

**М.И. Потапчук, А.А. Терешкин, М.И. Рассказов**  
**ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**  
**МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ**  
**СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ РУДНЫХ ТЕЛ**  
**СИСТЕМОЙ ПОДЭТАЖНЫМИ ШТРЕКАМИ**  
**С УПРАВЛЯЕМЫМ ОБРУШЕНИЕМ КРОВЛИ**

*Были выявлены особенности распределения нормальных и касательных напряжений в элементах систем разработки на различных стадиях отработки рудной залежи Харьковская и выделены потенциально удароопасные участки по мере развития очистных работ. Результаты исследований позволяют научно обосновать способы снижения удароопасности массива, охраны и поддержания горных выработок при отработке месторождений в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах.*

*Ключевые слова: удароопасность, рудная залежь, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, техногенное поле напряжений, мероприятия по управлению горным давлением.*

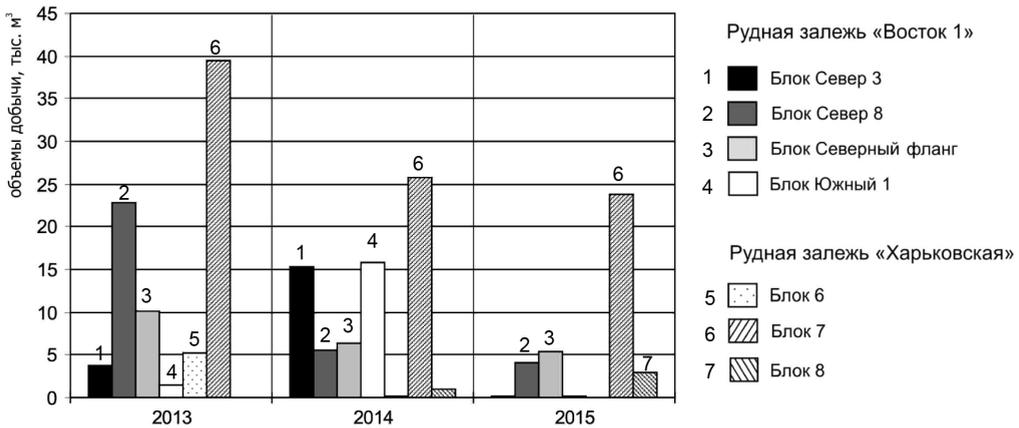
**Б**ольшинство крупных предприятий Дальнего Востока ведут добычу руд на глубинах свыше 500 м, нередко в сложных горногеологических и геомеханических условиях, что приводит к многочисленным проявлениям горного давления в динамической форме. Наблюдается увеличение объемов разрушения горных выработок, потери устойчивости целиков, возрастают трудности в обеспечении безопасности горных работ.

Повышение качества добываемого сырья, полноты извлечения его из недр и безопасности горных работ, особенно на больших глубинах, как показывает практика рудников, достигается применением различных вариантов технологии добычи с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Однако высокая себестоимость добычи не позволяет широко использовать эту технологию при разработке полезных ископаемых средней ценности, и ряд подземных рудников вынуждены отказаться от этой техно-

логии и находить менее затратные технологические решения.

В настоящее время в мировой практике имеются успешные примеры добычи полезных ископаемых камерными системами разработки с управляемым обрушением кровли. Наиболее гибкими в применении оказались системы камерной выемки с подэтажной отбойкой и последующим обрушением кровли, с помощью которых успешно ведется разработка рудных месторождений в самых разнообразных условиях, в том числе и на больших глубинах с проявлением горного давления.

Одним из примеров положительного опыта применения данной системы разработки является Николаевское месторождение поллиметаллических руд средней ценности, разрабатываемое ОАО «ГМК» Дальполиметалл» [1, 2]. Месторождение характеризуется наиболее сложными и удароопасными условиями разработки среди эксплуатируемых рудников Дальневосточного региона. Представлено Николаевское



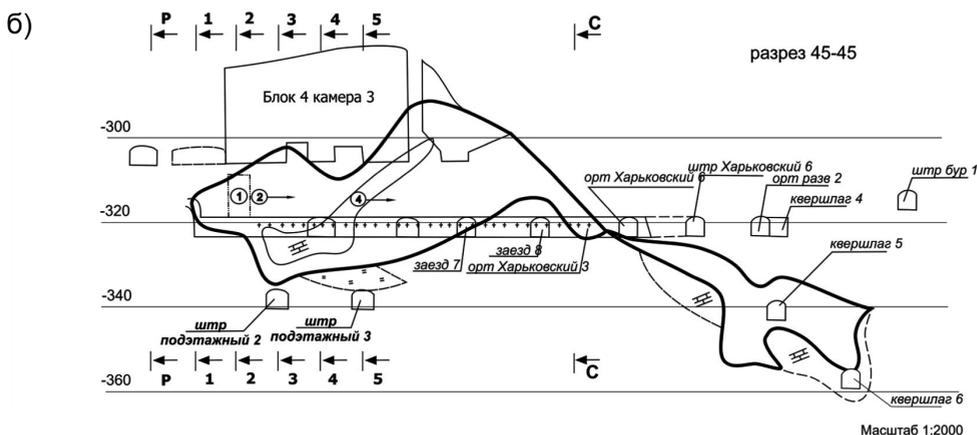
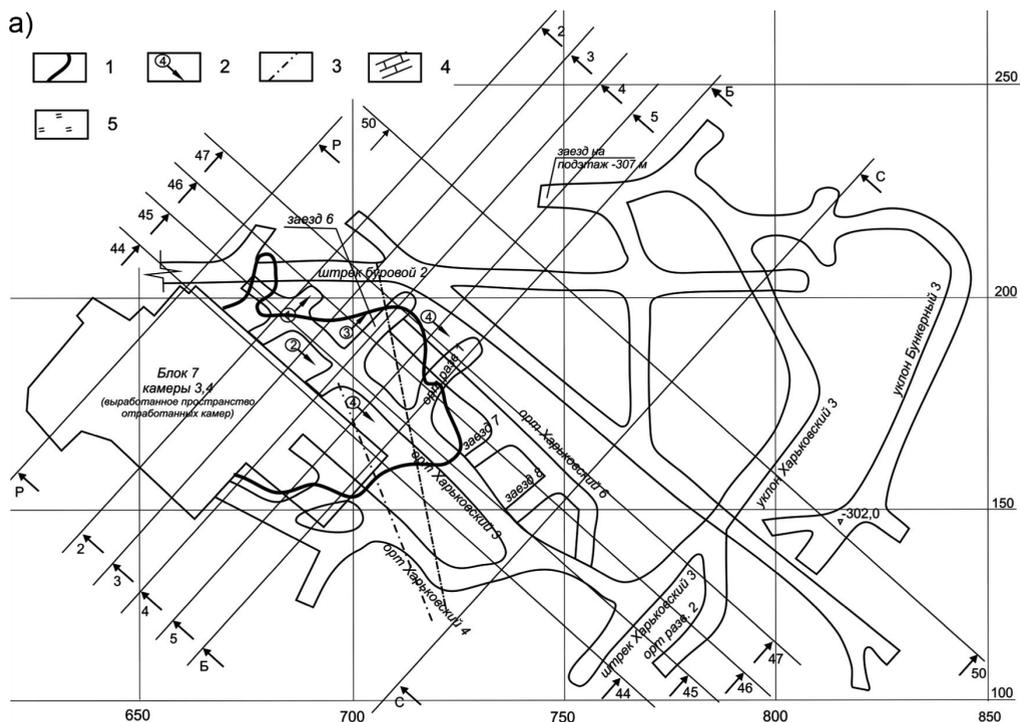
**Рис. 1. Распределение объемов добычи на Николаевском месторождении за 2013–15 гг.**

месторождение трубообразными, гнездообразными и пластообразными скарновыми рудными телами, приуроченными к контактам известняков с породами осадочного и магматического происхождения. Главное рудное тело «Восток-1» мощностью от 3–80 м прослежено с глубины 700 м до 1100 м. Среди сопутствующих более мелких рудных тел можно выделить «Харьковскую» рудную залежь, которая содержит значительную часть запасов месторождения. Данная рудная залежь, сложенная геденбергит-сульфидными рудами находится в центральной и восточной частях Николаевского месторождения и характеризуется весьма сложной морфологией и конфигурацией в плане и изменчивыми элементами залегания как по простиранию и падению [3]. Мощность залежи в среднем составляет 13 м.

В последние несколько лет горные работы на Николаевском месторождении ведутся преимущественно на южном, северном фланге и в районе рудной залежи «Харьковская» (рис. 1). Почти 50% объемов добычи руды обеспечивается за счет отработки рудной залежи «Харьковская». По результатам анализа геомеханической и горнотехнической обстановки было установлено,

что отдельные участки этой рудной залежи представляют потенциальную удароопасность. За время эксплуатации рудника накоплен значительный объем выработанных пространств и большое количество непогашенных различного рода целиков, которые оказывают влияние на формирование напряженно-деформированного состояния горного массива и приводят к повышенным концентрациям напряжений в отдельных элементах горных конструкций месторождения по мере развития горных работ. Заблаговременное выявление наиболее напряженных участков горного массива позволит обеспечить эффективность и безопасность горных работ и снизить риск возникновения динамических проявлений горного давления. Исследования выполнялись с использованием численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива методом конечных элементов программным комплексом FEM в плоской и объемной постановках задач [4].

Кроме этого на руднике проводятся экспериментальные наблюдения с применением аппаратуры «Гроза-16» и системы АСКГД «Prognoz-ADS» (установлена с апреля 2011 г.) и в отдельных участках ведения горных работ в



**Рис. 2. Совмещенный план горизонта -320 м и подэтажа -323 м (а) и разрез по профильной линии 45-45 (б): 1 – контур рудного тела, 2 – стадии отработки камеры 5 в подэтаже -323 м, 3 – тектонические нарушения, 4 – известняки, 5 – кремнистые сланцы**

районе рудной зоны «Харьковская» отмечается достаточно высокий уровень акустической активности [5].

В настоящее время к отработке планируется камера 5 блока 7 рудной залежи «Харьковская» в подэтаже -323 м расположенная между про-

фильными линиями 44-47 и 2'-С и сопрягающаяся с юго-западного фланга с ранее отработанными камерами 1, 2, 3 блока 7, и сверху с отработанными камерами 1, 2, 3 блока 4. Запасы камеры 4 блока 7 дорабатываются на подэтаже -323 м. В результате данный

участок находится в зоне опорного давления ранее отработанных камер (рис. 2). Ранее отработанные камеры с горизонтом выпуска на подэтаже -307 м полностью заполнены породой от проходки горных выработок и от обрушения налегающих пород. Параметры планируемой к отработке камеры следующие: длина 85 м; ширина максимальная до 25 м; высота до 15 м.

В соответствии с морфологией участка рудной залежи и ценностью вовлекаемой в отработку руды, для отработки камеры 5 принимается система подэтажных штреков со сплошной камерной выемкой и последующим обрушением кровли. Применяемая технология предусматривает следующий порядок отработки камеры: разделка отрезной шели на отрезной восстающий рядами скважин, затем производится отбойка руды веерами скважин, пробуренных с орта Харьковского 3 до границы отбойки стадии 2 и на очистное пространство стадии 2. Далее ведется отбойка руды веерами скважин, пробуренных из орта Харьковского 3 и орта Харьковского 6 на очистное пространство стадии 2 и 3 (см. рис. 2).

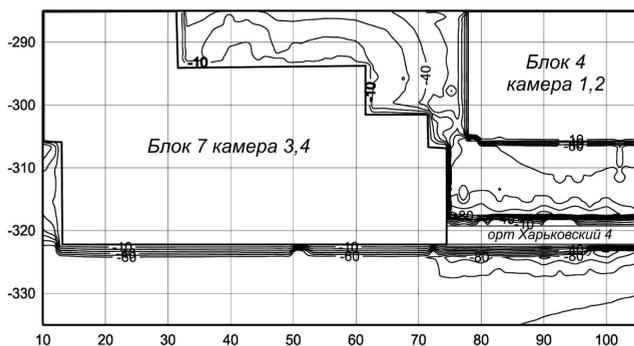
Отбойка руды в камере будет производиться зарядами, размещенными в скважинах при их веерном расположении диаметром 105 мм, 102 мм. Расстояние между веерами в пределах 2,2–2,5 м. Руда, отбитая на подэтаже, в ковшах ПТМ транспортируется к рудоспуску. Из люка рудоспуска на квершлага Диагональный гор. -320 м руда грузится в вагонетки и транспортируется к центральным опрокидам.

Моделировалось 3 этапа отработки камеры 5 блока 7 рудной залежи «Харьковская» в подэтаже -323 м: до начала отработки камеры 5 блока 7; частичная отработка камеры 5 блока 7; полная отработка камеры 5 блока 7 после погашения междукамерных целиков. Граничные условия принима-

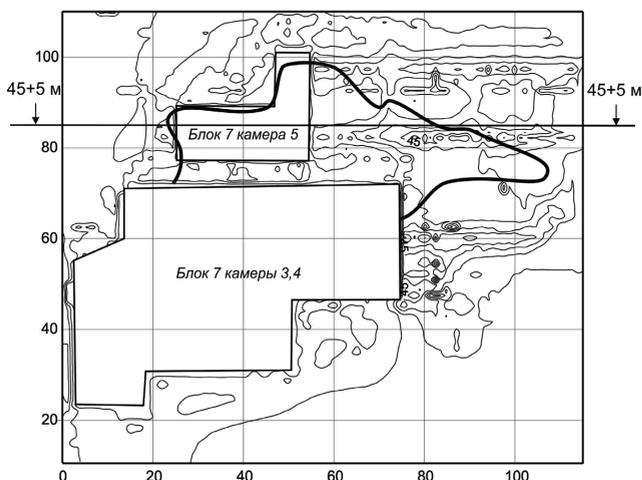
лись на основании выполненного геомеханического анализа моделируемого участка: первые главные напряжения (превышающие гравитационную составляющую в 2,5 раза) действуют по простиранию очистных камер 1, 2 и 3 блока 4, вторые главные напряжения (в 1,5 раза превышающие гравитационную составляющую) действуют соответственно вкрест простирания этих камер. Значения физико-механических свойств горных пород и руд, принятые при моделировании МКЭ, принимались в соответствии с установленными в результате натуральных и лабораторных исследований. Результаты расчетов представлялись в виде изолиний средних нормальных напряжений  $\sigma_{cp}$ , интенсивности касательных напряжений  $\tau_{инт}$ , а также главных нормальных напряжений ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) и горизонтальных  $\sigma_x$ , вертикальных  $\sigma_y$  компонент тензора напряжений.

Анализ результатов математического моделирования напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива показал, что в районе камер блока 7 под влиянием очистной выемки происходит формирование сложного техногенного поля напряжений, характеризующегося наличием областей разгрузки (преимущественно в бортах очистных камер), и повышенных напряжений в кровле горизонтальных выработок (штреков) и крайних частях массива.

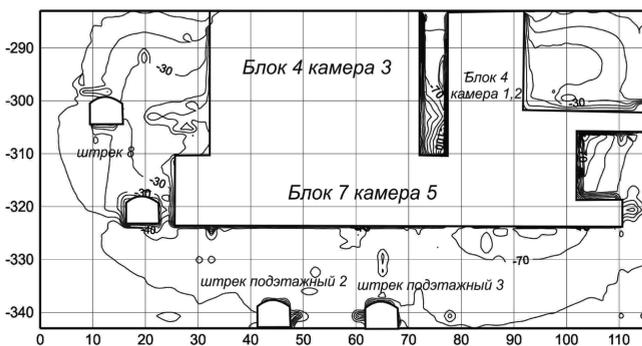
До начала отработки камеры 5 блока 7 можно выделить несколько зон концентраций напряжений. Область повышенных напряжений формируется в кровле выработок гор. -323 м, расположенных перпендикулярно действию максимальных сжимающих напряжений, максимальная величина горизонтальных напряжений, достигающих 115 МПа, наблюдается в кровле орта Харьковский 4 в условиях влияния опорного давления камер 3, 4 блока 7 и 1, 2 блока 4 (рис. 3).



**Рис. 3. Распределение максимальных сжимающих напряжений до начала отработки камеры 5 блока 7 в проекции на разрез 43-43**



**Рис. 4. Распределение касательных напряжений после отработки камеры 5 блока 7 в проекции на план (отм. -317 м)**



**Рис. 5. Распределение максимальных горизонтальных напряжений  $\sigma_x$  после отработки камеры 5 блока 7 и погашения целиков в проекции на разрез 45+5 м**

Также напряжения концентрируются на участке сопряжения камер 3, 4 блока 7 и 1, 2 блока 4 и непосредственно под камерами 1, 2 блока 4, максимальная величина горизонтальных напряжений достигает 115 МПа, касательных до 75 МПа. Еще одна область повышенных напряжений приурочена к участкам массива горных пород, в местах сопряжения подготовительных выработок к камерам 3, 4 блока 7, 2 блока 7. Зоны опорного давления формируются за счет высоких значений действующих горизонтальных напряжений, уровень которых достигает 115 МПа и более.

Постепенная отработка камеры 5 блока 7 в подэтаже -323 м приводит к формированию двух рудопородных целиков между камерами 1, 2 и 3 блока 4, и камерами блока 4 и камерой 5 блока 7. Максимальные значения горизонтальных и касательных напряжений наблюдаемые в междукamerном целике камер 1, 2 блока 4 и камеры 5 блока 7 и составляют 120 и 85 МПа, приближаются к предельным значениям предела прочности пород на сжатие и сдвиг и указывает на потенциальную удароопасность данного участка (рис. 4).

После погашения междукamerных целиков в районе обрабатываемой камеры происходит перераспределение напряжений и их концентрация на участке рудо-

породного массива между камерами 3 блока 4 и 1, 2 блока 4. (рис. 5)

В целом, принятая для отработки камеры 5 блока 7 система разработки является наиболее безопасной с позиции удароопасности, так как развитие горных работ приводит лишь к незначительному росту напряжений в элементах горных конструкций. Вместе с тем в зонах опорного давления формируемых до начала очистных работ в районе камеры 5 (кровля подготовительных выработок на горизонте -323 м, пройденных перпендикулярно действию максимальных сжимающих напряжений, прилегающие участки горного массива к отра-

ботанным камерам 3, 4 блока 7, участки сопряжения камер и формируемые междукамерные целики) необходимо снизить уровень напряжений. В качестве профилактических мероприятий в рудной зоне «Харьковская» может быть рекомендована опережающая скважинная или шелевая разгрузка выработок, расположенных на гор. -323 м под камерами 1, 2 блока 4 (орт Харьковский 4) и междукамерные целики. Также необходимо предусмотреть непрерывный геомеханический мониторинг массива горных пород с применением автоматизированной системы контроля горного давления [6, 7, 8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрейдин А.М., Быкадоров А.И., Неверов С.А., Неверов А.А. Ресурсосберегающие технологии подземной разработки рудных месторождений // Горная промышленность. – 2003. – № 6 (48). – С. 44–50.
2. Рассказов И.Ю., Потапчук М.И., Осадчий С.П., Потапчук Г.М. Геомеханическая оценка применяемых технологий разработки удароопасных месторождений ОАО «ГМК «Дальполиметалл» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 7. – С. 137–145
3. Рассказов И.Ю., Потапчук М.И., Макаров В.В., Александров А.В. Сидляр А.В. Особенности формирования техногенного поля напряжений при отработке глубоких горизонтов Николаевского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. Отдельные статьи (специальный выпуск). Проблемы освоения георесурсов Дальнего Востока. Вып. 4. – С. 96–105.
4. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
5. Рассказов И.Ю. Геоакустические предвестники горных ударов // Электронное периодическое издание «Вестник Дальне-восточного государственного технического университета». – 2011. – № 3/4 (8/9). – С. 121–143.
6. Инструкция по безопасному ведению горных пород на рудниках и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06–329-99) / Колл. авторов. – М.: ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 66 с.
7. Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А., Черноморцев В.Н., Осадчий С.П. и др. Указания по безопасному ведению горных работ на Николаевском и Южном месторождениях (ОАО «ГМК «Дальполиметалл»), опасных по горным ударам. – Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2008.
8. Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Anikin P. A., Potapchuk M. I., Gladyr A. V., Sidlyar A. V., Damaskinskaya E. E., Prosekin B. A., Osadchiy S. P. Methods and results of burst-hazardous assessment in the underground mines of russian Far East // Proceedings of the 8-th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (Russia, Saint-Petersburg – Moscow. 1–7 September 2013). – Obninsk-Perm, 2013. – P. 319–322. 

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Потапчук М.И. – старший научный сотрудник, e-mail: potapchuk-igd@rambler.ru  
Терешкин А.А. – старший инженер, e-mail: andrey.tereshkin@bk.ru  
Рассказов М.И. – младший научный сотрудник, e-mail: rasm.max@mail.ru,  
Институт горного дела ДВО РАН.

**ASSESSMENT OF GEOMECHANICAL CONDITION OF ROCK MASSIF  
IN THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF DIFFICULT-STRUCTURED ORE BODIES  
BY THE SUBLEVEL DRIFTS SYSTEM WITH THE CONTROLLED ROOF CAVING**

Potapchuk M.I.<sup>1</sup>, Senior Researcher, e-mail: potapchuk-igd@rambler.ru  
Tereshkin A.A.<sup>1</sup>, Senior Engineer, e-mail: andrey.tereshkin@bk.ru  
Rasskazov M.I.<sup>1</sup>, Junior Researcher, e-mail: rasm.max@mail.ru,  
Institute of Mining of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
680000, Khabarovsk, Russia.

*The peculiarities of distribution of normal and tangential stresses inside elements of development system on different stages of mining for Harkovskaya ore deposit were revealed. Potentially burst-hazard sections were specified in the process of second working. The research results make possible the scientific substantiation of the methods of massif burst-hazard decrease and the ways of protection and support of mine workings over deposit development in difficult mining-geological conditions and deep mining.*

*Key words: burst-hazard, ore deposit, finite element method, mode of deformation, technogenic stress field, rock pressure management measures.*

**REFERENCES**

1. Freydin A.M., Bykadorov A.I., Neverov S.A., Neverov A.A. *Gornaya promyshlennost'*. 2003, no 6 (48), pp. 44–50.
2. Rasskazov I.Yu., Potapchuk M.I., Osadchiy S.P., Potapchuk G.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 7, pp. 137–145
3. Rasskazov I.Yu., Potapchuk M.I., Makarov V.V., Aleksandrov A.V. Sidlyar A.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, Special edition. Problemy osvoeniya georesursov Dal'nego Vostoka, issue 4, pp. 96–105.
4. Bate K. *Chislennyye metody analiza i metod konechnykh elementov* (Numerical analysis and finite element method), Moscow, Stroyizdat, 1982, 448 p.
5. Rasskazov I.Yu. *Elektronnoe periodicheskoe izdanie «Vestnik Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta»*. 2011, no 3/4 (8/9), pp. 121–143.
6. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh porod na rudnikakh i nerudnykh mestorozhdeniyakh, ob"ektakh stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram RD 06–329-99* (Guidelines on safe mining at metalliferous and non-metalliferous deposits and safe underground construction under rockburst hazard RD 06-329-99), Moscow, GP NTTs po bezopasnosti v promyshlennosti Gosortekhnadzora Rossii, 2000, 66 p.
7. Rasskazov I.Yu., Kursakin G.A., Chernomortsev V.N., Osadchiy S.P. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh robot na Nikolaevskom i Yuzhnom mestorozhdeniyakh (OAO «GMK «Dal'polimetal»), opasnykh po gornym udaram* (Instruction on safe mining at rockburst-hazardous Nikolaevskoe and Yuzhnoe deposits (Dal'polymetal Mining-and Metallurgical Integrated Works)), Khabarovsk, IGD DVO RAN, 2008.
8. Rasskazov I.Yu., Saksin B.G., Anikin P.A., Potapchuk M.I., Gladyr A.V., Sidlyar A.V., Damaskinskaya E.E., Prosekin B.A., Osadchiy S.P. *Methods and results of burst-hazardous assessment in the underground mines of russian Far East. Proceedings of the 8-th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines* (Russia, Saint-Petersburg Moscow. 1–7 September 2013). Obninsk-Perm, 2013. P. 319–322.



**Хочешь быть здоровым и долго жить – читай книги  
и учись.**