



## Библиографический список

1. Ангасольский щебеночный завод [Электронный ресурс]. URL: <http://www.1pnk.ru/filials/angasolka>
2. Атлас Байкала / под ред. Г.И. Галазия. М.: ФСГКР, 1993. 160 с.
3. Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. М.: Академия, 2004. 336 с.
4. Геоинформационное картографирование антропогенного воздействия с использованием разновременных космических снимков на примере Прибайкальского национального парка / Б.Н. Олзоев, Ю.Г. Никитина (Шевчук) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г.; Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. С. 237–242.
5. Геоэкологическое картографирование: уч. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.И. Кочуров, Д.Ю. Шишкина, А.В. Антипова, С.К. Костовская. М.: Академия, 2009. 192 с.
6. Государственный доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2006–2011 годах [Электронный ресурс]. URL: <http://geol.irk.ru/baikal/>
7. Дешифрирование многозональных космических снимков. Методика и результаты: альбом. М.-Берлин: Наука, Akademie-Verlag Berlin, 1982. 85 с.
8. Изучение антропогенной трансформации ландшафтов Прибайкалья по космическим снимкам (на примере острова Ольхон) / Б.Н. Олзоев, Ю.Г. Никитина (Шевчук) // Вестник ИрГТУ. 2014. № 2 (85). С. 67–74.
9. Карта «Транспортно-экологический комплекс». Масштаб 1 : 2500000 // Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. М. – Иркутск, 2004. С. 69.
10. Никитина (Шевчук) Ю.Г. Отображение на космических снимках антропогенного воздействия на ландшафты и способы его картографирования // Науки о Земле. Современное состояние: материалы II Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. Геологический полигон «Шира», Республика Хакасия, Россия. 31 июля – 7 августа 2014 г. / Новосибир. гос. ун-т; Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Новосибирск: ИЦ ИГУ, 2014. С. 283–285.
11. Общая информация. Прибайкальский государственный национальный парк [Электронный ресурс]. URL: [http://www.pribaikalsky.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=144&Itemid=294](http://www.pribaikalsky.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=144&Itemid=294)
12. Объединение Байкало-Ленского заповедника и Прибайкальского парка [Электронный ресурс]. URL: <http://travel-siberia.ru/forum/viewtopic.php?f=8&t=2952>
13. Перспективы рационального использования минеральных ресурсов Южного Прибайкалья / Е.П. Васильев, Л.З. Резницкий, Н.И. Демьянович, Е.А. Некрасова // География и природные ресурсы. Научный журнал СО РАН. 1995. № 4. С. 57–64.
14. Петрова И.Ф. Отображение антропогенной трансформации геосистем на эколого-географических картах. // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 4 (47). С. 182–187.
15. Программный комплекс ENVI: уч. пособие. М: Совзонд, 2011. 315 с.
16. Рекреационное воздействие (территориально-экологический анализ рекреационной деятельности / С.В. Рященко, Т.А. Зайцева, О.В. Евстропьева // Региональный экологический атлас. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. С. 149–157.
17. Численность населения России, федеральных округов, субъектов Российской Федерации, городских округов, муниципальных районов, городских и сельских поселений [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/perepis2010/croc/perepis\\_itogi1612.htm](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm)
18. Экономика Иркутской области: в 4 т. / М.А. Винокуров, А.П. Суходолов. Иркутск: Изд-во БГУЭП (ИГЭА), 2002. Т. 3. 432 с.
19. Экономика Иркутской области: в 4 т. / М.А. Винокуров, А.П. Суходолов. Иркутск: Изд-во БГУЭП (ИГЭА), 2004. Т. 4. 248 с.

УДК 622.831

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МНОГОВЕРШИННОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ЕГО ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УДАРООПАСНОСТИ

© Е.Л. Сосновская<sup>1</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены результаты исследований геомеханических условий горного массива Многовершинного золоторудного месторождения. Определены физико-механические свойства пород и руд, выявлены закономерности формирования тектонических структур и натурными измерениями определены первоначальные напряжения горного массива. Установлено, что на месторождении действуют гравитационно-тектонические напряжения. По результатам исследований сделан прогноз потенциальной удароопасности на руднике. Определена критическая глубина по проявлениям горного давления, которая составила 300–440 м.

*Ключевые слова:* геомеханические условия; золоторудные месторождения; физико-механические свойства горных пород; прогноз; природные и техногенные напряжения.

<sup>1</sup>Сосновская Елена Леонидовна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, тел. (3952) 405216, e-mail: 1.gor@istu.edu  
Sosnovskaya Elena, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Associate Professor of the Department of Mineral Deposits Development, tel.: (3952) 405216, e-mail: 1.gor@istu.edu

**STUDY OF MNOGOVERSHINNOE GOLD MINE GEOMECHANICAL CONDITIONS IN ORDER TO FORECAST ITS ROCK-BUMP LIABILITY****E.L. Sosnovskaya**Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The paper reports on the results of studying the geomechanical conditions of the rock massif of Mnogovershinnoe gold mine. It identifies physical and mechanical properties of rocks and ores, reveals regularities of tectonic structure formation and determines rock massif initial stresses by field measurements. It is found out that gravitational and tectonic stresses are active in the field. The study results allow to forecast potential rock-bump hazard at the mine. Critical depth of rock-pressure manifestation has been determined of 300-440 m.

*Keywords: geomechanical conditions; gold deposits; physical and mechanical properties of rocks; forecast; natural and technogenic stresses.*

Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрГТУ до 2015 г.) проводит на золоторудном месторождении Многовершинное исследования геомеханического состояния горного массива с 2012 г.

На месторождении отмечены случаи вредного проявления горного давления в виде сдвижения и обрушения блоков пород. В 2012 году произошло обрушение участка штрека в выработанное пространство нижележащего эксплуатационного блока рудного тела Промежуточное. Возникла актуальная необходимость с целью повышения безопасности и эффективности горных работ провести комплекс специальных исследований по изучению геомеханических условий месторождения.

Месторождение находится на стыке Амгунского и Горинского синклиналиев Сихотэ-Алинской складчатой области в пределах Улской вулканоплутонической структуры. В трех рудных зонах: Главной, Промежуточной и Водораздельной – сконцентрированы все промышленные рудные тела, разведанные к настоящему времени.

Рудные тела Многовершинного месторождения имеют жилообразную форму, сложную морфологию и приурочены к метасоматическим образованиям кварцевого и кварц-адуляр-гидрослюдистого состава, северо-восточного простирания с крутым ( $56-82^\circ$ ) падением на северо-запад. Морфология рудных тел осложняется отходящими апофизами и сближенными линзами протяженностью до 130 м, а также пострудными дайками и тектоническими разрывами со смещениями по ним, достигающими размеров 50–70 м. Контуры рудных тел и даек, ограничивающих рудные тела, представляют собой средние и крупные (протяженностью от сотен до тысячи метров по простиранию и сотни метров по падению) минерализованные и жильные зоны, жилы сложного строения.

На руднике, в зависимости от мощности рудных тел  $m$ , применяют различные системы разработки: с магазинированием руды ( $m < 2$  м); подэтажными штреками с торцовым выпуском руды по простиранию ( $m 2-8$  м); подэтажными штреками с донным выпуском руды ( $m > 8$  м). Глубина горных работ на руднике составляет более 400 м.

Горно-геологические условия эксплуатации месторождения благоприятные. Руды и вмещающие породы относятся к группе крепких скальных пород. Коэффициент крепости, по М.М. Протодряконову, для

руды и вмещающих пород составляет в среднем 10.

На месторождении преобладают системы трещин с крутыми углами падения ( $70-80$  градусов), что благоприятно влияет на устойчивость пород при проведении горных работ открытым (карьерным) и подземным способами. Интенсивность трещиноватости 1–10 трещин на 1 п. м. Количество трещин возрастает вблизи зон дробления, мощность которых колеблется от первых сантиметров до нескольких метров.

Следует отметить, что отрицательное влияние на устойчивость пород при проведении горных работ оказывают обводненные зоны интенсивно трещиноватых горных пород.

В процессе исследований геомеханических условий разработана классификация горных пород по устойчивости (табл. 1). Для оценки упругих и прочностных свойств вмещающих пород и руд на месторождении было отобрано 20 образцов (табл. 2), в том числе: вмещающих пород – 17, рудных метасоматитов – 3. Определены основные физико-механические свойства, влияющие на геомеханическое состояние массива горных пород: плотность, пределы прочности на сжатие и растяжение, сцепление, угол внутреннего трения и коэффициент Пуассона, статический модуль упругости, коэффициент хрупкости. Следует отметить, что руды и часть пород были представлены образцами неправильной формы, поэтому установить статический модуль упругости стало возможным только по семи пробам.

Установлено, что породы и руды обладают средней плотностью (средняя плотность пород –  $2,71$  т/м<sup>3</sup>, руд –  $2,84$  т/м<sup>3</sup>). Предел прочности пород на сжатие равен 103,2 МПа, руд – 128,5 МПа. Пределы прочности на растяжение составят для вмещающих пород 12,6 МПа, для руд – 12,9 МПа. Угол внутреннего трения пород равен  $35^\circ$ . Сцепление пород 25 МПа, руд 29 МПа соответственно. Статический модуль упругости, определенный по семи образцам, составляет в среднем 62 ГПа. Коэффициент Пуассона пород и руд 0,30-0,31.

Выявлено, что породы и руды Многовершинного месторождения имеют высокие упругие свойства и способны к хрупкому разрушению под нагрузкой. Коэффициент хрупкости пород по Кузнецову Г.Н., равный отношению предела их прочности на сжатие к пределу прочности на растяжение, составляет в среднем 8,8, руд – 9,9, что существенно больше критерия хрупкого разрушения, равного 6. Склонными к хрупким



Таблица 1

**Классификация геомеханического состояния скальных пород месторождения «Многовершинное» по устойчивости**

| Геологические факторы |                              |                            |                  | Состояние устойчивости по группам пород с различной прочностью на сжатие |                    |                   |
|-----------------------|------------------------------|----------------------------|------------------|--|--------------------|-------------------|
| Обводненность         | Тектонические нарушения      |                            |                  | I<br>(до 90 МПа)   | II<br>(90–120 МПа) | III<br>(>120 МПа) |
|                       | Ориентировка (преобладающая) | Характер отдельности пород | Интенсивность    |  |                    |                   |
| Обводненные           | Субвертикальная              | Монолитный глыбовый        | Крупно-, средне- | Неустойчивое   | Неустойчивое       | Устойчивое        |
|                       |                              |                            | Мелко-           | Неустойчивое   | Неустойчивое       | Среднеустойчивое  |
|                       |                              |                            | Рассланцованный  | Крупно-, средне-линзов.  | Неустойчивое       | Неустойчивое      |
| Необводненные         | Субвертикальная              | Монолитный глыбовый        | Крупно-, средне- | Неустойчивое   | Среднеустойчивое   | Устойчивое        |
|                       |                              |                            | Мелко-           | Неустойчивое   | Среднеустойчивое   | Среднеустойчивое  |
|                       |                              |                            | Рассланцованный  | Крупно-, средне-, линзов.  | Неустойчивое       | Среднеустойчивое  |
|                       | Наклонная                    | Монолитный глыбовый        | Мелко-чешуйч.    | Неустойчивое   | Среднеустойчивое   | Среднеустойчивое  |
|                       |                              |                            | Крупно-, средне- | Неустойчивое   | Устойчивое         | Устойчивое        |
|                       |                              |                            | Мелко-           | Неустойчивое   | Среднеустойчивое   | Среднеустойчивое  |
|                       | Рассланцованный              | Крупно-, средне-, линзов.  | Неустойчивое     | Среднеустойчивое   | Среднеустойчивое   |                   |
|                       |                              | Мелко-чешуйч.              | Неустойчивое     | Неустойчивое   | Неустойчивое       |                   |

Таблица 2

**Упругие и прочностные свойства горных пород и руд Многовершинного месторождения**

| Наименование породы, руды        | Средняя плотность, $\rho$ , т/м <sup>3</sup> | Модуль упругости E, ГПа | Коэффициент Пуассона $\mu$ | Предел прочности пород на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа | Предел прочности пород на растяжение $\sigma_r$ , МПа | Коэффициент хрупкости | Сцепление $\tau$ , МПа | Угол внутреннего трения $\varphi$ , град. |
|----------------------------------|--|-------------------------|----------------------------|--|---|-----------------------|------------------------|---|
| Диоритовый порфирит              | 2,76   | -                       | 0,273                      | 139,42   | 23,76   | 5,9                   | 38,51                  | 30,95                                     |
| Андезит                          | 2,76   | -                       | 0,293                      | 157,85   | 23,13   | 6,8                   | 41,57                  | 32,51                                     |
| Андезит (измененный)             | 2,81   | -                       | 0,307                      | 165,52   | 23,01   | 7,2                   | 42,85                  | 33,04                                     |
| Диоритовый порфирит (измененный) | 2,74   | -                       | 0,326                      | 130,26   | 15,38   | 8,5                   | 31,95                  | 34,59                                     |
| Диорит                           | 2,73   | 16,44                   | 0,324                      | 99,98  | 11,74   | 8,5                   | 24,48                  | 34,64                                     |
| Алевролит                        | 2,75   | -                       | 0,273                      | 167,26   | 19,91   | 8,4                   | 41,14                  | 34,52                                     |
| Андезит                          | 2,85   | 216,62                  | 0,317                      | 168,93   | 15,93   | 10,6                  | 38,34                  | 36,55                                     |
| Диорит                           | 2,72   | 13,77                   | 0,316                      | 45,59  | 4,73  | 9,6                   | 10,70                  | 35,74                                     |
| Алевролит                        | 2,72   | 38,39                   | 0,313                      | 92,86  | 10,17   | 9,1                   | 22,20                  | 35,27                                     |
| Песчанистый алевролит            | 2,79   | 40,64                   | 0,304                      | 65,05  | 7,96  | 8,2                   | 16,15                  | 34,26                                     |
| Песчаник                         | 2,44   | -                       | -                          | 8,21   | 0,64  | 12,8                  | 1,74                   | 38,03                                     |
| Песчаник                         | 2,72   | -                       | 0,354                      | 50,9   | 8,44  | 6,0                   | 13,94                  | 31,24                                     |
| Песчаник (изменённый)            | 2,57   | -                       | 0,325                      | 55,47  | 7,34  | 7,6                   | 14,13                  | 33,52                                     |
| Алевролит (изменённый)           | 2,73   | 79,98                   | 0,325                      | 152,33   | 17,16   | 8,9                   | 36,77                  | 35,02                                     |
| Алевролит (изменённый)           | 2,75   | 27,14                   | 0,355                      | 74,73  | 6,04  | 12,4                  | 16,05                  | 37,76                                     |
| Диорит                           | 2,47   | -                       | 0,271                      | 57,27  | 8,64  | 6,6                   | 15,22                  | 32,22                                     |
| Андезит                          | 2,76   | -                       | 0,331                      | 122,66   | 10,29   | 11,9                  | 26,70                  | 37,48                                     |
| 2,71                             | 61,85  | 0,31                    | 103,19                     | 12,60  | 8,2   | 25,44                 | 34,55                  |   |
| Рудный метасоматит               | 3,00   | -                       | 0,32                       | 69,27  | 10,34   | 6,7                   | 18,35                  | 32,33                                     |
| Рудный метасоматит               | 2,53   | -                       | -                          | 111,49   | 13,37   | 8,3                   | 27,49                  | 34,45                                     |
| Рудный метасоматит               | 3,00   | -                       | 0,29                       | 204,65   | 15,07   | 13,6                  | 42,47                  | 38,45                                     |
| 2,84                             | -  | 0,30                    | 128,47                     | 12,93  | 9,9   | 29,44                 | 35,07                  |   |



разрушениям являются андезиты, диоритовые порфириды, алевролиты, песчаники, рудные метасоматиты.

Был проведен пространственно-статистический анализ структурной организации естественного поля тектонических нарушений и трещин – как фактора, отражающего современное геомеханическое состояние горного массива на месторождении и в его окрестностях по методике [1, 2]. Были проанализированы два погоризонтных плана месторождения (рудные тела Промежуточное и Северное на горизонтах +310 м и +380 м. На планах выделены системы аномальных участков интенсивной трещиноватости, по которым определялись средние размеры ячеек иерархических уровней поля трещиноватости (рис. 1, табл. 3).

Пространственно-статистический анализ позволяет отметить следующее. Поле тектонической нарушенности в пределах зоны развития рудных тел и распределение самих рудных тел обладают фрактальными свойствами: дискретностью, иерархичностью, самоподобием. Рудная зона, объединяющая промышленные рудные тела, в целом представляет собой средненапряженную зону. Внутри аномальных неоднородностей, маркируемой периодичностью в 65 м, могут иметь место (с некоторой вероятностью) локальные высоконапряженные участки. Локальные высоконапряженные участки будут отмечаться с периодичностями до 30 м (6-7 м, 13-15 м, в соответствии с принципом удвоения), как правило, на контактах с промышленными рудными телами или в непосредственной близости от них. Опасности с точки зрения горных ударов такие участки не представляют, но они могут повлиять на устойчивость пород и сработать как фактор, провоцирующий вторичное разубоживание при отработке рудных тел системами с магазинированием руды. Выявленную периодичность в локализа-

ции промышленных участков рудных тел рекомендуется использовать при прогнозировании таковых на неизученных или слабо изученных участках месторождения.

Таким образом, пространственно-статистический анализ тектонических структур на месторождении не выявил аномальных участков с высоким напряженным состоянием. Коэффициент масштабного подобия иерархических тектонических структур на верхних горизонтах составил 1,8–1,9, что меньше значений 2,0–2,5, которые характеризовали бы высоконапряженные участки. Анализ кернового материала разведочных скважин также не выявил высоконапряженных зон. Участков дискования керна на мелкие диски толщиной 1–5 мм не выявлено.

На устойчивость горных выработок и целиков значительное влияние оказывает природное (первоначальное) поле напряжений. В 2012 г. проведены измерения природных напряжений горного массива методом щелевой разгрузки по методике ИГД УрО РАН [5]. Измерения проводились в августе в наклонном съезде 253/183 и ходке блокового восстающего 183/2511-2. Глубина горных работ на участке замера составила 284 м. Всего измерены напряжения в 19 щелях. Также измерения проводились в октябре в транспортно-вентиляционном штреке 245/254 и заезде № 1. Глубина горных работ на участке замера составила 380 м, измерены напряжения в 21 щели. Результаты измерений приведены в табл. 4. Их анализ позволяет отметить, что величины первоначальных вертикальных напряжений в массиве горных пород аппроксимируются формулами

$$\sigma_{\epsilon} = -\gamma H, \sigma_{np} = \sigma_n = -1,28 \sigma_{\epsilon} = -1,28 \gamma H, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – плотность пород и руд,  $MH/m^3$ ;  $H$  – глубина горных работ, м.

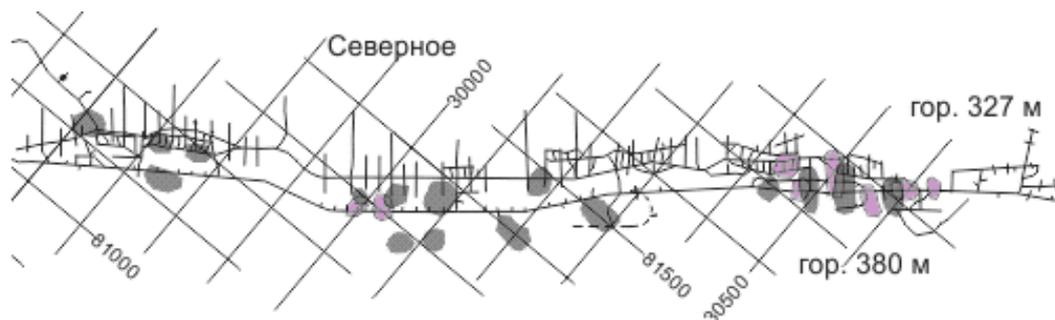


Рис.1. Совмещенный план по горизонтам +310-327-380 м с аномальными участками интенсивной трещиноватости первого уровня (см. табл. 2)

Таблица 3

**Статистическая характеристика параметров структурной организации поля тектонической нарушенности зоны рудных тел Промежуточное – Северное месторождения «Многовершинное»**

| Порядковый номер масштабного уровня | Количество единичных определений | Среднее значение размера ячейки уровня, м | Масштабный коэффициент между уровнями |
|-------------------------------------|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Первый                              | 40                               | 65.2±3.4                                  | 1,9                                   |
| Второй                              | 18                               | 123.8±9,2                                 |                                       |
| Третий                              | 17                               | 217.1±12.4                                | 1,8                                   |



Результаты натуральных измерений напряжений массива горных пород

| Напряжения   | Глубина разработки, м | Теоретическое напряжение по гипотезе А.Н. Динника, МПа | Результаты натуральных измерений     |                          |   |  |
|--|-----------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|---|--|
|  |                       |  | Число единичных измерений напряжения | Величина напряжения, МПа | Отношение продольного напряжения к вертикальному $K = \sigma_{пр} / \sigma_v$ | Отношение поперечного напряжения к вертикальному $K = \sigma_n / \sigma_v$ |
| Наклонный съезд 253/183 и ходок блокового восстающего 183/2511-2 |                       |  |                                      |                          |   |  |
| Вертикальное $\sigma_v$  | 284                   | -7,7   | 42                                   | -7,7±1,0                 | 1,53  | 1,44   |
| Продольное $\sigma_{пр}$   | 284                   | -3,1   | 18                                   | -11,8±2,7                |   |  |
| Поперечное $\sigma_n$  | 284                   | -3,1   | 18                                   | -11,1±1,2                |   |  |
| Транспортно-вентиляционный штрек 245/254 и заезд № 1             |                       |  |                                      |                          |   |  |
| Вертикальное $\sigma_v$  | 380                   | -10,3  | 54                                   | -10,3±0,7                | 1,03  | 1,10   |
| Продольное $\sigma_{пр}$   | 380                   | -4,2   | 24                                   | -10,6±0,8                |   |  |
| Поперечное $\sigma_n$  | 380                   | -4,2   | 24                                   | -11,3±1,3                |   |  |
| Среднее значение   |                       |  |                                      |                          | 1,28  | 1,27   |

Очевидно, что величины горизонтальных измененных напряжений значительно отличаются от теоретических, рассчитанных по гипотезе А.Н. Динника (гипотеза гравитационных напряжений). Они близки к величинам напряжений по гипотезе гравитационно-тектонических напряжений (гипотеза Е.И. Шемякина, М.В. Курлени, Н.П. Влоха и др.)

По-видимому, этот факт связан с тем, что месторождение Многовершинное находится в сейсмически активной зоне, где происходят землетрясения и вулканические процессы, поэтому на глубоких горизонтах месторождения вполне вероятно наличие высоконапряженных участков, на которых могут происходить проявления горного давления в динамических формах. В настоящее время возможно оценивать удароопасность только на верхних горизонтах, где совершается разгрузка напряжений массива горных пород в процессе землетрясений. Этот фактор установлен исследованиями института физики и механики горных пород Киргизстана (месторождения Средней Азии), ИргТУ (месторождение Сауляк, расположенное в Карпатах).

По результатам исследований техногенных напряжений в горных выработках были рассчитаны критические глубины горных работ по динамическим проявлениям горного давления.

Критическую глубину при проведении горных выработок на больших глубинах, по методикам А.В. Зубкова, Л.И. Сосновского, Е.Л. Сосновской [4–6], можно определять из выражений:

- вне зоны влияния очистных камер 
$$H_{кр} < s_{сж}^{об} \cdot 0,7 / g (k_{zi}^1 + K \cdot k_{xi}^1); \quad (2)$$
- в зоне влияния очистных камер 
$$H_{кр} < s_{сж}^{об} \cdot 0,7 / g (k_{zi}^1 + k_{zi}^2 + K \cdot (k_{xi}^1 + k_{xi}^2)),$$

где  $s_{сж}^{об}$  – предел прочности на сжатие в образце, МПа;  $g$  – плотность горных пород, МН/м<sup>3</sup>;  $k_{zi}^1, k_{xi}^1$  –

коэффициенты концентрации напряжений в углах горной выработки;  $K$  – соотношение горизонтальных и вертикальных природных напряжений в массиве горных пород (коэффициент бокового распора);  $k_{zi}^2, k_{xi}^2$  – коэффициенты концентрации напряжений подземных камер в зоне выработок.

Коэффициенты концентрации напряжений в углах горной выработки  $k_{zi}^1, k_{xi}^1$  определялись по результатам моделирования напряженно-деформированного состояния горных выработок методом конечных элементов по программному комплексу FEM, разработанному проф. О.В. Зотеевым (ИГД УрО РАН).

Значения коэффициентов концентрации напряжений подземных камер в зоне выработок  $k_{zi}^2, k_{xi}^2$  принимались по результатам моделирования техногенных напряжений на ЭВМ института ИГД МЧМ СССР [3]. Для условий Многовершинного месторождения  $k_{zi}^2 = 0,8; k_{xi}^2 = 5,4$ .

Таким образом, критическая глубина по динамическим проявлениям горного давления, определенная по формулам 2, составит:

- для одиночных выработок вне зоны влияния очистных камер 
$$H_{кр} < 9,987 s_{сж}^{об}; \quad (3)$$
- для выработок в зоне влияния очистных камер

$$H_{кр} \leq 2,977 s_{сж}^{об}.$$

Очевидно, что, при прочих равных условиях, критические глубины по динамическим проявлениям горного давления изменяются в зависимости от прочностных свойств пород, в которых проведены горные выработки. Для средних значений предела прочности на сжатие горных пород месторождения, критические глубины составляют: для горных выработок вне зоны влияния очистных работ 1000–1400 м, в зоне опорного давления очистных камер 300–440 м.



Для оценки устойчивости целиков и обнажений очистных камер были получены зависимости напряжений в потолочине и стенках очистных камер от мощности рудного тела на различной глубине горных работ (рис. 2, 3). Расчеты напряжений произведены для следующих условий: высота потолочины 6 м, мощность рудного тела 5–20 м, глубина разработки 200–600 м.

цессы обрушения отдельных блоков пород.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. На Многовершинном месторождении действуют гравитационно-тектонические напряжения. На верхних горизонтах массив горных пород характеризуется как средненапряженный. Геоинформационными исследованиями закономерностей формирова-

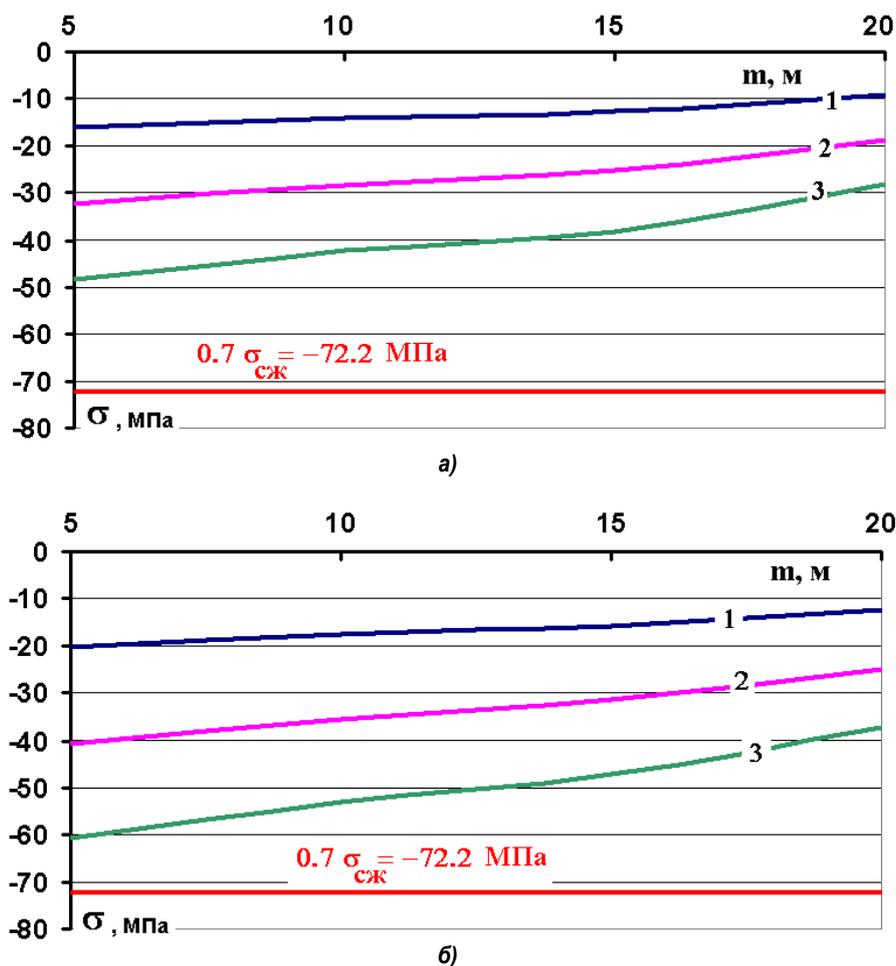


Рис. 2. Зависимости напряжений в потолочине от мощности рудного тела ( $m$ ): а – при отработке одного этажа; б – при отработке двух этажей. 1, 2, 3 – при глубине разработки, соответственно, 200 м, 400 м, 600 м

Анализ полученных зависимостей позволяет отметить следующее. При отработке верхних горизонтов месторождения напряжения в потолочине и стенках камер меньше критических напряжений, характеризующих удароопасность. Критическая величина напряжений, в соответствии с Положением по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (2014 г.) для проявлений интенсивного заколообразования, «шелушения», «стреляния», составляет  $0.7s_{сж}^{об} = 0.7 \cdot 103,2$  МПа. Однако напряжения в конструктивных элементах систем разработки при отработке одного этажа значительно меньше, чем напряжения при отработке двух этажей. При отработке двух этажей рудных тел небольшой мощности 1-7 м в стенке камеры могут возникать растягивающие напряжения, что способно вызвать про-

ния тектонических структур, оценкой дискования керна разведочных скважин, натурными измерениями напряжений методами разгрузки высоконапряженных участков массива горных пород не выявлено.

2. Расчетная критическая глубина по проявлениям горного давления в динамических формах по данным математического моделирования напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов систем разработки составляет 300–440 м. До этих глубин горные выработки, проводимые в зоне опорного давления очистных камер, имеют расчетные напряжения выше критической величины, равной минус 72,2 МПа. Потолочины и стенки очистных камер на верхних горизонтах месторождения будут, в целом, устойчивы.

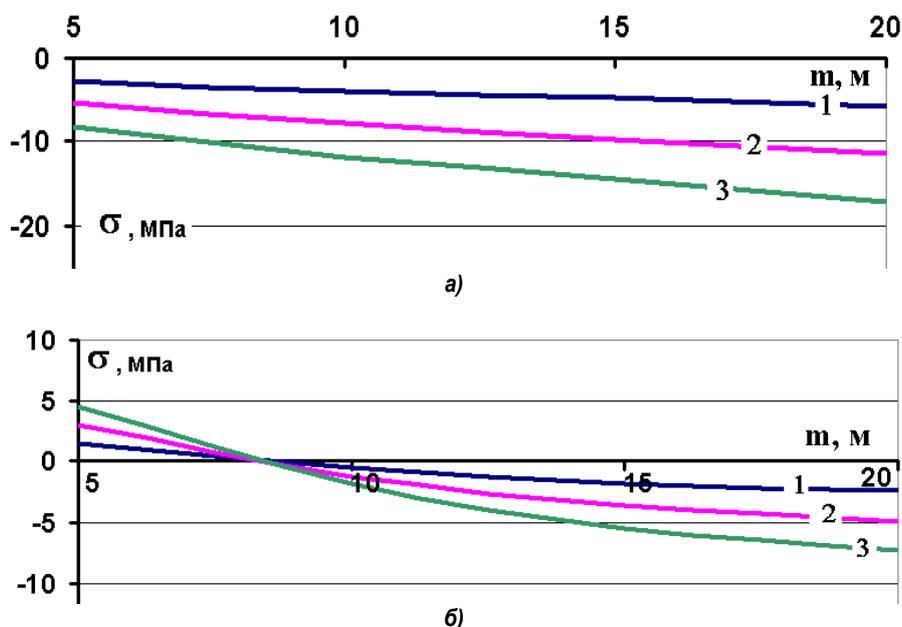


Рис. 3. Зависимости напряжений в стенках очистных камер от мощности рудного тела ( $m$ ): а – при отработке одного этажа; б – при отработке двух этажей. 1, 2, 3 – при глубине разработки, соответственно, 200 м, 400 м, 600 м

3. Следует отметить, что на больших глубинах ниже подошвы гор не исключается появление зон с высокими гравитационно-тектоническими напряжениями. На больших глубинах возможно увеличение концентрации напряжений. Для оценки потенциальной удароопасности на больших глубинах ниже подошвы гор, после отработки запасов верхних горизонтов необходимо провести дополнительные инструментальные и аналитические исследования природных и

техногенных напряжений массива горных пород.

4. По результатам исследований разработан ряд нормативных документов по управлению геомеханическими процессами, которые внедрены на руднике. Основные предложенные методы и методики рекомендуется использовать при изучении геомеханических условий жильных крутопадающих месторождений малой и средней мощности.

Статья поступила 24.02.2015 г.

#### Библиографический список

1. Филонюк В.А., Сосновский Л.И., Сосновская Е.Л. Механизм возникновения и закономерности пространственного распределения участков с относительно высокой и невысокой степенью естественной напряженности в горном массиве // Вестник ИргТУ. 2006. № 2. С. 93–97.
2. Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И., Филонюк В.А. Геоинформационное моделирование фундаментальных свойств геологической среды для создания систем управления ее геомеханическим состоянием // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. науч. конференции с участием иностранных ученых. Новосибирск: Изд-во Института горного дела СО РАН. 2008. С.469–476.
3. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. 208 с.
4. Технология разработки золоторудных месторождений / Неганов В.П., Коваленко В.И., Зайцев Б.М., Сосновский Л.И. [и др.]. М.: Недра, 1995. 336 с.
5. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 335 с.
6. Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И. Прогноз потенциальной удароопасности жильных золоторудных месторождений на стадии строительства рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд-во МГГУ. 2011. № 5. С. 94–101.