

**И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин, М.И. Рассказова,
Б.Г. Саксин, В.И. Мирошников, Г.М. Потапчук**

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ
ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОЛЬФРАМОВЫХ РУД**

Методом численного моделирования исследованы особенности формирования техногенного поля при отработке готовящегося к освоению месторождения вольфрамовых руд. Выявленные закономерности перераспределения напряжений вокруг очистных блоков позволили обосновать критическую глубину по фактору удароопасности, определить потенциально опасные элементы системы разработки и предложить рациональный порядок отработки рудных тел.

Ключевые слова: геомеханические процессы, магазинированная руда, надштрековые целики, удароопасность, вольфрамовые руды.

Семинар № 12

**I.Y. Rasskazov, G.A. Kursakin, M.I.
Rasskazova, B.G. Saksin, V.I.
Miroshnikov, G.M. Potapchuk**

**GEOMECHANICAL ESTIMATION
OF THE PARAMETERS OF THE
DEVELOPMENT SYSTEM OF
WOLFRAMITE ORES**

The main features of technogenic field formation during developing the tungsten ore at the stage of preparation are studied by the method of numerical modeling. The laws of the stress distribution around the stopes allowed to justify the critical depth by the bump hazard factor, to define the potentially dangerous elements in the mining method and propose the rational sequence of the body development.

Key words: geomechanical processes, ore after shrinkage, stump pillar, bump hazard, tungsten ore

В последнее время на Дальнем Востоке России наблюдается увеличение объемов добычи полезных ископаемых, как за счет отработки действующих предприятий, так и освоения новых месторождений. Планируемое к отработке месторождение

вольфрамовых руд «Забытое», расположено в Приморском крае в пределах тектонически активного Амурского геоблока, где уже эксплуатируется ряд удароопасных рудников (Южный, Николаевский, Глубокий и др.), на которых наблюдается весь спектр динамических форм горного давления вплоть до сильных, с тяжелыми последствиями, горных ударов [1]. Так, на имеющем схожее геологическое строение месторождении «Южное», первые горные удары имели место уже на глубине 180 м. Подобные опасные динамические явления прогнозируются и при разработке месторождения «Забытое».

Вследствие этого большое значение имеет точная оценка геомеханического состояния массива горных пород, позволяющая еще на стадии проектирования выделить потенциально удароопасные участки горного массива, определить рациональный порядок вскрытия и отработки рудных тел, что обеспечивает наиболее

эффективные и безопасные условия освоения месторождения.

Наиболее полная информация о геомеханическом состоянии разрабатываемого массива горных пород, необходимая для обоснования эффективных мер по предотвращению опасных динамических проявлений горного давления, может быть получена при сочетании натуральных исследований с исследованиями на физических и математических моделях. При этом результаты, полученные в процессе натуральных исследований, выступают в качестве граничных условий при моделировании геомеханических процессов.

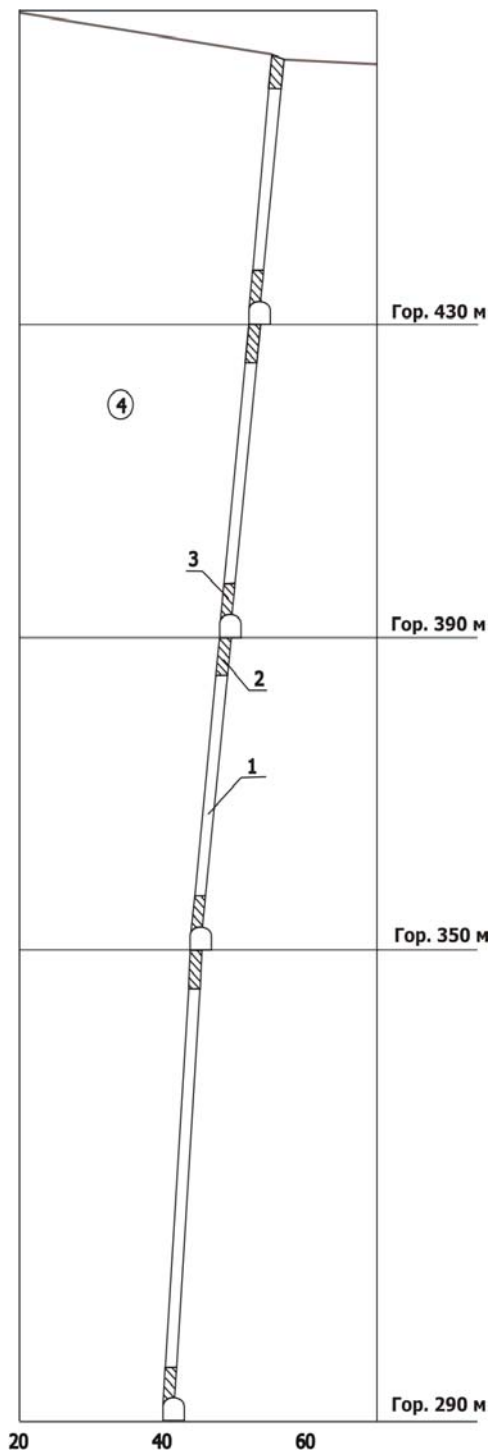
Для исследования горных ударов и теоретического решения разнообразных геомеханических задач в последние годы широко применяются численные методы, среди которых следует выделить метод конечных элементов (МКЭ) [2–4]. Применение данного метода дает возможность не только строить прогнозные карты напряженно-деформированного состояния (НДС) отдельных участков рудничного поля, являющиеся основой для перспективного планирования горных работ, но и установить важные закономерности формирования техногенных полей напряжений, учитывающие особенности геолого-тектонического строения месторождения и параметры применяемых технологических схем.

Рудные тела месторождения «Забьтое» представлены крутопадающими жилами и прожилковыми зонами средней мощностью 3,25 м, прослеженные по простиранию на 800 м, а по глубине — на 400 м. Вмещающими породами являются граниты и ороговикованные алевролиты и песчаники, обладающими достаточно высокой прочностью (до 181,5 МПа). Руды месторождения близки по прочностным

свойствам вмещающим породам, но являются более упругими (модуль Юнга составляет 24,5–36,9 ГПа) и характеризуется повышенными значениями коэффициента удароопасности близком к 1, что дает основания считать руды потенциально удароопасными, способными накапливать значительную потенциальную энергию и разрушаться в динамической форме.

На основе анализа горнотехнических условий разработки, физико-механических свойств руды и вмещающих пород, а также учитывая опыт отработки жильных месторождений, в качестве основной на месторождении предполагается применение системы разработки с магазинированием руды со следующими параметрами: длина блоков – 40–60 м, ширина блока (камеры) определяется мощностью рудного тела, но не менее 1,0 м, высота блока (этажа) – 60 м, мощность предохранительного целика над откаточным штреком составляет 4–5 м, мощность целиков между блоковыми восстающими и очистным пространством – 3 м. Очистные работы начинают в нижней части блока. Выемку руды производят слоями в направлении снизу вверх.

При обосновании граничных условий для численного моделирования НДС использовались как данные лабораторных и натуральных наблюдений, так и результаты ранее выполненных исследований регионального поля напряжений восточной части тектонически активного Амурского геоблока, в пределах которого расположено большинство удароопасных месторождений Дальнего Востока [5]. С привлечением данных GPS наблюдений, согласно которым современное перемещение данного участка земной коры имеет отчетливое субширотное направление и составляет



7-10 мм/год, и метода аналогий было

Рис. 1. Обобщенная расчетная схема для моделирования НДС в элементах системы разработки с магазинированием руды: 1 – выработанное пространство; 2 – рудный целик (потолочина), 3 – надштрековый целик; 4 – вмещающие породы (граниты, роговики)

реконструировано поле тектонических

напряжений в районе месторождения «Забывтое». В нем преобладают субгоризонтальные сжимающие напряжения, ориентированные в субширотном направлении и в 1,8-2,5 раза превышающие гравитационную составляющую. При этом принималось, что тектонические горизонтальные напряжения начинают действовать в нижней (глубинной) части месторождения, а в верхней (нагорной) части массива параметры напряженного состояния определяются действием гравитационных сил и влиянием современного рельефа земной поверхности [6].

Для оценки геомеханического состояния элементов системы разработки моделировались следующие варианты: 1) стадия полной отработки рудного тела с оставлением потолочных под- и надштрековых целиков мощностью 4 и 5 м (в качестве вмещающих пород принимались граниты и роговики); 2) отработка рудного тела с учетом влияния магазинирования руды; 3) участок отработки сближенных рудных тел, на начальной стадии после отработки одной рудной зоны, и на стадии их полной отработки; 4) стадии погашения под- и надштрековых целиков верхней (нагорной) части месторождения до горизонта 290 м и при полной отработке вышележащих запасов до горизонта 170 м соответственно.

Результаты расчетов представлялись в виде изолиний средних нормальных напряжений (среднего давления)

$\sigma_{cp} = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$ и интенсивности касательных напряжений $\tau_{инт} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2$.

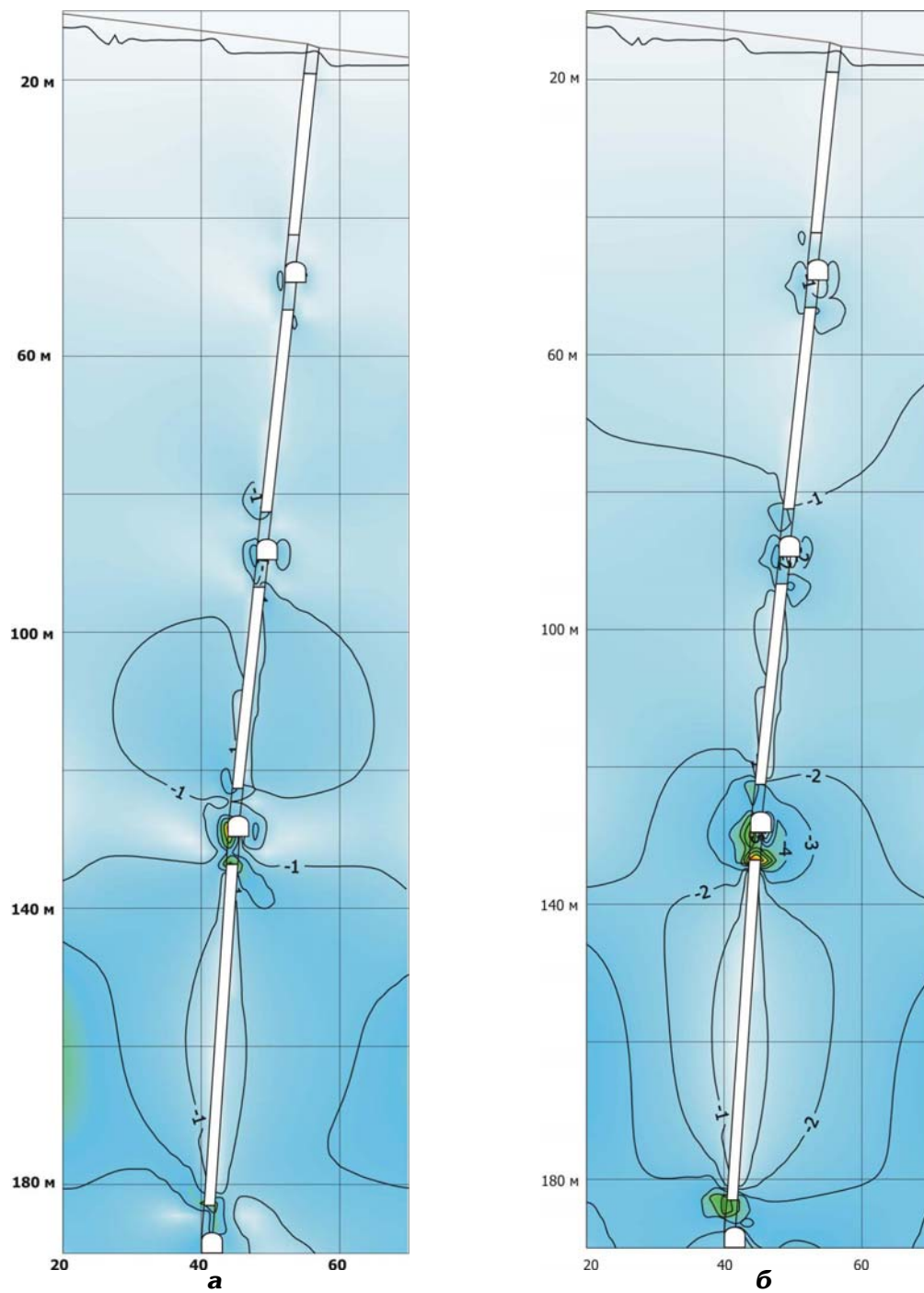


Рис. 2. Распределение $\tau_{\text{инт}}$ (а) и $\sigma_{\text{ср}}$ (б) в массиве горных пород при отработке верхней части месторождения при мощности потолочных целиков 4 м

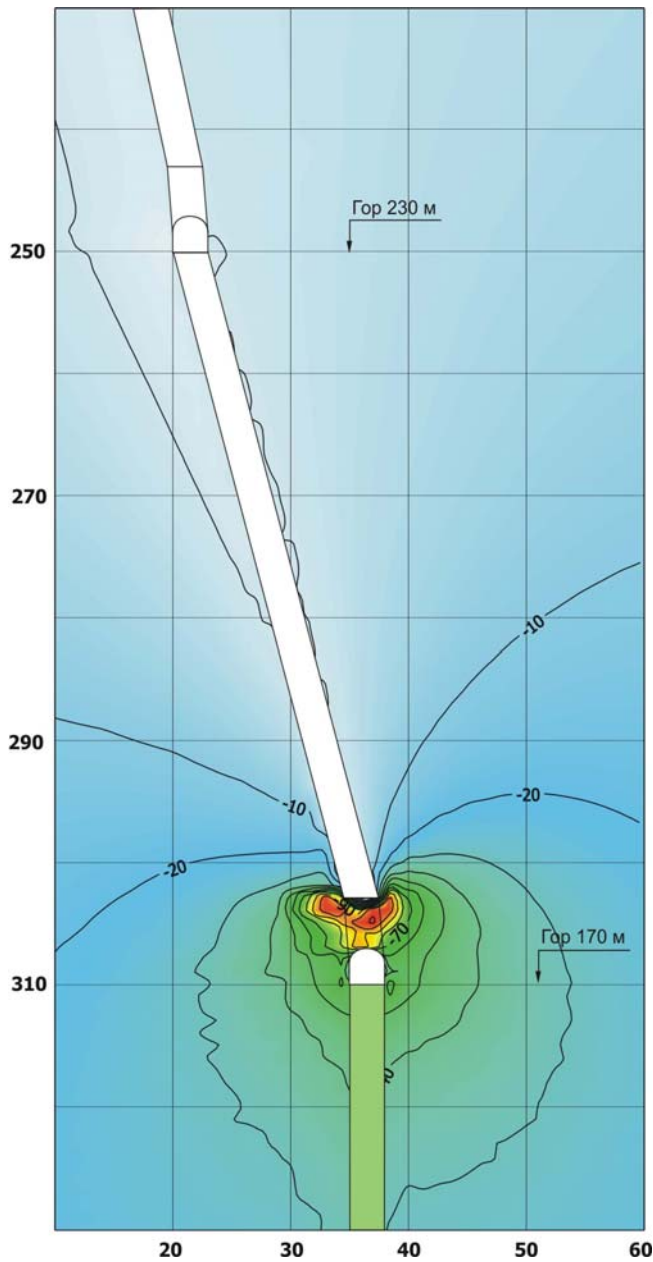


Рис. 3. Распределение $\sigma_{ср}$ в массиве горных пород на стадии полной отработки и погашения целиков до горизонта 170 м (глубина 300 м)

рование техногенного поля напряжений, характеризующегося наличием как областей разгрузки (преимущественно в бортах выработанного пространства), так и появлением зон концентрации напряжений в целиках и других элементах системы разработки. На начальной стадии отработки месторождения эти напряжения невелики, и по величине значительно меньше прочности пород и руд.

По результатам моделирования установлено, что уровень напряженного состояния в зависимости от типа вмещающих пород (соответственно гранитов и роговиков) меняется незначительно. Значительно большее влияние на НДС оказывает изменение мощности формирующихся над- и особенно подштрековых (потолочных) целиков.

При уменьшении мощности потолочного целика с 5 до 4 м напряжения сжатия в нем увеличиваются в 1,5 раза (рис. 2, б).

Касательные напряжения также изменяются с уменьшением потолочного целика, но концентрируются в борту штрека (рис. 2, а).

Представляет интерес анализ картины распределения напряжений на

Обобщенная расчетная схема для моделирования НДС приведена на рис. 1.

Анализ результатов моделирования показал следующее. Под влиянием очистной выемки происходит форми-

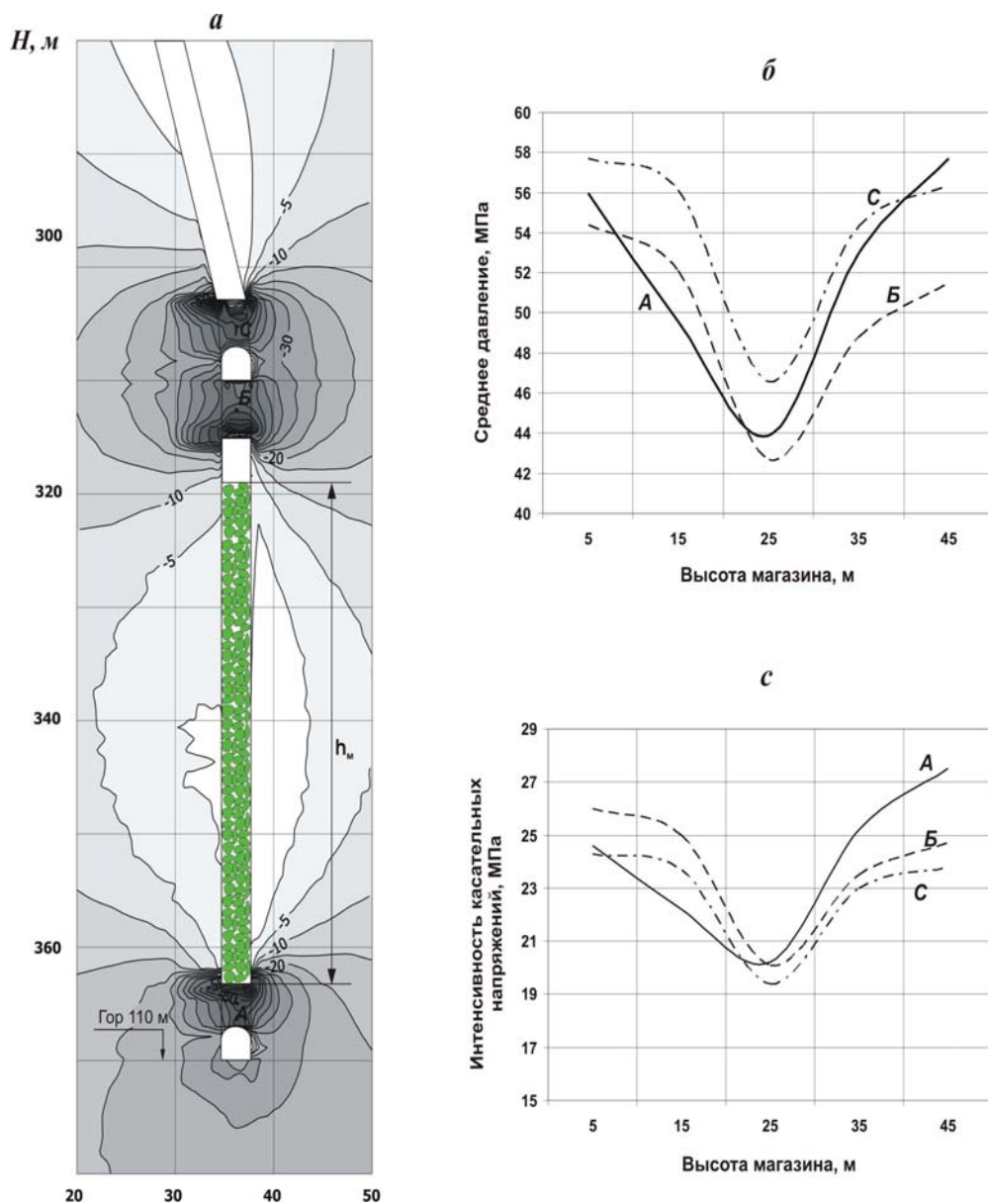


Рис. 4. Распределение напряжений в элементах системы разработки с магазинированием руды месторождения «Забывтое»: а – картина распределения σ_{cp} вокруг выработанного пространства; б и с – изменение напряжений σ_{cp} и $\tau_{инт}$ в над- и подштрековых целиках при различной высоте магазина h_m .

участке месторождения, где на жилу Новую влияют сближенные рудные тела (жилы Ануш и Светлая). Так, от-

работка одного из них, играющего роль защитного рудного тела [7], приводит к разгрузке массива близ лежа-

шей области, что создает лучшие условия поддержания и охраны горных выработок.

Более сложная геомеханическая ситуация прогнозируется при отработке нижней (глубинной) части месторождения. При отработке нижних горизонтов месторождения наблюдается значительное в 2,5 и более раз увеличение первоначальных напряжений в образующихся над- и подштрековых целиках размером 4-5 м. Наибольшая концентрация напряжений (величина среднего давления $\sigma_{ср}$ достигает 95 МПа, а интенсивность касательных $\tau_{инт}$ – 70 МПа) отмечается в надштрековом целике на горизонте 170 м (глубина от поверхности 300 м) при полной отработке вышележащих запасов и погашении целиков (рис. 3). Полученные результаты показывают, что на глубоких горизонтах при определенных условиях отдельные элементы системы разработки будут находиться в предельно напряженном состоянии и являться потенциально удароопасными.

В процессе исследований также установлено, что на характер распределения напряжений в разрабатываемом массиве существенное влияние оказывает замагазинированная руда. На рис. 4, а показана картина распределения напряжений вокруг обрабатываемого очистного блока, заполненного замагазинированной рудой (высота магазина h_m максимальная). С началом выпуска руды в над- и подштрековых целиках (точки А, Б и С в массиве) вначале происходит снижение нормальных и касательных напряжений, минимум которых наблюдается при высоте магазина 25 м. Продолжение выпуска руды и уменьшение высоты магазина сопровождается ростом на-

пряжений в 1,2-1,3 раза, достигающих максимума при полной отработке очистного блока (рис. 4, б и с).

Результаты выполненных исследований дают основания для следующих выводов:

1. Относительно низкий уровень действующего в верхней части месторождения гравитационного поля напряжений, повышающийся в отдельных участках массива при ведении горных работ, не может привести к разрушению элементов системы разработки и горных конструкций в динамической форме, так как значительно ниже предела прочности слагающих их пород и руд. Результаты исследований согласуются с данными, полученными при детальной разведке месторождения: породы при проходке горных выработок устойчивы; признаков их деформации не наблюдалось; дискования керна скважин – не зафиксировано. Считается возможным применение для отработки верхней (нагорной) части месторождения «Забывтое» выше горизонта 290 м системы разработки с магазинированием руды без специальных противоударных мероприятий.

2. Вместе с тем, учитывая потенциальную удароопасность руд и некоторых разновидностей пород залежи и неизбежное образование в процессе отработки месторождения различного вида целиков, являющихся концентраторами высоких напряжений, прогнозируется усложнение геомеханической ситуации с переходом горных работ на нижележащие (ниже штольневых) горизонты в результате резкого роста исходных напряжений под действием тектонических сил. Полученные результаты исследований дают основания для отнесения шахтных горизонтов месторождения «Забывтое»

ниже глубины 200 м к категории склонных к горным ударам.

3. Отработка нижней части месторождения потребует перехода на систему разработки подэтажными

штреками с отработкой подэтажей сверху вниз, а при установлении категории «Опасно» применения специальных профилактических мероприятий [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рассказов И.Ю.* Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. – М.: Издательство «Горная книга», 2008.– 329 с.

2. *Фадеев А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 224 с.

3. *Расчетные методы* в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие / И.М. Петухов, А.М. Линьков, В.С. Сидоров и др.– М.: Недра, 1992.

4. *Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А.* Техногенные геомеханические поля напряжений. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.

5. *Рассказов И.Ю.* Численное моделирование современного поля тектонических напряжений в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов // Тихоокеанская геология. 2006. – № 5. – Том 25. – С. 104-114.

6. *Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В.* Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.

7. *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).

Коротко об авторах

Рассказов И.Ю. – доктор технических наук, директор,

Курсакин Г.А. – доктор технических наук, главный научный сотрудник,

Рассказова М.И. – младший научный сотрудник,

Саксин Б.Г. – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник,

Мирошников В.И. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

Потапчук Г.М. – научный сотрудник,

Институт горного дела ДВО РАН, marinka201982@rambler.ru,

