГИАБ**

Косухин Николай Игоревич – аспирант,

Научный центр геомеханики и проблем горного производства,  
e-mail: kosukhin1991@mail.ru,

Сидоров Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: sidorov@spmi.ru,

Шабаров Аркадий Николаевич – доктор технических наук, директор-проректор,  
Научный центр геомеханики и проблем горного производства, e-mail: shabarov@spmi.ru,  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

---

UDC 061.62:622.838.54

### STRESS-STRAIN STATE ASSESSMENT IN ORE BODY MINING IN SMALL-AMPLITUDE FAULTING ZONES

*Kosukhin N.I.*, Graduate Student,

Scientific Center for Geomechanics and Mining Problems, e-mail: kosukhin1991@mail.ru,

*Sidorov D.V.*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: sidorov@spmi.ru,

*Shabarov A.N.*, Doctor of Technical Sciences, Director-Vice-rector,

Scientific Center for Geomechanics and Mining Problems, e-mail: shabarov@spmi.ru,  
National Mineral Resource University «University of Mines».

---

*In focus are mining-and-geological, mine-technical and geodynamic features of mining of the Oktyabrsky and Talnakh ore bodies. It is shown that ore extraction in the zones of faulting is effected in the nonequicomponent natural-and-induced stress field under the action of stoping and faulting. Based on computer-aided modeling of alternate configurations of worked-out areas right down to faulting type I and II zones, the quantitative regularities of formation of geodynamically hazardous zones in structurally nonuniform ore body have been obtained.*

*Key words: stress state, rockburst hazard, faulting, software system, modeling.*

### REFERENCES

1. *Metodicheskie ukazaniya po upravleniyu gornym davleniem pri sploshnykh sistemakh razrabotki s tverdeyushchei zakladkoi na rudnikakh Noril'skogo GMK* (Instructional guidelines on ground control in longwalling with backfill in mines of the Norilsk Mining and Metallurgical Company), Leningrad, 1987.

2. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na Talnakhskom i Oktyabr'skom mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* (Safe mining guidelines for the rockburst-hazardous Talnakh and Oktyabrsky deposits), Norilsk, 2007.

3. Sidorov D.V., Shabarov A.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2003, no 3, pp. 237–239.

4. *Metodicheskie rekomendatsii i nakazy po povysheniyu bezopasnosti vedeniya gornykh rabot v udaroopasnykh usloviyakh u tektonicheskikh narushenii na shakhtakh SUBRa* (Instructional guidelines and orders on mining safety improvement in rockburst-hazardous conditions nearby faults in the North Ural bauxite mines), Severoural'sk, 1994.

5. PRESS 3D URAL. *Kompleksnoe geometricheskoe obosnovanie bezopasnykh parametrov podzemnoi razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii v Rospatent* (PRESS 3D URAL Integrated geomechanical validation of safe underground mineral mining parameters. Certificate of state registration in the Federal Service for Intellectual Property of Russia (Rospatent), 2012, available at: <http://www.press3dural.ru>).

6. *Programma dlya EVM «PRESS 3D URAL». Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii v Rospatent no 2012618481* (PRESS 3D URAL computer program. Certificate of state registration in the Federal Service for Intellectual Property of Russia (Rospatent), no 2012618481), 2012.

7. Sidorov D.V. *Rudnik budushchego*, 2011, no 3(7), pp. 64–67.

8. Sidorov D.V. *Zapiski Gornogo instituta*. T. 204 (Mining Institute Proceedings, vol. 204), 2013, pp. 284–293.