

ПРОГНОЗ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ЗУН-ХОЛБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.М. Павлов

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Россия, Иркутск, e-mail: go_gor@estu.edu

Аннотация: Зун-Холбинское крутопадающее золоторудное месторождение разрабатывается подземным способом в сложных условиях геологической среды. С целью эффективного управления горным давлением при проведении горных выработок и очистных работ было проведено исследование геомеханического состояния массива горных пород на глубоких горизонтах месторождения. Представлены результаты анализа геологического строения золоторудного месторождения с тектоникой горного массива. Определена степень устойчивости пород от «средней» до «неустойчивой». Изучены физико-механические свойства пород горного массива и их склонность к динамическому проявлению горного давления. Определены предельно допустимые напряжения для руд и пород. На основе проведенных измерений на станциях щелевой разгрузки исследованы природные напряжения в массиве горных пород месторождения. Проведенные расчеты показали, что в массиве горных пород действуют значительные гравитационно-тектонические напряжения. С помощью математического моделирования методом конечных элементов исследованы техногенные напряжения в массиве вокруг подготовительных и очистных выработок. Установлены основные закономерности распределения техногенных напряжений в кровле, углах кровли и стенках штреков в зависимости от глубины горных работ (800—1000 м) и расстояния между очистной камерой и штреком. Установлена зона опорного давления в районе ведения очистной выемки. Анализ моделирования показал, что в оставляемых целиках также напряжения превышают допустимые, что приводит к их разрушению. Дан прогноз геомеханического состояния массива горных пород на глубоких горизонтах при разработке месторождения.

Ключевые слова: крутопадающее месторождение, массив горных пород, природные напряжения, техногенные напряжения, физико-механические свойства горных пород, опорное давление.

Для цитирования: Павлов А. М. Прогноз геомеханического состояния массива горных пород глубоких горизонтов Зун-Холбинского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 5. – С. 105–114. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-105-114.

Prediction of geomechanical behavior of deep-level rock mass in the Zun-Kholba deposit

A.M. Pavlov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, e-mail: go_gor@estu.edu

Abstract: Zun-Kholba is a steeply dipping gold ore body developed by the underground method in difficult ground conditions. For the efficient ground control during heading and stoping, the geomechanical behavior of deep-level rock mass was studied. The analysis of the geological structure of the gold ore body and the rock mass tectonics is presented. The rock mass stability is determined as moderate to unstable. The physical and mechanical properties of rocks, as well as their proneness to dynamic events of rock pressure are investigated. The maximum tolerable stresses are determined for ore and rocks. Natural stresses in rock mass are analyzed based on the measurements using the method of borehole slotter. The calculations show that rock mass experiences high gravitational tectonic stresses. Using the finite element-based mathematical modeling, the induced stresses in rock mass around development drifts and stopes are studied. The main patterns of the induced stresses in roof, corners and walls of the drifts are determined versus the mining depth (800–100 m) and the stope–drift spacing. The abutment pressure zone is found in the stoping area. The modeling also shows that stresses in pillars exceed the tolerable values, which results in the pillar failure. Prediction of the geomechanical behavior of deep-level rock mass in the course of mining is performed.

Key words: steeply dipping ore body, rock mass, natural stresses, induced stresses, physical and mechanical properties of rocks, abutment pressure.

For citation: Pavlov A. M. Prediction of geomechanical behavior of deep-level rock mass in the Zun-Kholba deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(5):105-114. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-105-114.

Введение

Зун-Холбинское золоторудное месторождение находится в удаленном районе на территории Окинского района Бурятии, юго-восточной части горной системы Восточных Саян. Месторождение расположено в метаморфических породах зоны Перспективной — одном из Зун-Холбинских разломов Гарганской глыбы. Зона Перспективная имеет протяженность около 7 км и состоит из сближенных зон расланцевания сдвигового характера мощностью до 25 м, не имеющих четких границ. Разрывные нарушения на месторождении представлены рудоконтролирующими крутопадающими зонами расланцевания и милонизации и осложняющими их пострудными взбросами и надвигами. Пологими разрывными нарушениями пронизано все рудное поле зоны Перспективной (рис. 1).

Месторождение представлено крутопадающими маломощными и сред-

ней мощности золоторудными телами. Выделяются два типа рудных тел: минерализованные зоны и жилообразные тела. Четких границ между морфологическими типами нет. Разработка месторождения ведется системами с магазинированием руды и креплением срубовой крепью, слоевой системой с твердеющей закладкой, а также в отдельных участках с подэтажной отбойкой руды. Горные работы проводятся по всей площади месторождения как на флангах штольневых горизонтов, находящихся в зонах многолетней мерзлоты, так и на шахтных. Балансовые запасы центральной части месторождения практически отработаны. Глубина горных работ достигла 900 м от поверхности, что сопровождалось изменением действия природных и техногенных напряжений.

Ранее, выше отметки горизонта 1390 м, нами были выполнены работы по исследованию геомеханического

состояния массива горных пород Зун-Холбинского месторождения, в результате которых было выявлено, что породы и руды в основном крепкие, хрупкие, массив средней трещиноватости, средней устойчивости и неустойчив. Природные напряжения носят гравитационно-тектонический характер, и максимальные напряжения направлены вдоль рудного тела до отметки подошвы горного рельефа 1740 м, а затем меняют направление. Поскольку месторождение разрабатывается в сложных условиях геологической среды, то ставятся задачи по осуществлению постоянного геомеханического мониторинга состояния массива горных пород, особенно на глубоких горизонтах, с целью эффективного управления горным давлением при ведении горных работ. Для их решения сотрудниками Иркутского нацио-

нального исследовательского технического университета (ИРНТУ) были выполнены дополнительные исследования геомеханического состояния массива горных пород в части глубоких горизонтов 1390–1290 м Зун-Холбинского месторождения.

В ходе выполнения работ были отобраны образцы пород и определены их физико-механические свойства, изучена тектоника и трещиноватость массива, устойчивость, измерены природные напряжения, а также произведено математическое моделирование техногенных напряжений вокруг выработок, что позволило дать прогноз геомеханического состояния массива горных пород для обоснования параметров геотехнологии разработки месторождения на глубоких горизонтах, отвечающей нормативным требованиям.

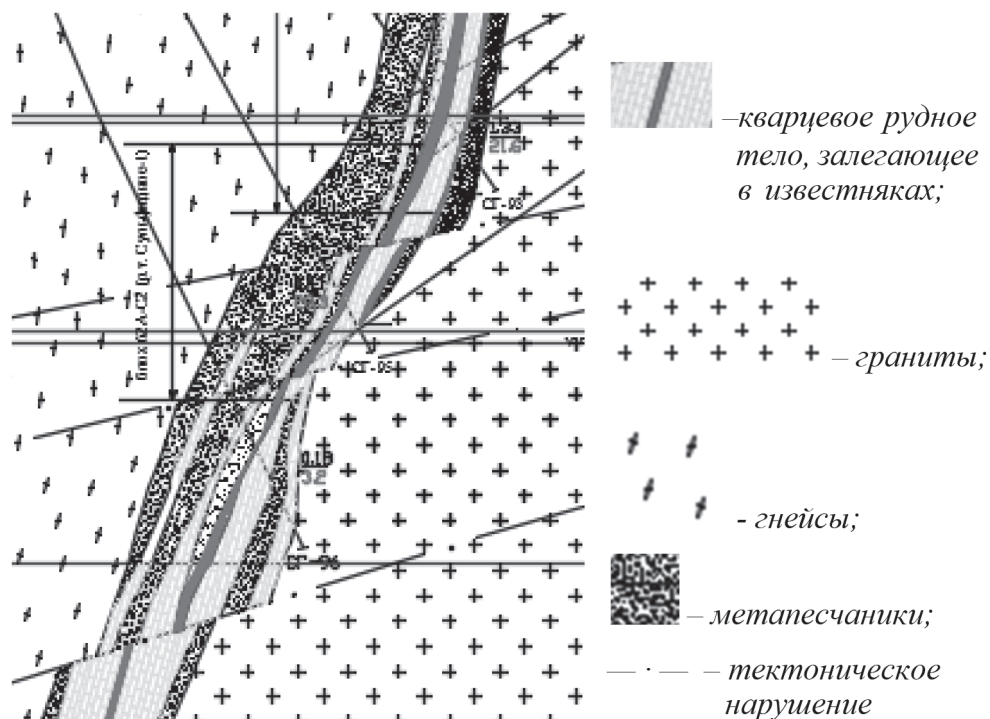


Рис. 1. Геологический разрез рудного тела
Fig. 1. Geological section of the ore body

Методы

Определение показателей физико-механических свойств горных пород нижних горизонтов Зун-Холбинского месторождения производилось в лаборатории геомеханики и физики горных пород ИРНТУ в соответствии с требованиями стандартов Российской Федерации на методы испытаний горных пород. Определены следующие физико-механические свойства образцов горных пород: плотность, пределы прочности при одноосном сжатии и растяжении, сцепление, угол внутреннего трения пород, коэффициент крепости по М.М. Протождьяконову. Определены статические показатели: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль деформации, коэффициент поперечной деформации. Основные свойства горных пород определялись при сухом и водонасыщенном состоянии образцов пород. Определены коэффициенты хрупкости и размягчаемости. Установлена степень склонности пород к хрупкому разрушению [1].

При районировании массива горных пород месторождения по устойчивости использовалась методика, разработанная ИРНТУ и ООО «Уралпромпроект» на основе принципов системы З. Бенявски и пространственно-статистического анализа тектонических структур по методике проф. В.А. Филонюка, доц. Е.Л. Сосновской [2].

Измерение напряжений горных пород производилось методом щелевой разгрузки по методике института горного дела УрО РАН [3–6]. Методика позволяет выявить значения гравитационных и тектонических природных напряжений в массиве горных пород месторождения и согласуется с другими методиками [7].

Напряженное состояние приконтурного массива горных пород проходческих и очистных выработок прогнози-

ровалось с помощью математического моделирования, основанного на методе конечных элементов [8] с помощью программного комплекса FEM, разработанного О.В. Зотеевым (ИГД УрО РАН) [9]. В результате программирования определяются зависимости изменения основных геомеханических показателей подрабатываемого массива и целиков, горных выработок [10, 11].

Обсуждение результатов исследований

В результате проведенных исследований физико-механических свойств горных пород установлено, что горные породы обладают средней плотностью $2,75 \text{ т/м}^3$, относятся к категории средней крепости. Коэффициент крепости по М.М. Протождьяконову изменяется в диапазоне 6–10. Предел прочности пород на одноосное сжатие равен $69,63 \text{ МПа}$ в сухом состоянии и $53,25 \text{ МПа}$ во влажном состоянии. Пределы прочности на растяжение составляют $11,3$ и $11,5 \text{ МПа}$ соответственно. Угол внутреннего трения пород в сухом состоянии составляет в среднем 28° , во влажном состоянии 24° . Сцепление пород в сухом состоянии $-20,3 \text{ МПа}$, во влажном состоянии $-16,6 \text{ МПа}$.

Исследуемые породы характеризуются высокими упругими характеристиками. Статический модуль Юнга пород составляет $50,11 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $0,18$, статический модуль деформации $-56,53 \text{ ГПа}$, коэффициент поперечной деформации $0,15$. Оценка потенциальной удароопасности пород показала, что склонными к хрупкому разрушению под нагрузкой по критерию запредельного деформирования являются диориты и гранодиориты, несклонными — известняки и метапесчаники [12, 13].

Для оценки устойчивости горных пород на нижних горизонтах Холбинского

рудника был проведен специальный анализ фотографий керна из скважин буровых камер, расположенных в районе заложения станций щелевой разгрузки. Всего проанализирован керн 8 скважин, пройденных на глубоких горизонтах рудника, общей длиной 2452 м. Среднестатистическое значение интенсивности трещиноватости по результатам анализа 8 разведочных скважин, пробуренных с нижних горизонтов рудника, равно $12,2 \pm 1,6$ трещин на 1 погонный метр (тр/м). Среднее расстояние между трещинами (средний размер структурного блока) равно 7–8 см. В 43% объема горного массива интенсивность трещиноватости составляет ниже средней, в 57% — выше средней. Это свидетельствует о том, что, в основном, горный массив месторождения можно классифицировать как среднеустойчивый и неустойчивый.

Пространственно-статистический анализ тектонических структур по фотографиям керна разведочных скважин выявил наличие пяти иерархических уровней (табл. 1). Коэффициент масштабного подобия (скейлинговый коэффициент) иерархических тектонических структур здесь составляет 1,4–1,9. Такое распределение скейлингового коэффициента является признаком среднего уровня тектонических напряжений.

При анализе степени дискования отмечены отдельные участки дискообразования с ограниченной протяженностью, не превышающей 0,2–0,25 м, характеризующие наличие контактов крепких и слабых пород. Дискования толщиной 1–5 мм в количестве более 5–10 дисков на этих участках не отмечается. Отношение $t_{\text{сп}}/d_{\text{дис}}$ в зоне максимума опорного давления составляет в среднем 1 и более.

Таблица 1

Статистическая характеристика параметров структурной организации поля тектонической нарушенности глубоких горизонтов рудника
Statistical characteristics of the structural organization of the tectonic disturbance field of the mine deep horizons

Порядковый номер масштабного уровня	Количество единичных определений ячеек уровня, ед.	Среднее значение размера ячейки уровня, м	Масштабный коэффициент между уровнями
1	2	355,0	1,6
2	2	228,0	1,9
3	3	$121,7 \pm 21,1$	1,4
4	6	$90,0 \pm 6,1$	1,6
5	19	$56,1 \pm 3,2$	1,8
6	7	$30,7 \pm 3,0$	1,8
7	7	$17,1 \pm 2,3$	

На исследуемых горизонтах рудника очевидно, что массив более трещиноват и, следовательно, более разгружен. Учитывая высокую интенсивность трещиноватости горных пород и невысокие значения масштабного коэффициента, массив в целом можно охарактеризовать как «средней устойчивости» и «неустойчивый». На основании вышеизложенного сделан вывод о том, что горные выработки на этих горизонтах имеют категорию «неопасно» по горным ударам.

Для определения природных напряжений было заложено четыре станции щелевой разгрузки. Первые три станции на гор. 1290 м, четвертая на спиральном съезде выше первой на 80 м. Первая и третья расположены флангах месторождения, вторая в середине (все на глубине 940 м).

На участках измерений действуют гравитационно-тектонические напряжения. Измерения напряжений на станциях 1, 2, 4 подтверждают, что максимальные

напряжения действуют вкрест простирания рудных структур и в 1,8 раза превышают вертикальные. Вертикальные напряжения характеризуются действиями в основном веса налегающих пород. Можно предположить, что тектоническая составляющая природных напряжений на участке измерений станции № 3 отсутствует в результате разгрузки массива горных пород близлежащими очистными выработками и вывалами горных пород, сопутствующими вертикальному разлому. Для глубоких горизонтов Холбинского рудника средние прогнозные первоначальные напряжения по результатам измерений аппроксимируются формулами:

$$\sigma_v = -\gamma H; \sigma_{np} = -1,0\gamma H; \sigma_n = -1,8\gamma H,$$

где γ — объемный вес пород МН/м³; H — глубина измерения, м; σ_v — вертикальные напряжения, МПа; σ_{np} — продольные напряжения МПа; σ_n — поперечные напряжения МПа.

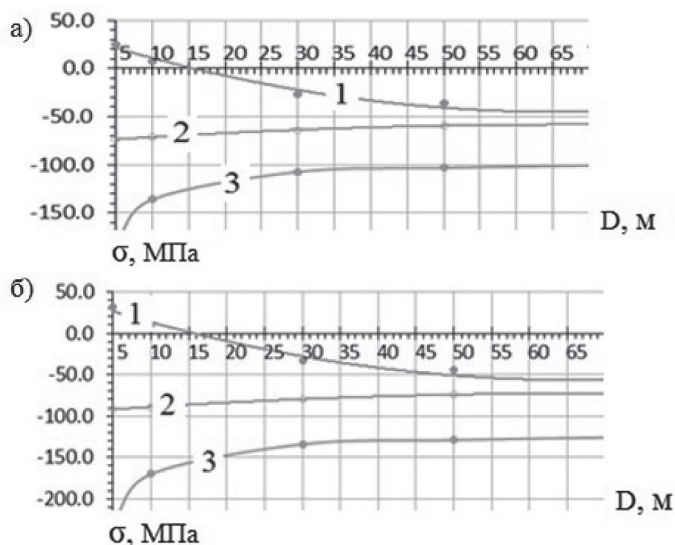


Рис. 2. Полные напряжения на контуре полевых штреков. 1, 2, 3 — соответственно стенки, кровля, углы кровли штрека; D — расстояние между штреком и очистной камерой при глубинах 800 м (а); 1000 м (б)

Fig. 2. Total stresses on the fringedrift outline. 1, 2, 3 — respectively the sides, the roof, the roof angles of the drift; D — distance between the drift and the stope at depths a — 800 m, b — 1000 m

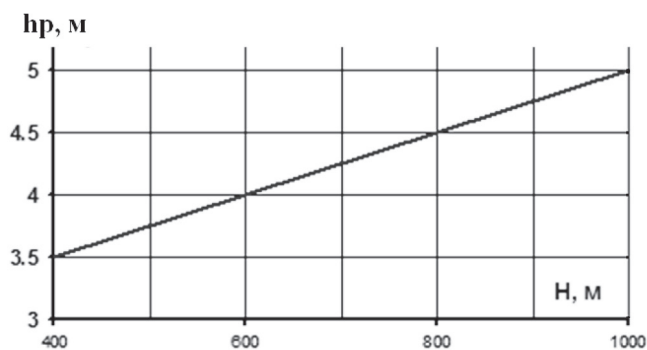


Рис. 3. График зависимости глубины разрушающегося слоя h_p от глубины разработки H
 Fig. 3. Dependence of the collapsing layer depth h_p on the development depth H

Такой разброс результатов измерений свидетельствует о значительном влиянии тектонических напряжений на первоначальное напряженное состояние массива горных пород.

Посредством математического моделирования установлены основные закономерности распределения техногенных напряжений в кровле, углах кровли и стенках штреков в зависимости от глубины горных работ (800–1000 м) и расстояния между очистной камерой и откаточным штреком (рис. 2).

Анализ результатов моделирования техногенных напряжений позволяет отметить, что напряжения в кровле носят сжимающий характер. Напряжения с увеличением расстояния D изменяются: на глубинах 800 м они составляют минус (70–60) МПа, на глубине 1000 м минус (90–70) МПа. Кровля, очевидно, неустойчива, напряжения выше допустимых, равных –29 МПа.

В стенках полевых штреков при расстояниях до 15 м между камерой и штреком выявлены растягивающие напряжения, превышающие допустимые, равные для средних условий отработки глубоких горизонтов, 4,6 МПа. Возможны процессы разрушения выработок. При расстояниях D , превышающих 15 м, стенки устойчивы. Снизить уровень растягивающих напряжений в

стенках можно увеличением расстояния D более 15 м.

Самыми неустойчивыми участками полевых штреков являются углы кровли. В них действуют сжимающие напряжения более –100 МПа, что значительно превышает допустимые.

Исходя из вышеизложенного можно выделить зону опорного давления равной 15 м от очистной выработки, где прогнозируется неустойчивое состояние приконтурного массива горных пород в подготовительных выработках.

Напряжения в кровле (потолочине) камер при выемке одного этажа носят сжимающий характер. Величины их значительно превышают допустимые на сжатие, равные –29 МПа.

Напряжения на контуре стенок камер носят растягивающий характер. Значения их превышают допустимые на растяжения, равные 4,6 МПа. В процессе моделирования установлено наличие висячем и лежащем боках камер слоя пород, которые претерпевают растягивающие напряжения. Ширина разрушающейся зоны на исследуемых глубинах 800–1000 м составляет до 5 м (рис. 3).

Максимальный уровень растягивающих напряжений изменяется от +18 МПа (на глубине 800 м) до +21 МПа (на глубине 1000 м). Такие напряжения значи-

тельно превышают допустимые на растяжение, равные 4,6 МПа. Результаты расчета техногенных напряжений в потолочине при отработке камер значительно превышают допустимые на сжатие, даже с учетом коэффициента формы целиков. Так, например, при ширине потолочины в 25 м в оставляемом межэтажном целике возникают сжимающие напряжения 55 МПа, а в 9 м 176 МПа.

Выводы

Анализ геологического строения месторождения, тектоники, определение физико-механических свойств пород и природных напряжений массива, а также моделирование техногенных напряжений позволили сделать выводы по прогнозу геомеханического состояния массива горных пород глубоких горизонтов Зун-Холбинского месторождения.

1. Вмещающие породы прошли глубокую стадию метаморфизма и нарушены системой разрывных нарушений третьего, четвертого порядка, не связанных с тектоникой первого и второго порядка. На глубоких горизонтах рудника (отметка 1290–1390 м) массив более трещиноват и, следовательно, более нагружен. Учитывая высокую интенсивность трещиноватости горных пород и невысокие значения масштабного коэффициента, породный массив в целом можно охарактеризовать как «средней устойчивости» и «неустойчивый». Примерно в половине объема проходки подземных горных выработок в тектонически ослабленных зонах и обводненных породах необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению их устойчивости.

2. В результате проведенных исследований физико-механических свойств горных пород установлено, что породы характеризуются высокими упругими и прочностными свойствами, склонностью к хрупкому разрушению. Извест-

но, что в зонах полной природной водонасыщенности геологической среды все слагающие ее породы увеличивают свою склонность к пластическим формам деформаций и опасности в отношении проявления динамического давления не представляют.

3. На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что в массиве горных пород исследуемых горизонтов действуют значительные гравитационно-тектонические напряжения. Главными напряжениями являются поперечные горизонтальные, которые превышают вертикальные в 1,8 раза.

4. Полные напряжения вблизи контура основных типов выработок по характеру являются сжимающими. В выработках, расположенных вкрест простирания рудного тела, техногенные напряжения меньше, чем напряжения в выработках, расположенных по простиранию рудного тела, так как на них действуют первоначальные горизонтальные напряжения меньшей величины. Вмещающие породы горных выработок на больших глубинах будут неустойчивы, так как напряжения превышают допустимые (равные –29 МПа). Начиная с расстояния 10–15 м будет формироваться зона повышенного давления и в породах, склонных к хрупкому разрушению, слагающих целиковую зону, будет происходить процесс интенсивного заколообразования. Необходимо знать, что при очистной выемке зона отслоения пород доходит до 5 м, поэтому важно своевременно устанавливать крепление.

5. На глубоких горизонтах Зун-Холбинского месторождения присутствует сложная геомеханическая обстановка, поэтому необходим постоянный, систематический контроль горного надзора за поведением массива горных пород и соблюдением проектных решений по разработке месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н.* Управление геомеханическими процессами на золоторудных жильных месторождениях Восточной Сибири // *Известия вузов. Горный журнал*. — 2019. — № 5. — С. 21–29. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-21-29.
2. *Павлов А. М., Филонюк В. А., Сосновская Е. Л., Сосновский Л. И.* Геометрические модели естественного напряженного состояния массива горных пород золоторудных месторождений // *Известия вузов. Горный журнал*. — 2010. — № 5. — С. 41–45.
3. *Влох Н. П.* Управление горным давлением на подземных рудниках. — М.: Недра, 1994. — 208 с.
4. *Зубков А. В.* Геомеханика и геотехнология. — Екатеринбург: УрО РАН, 2001. — 335 с.
5. *Неганов В. П.* Технология разработки золоторудных месторождений. — М.: Недра, 1995. — 336 с.
6. *Павлов А. М.* Совершенствование технологии подземной разработки жильных месторождений золота. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. — 128 с.
7. *Figueiredo B., Cornet F. H., Lamas L., Muralha J.* Determination of the stress field in a mountainous granite rock mass // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. Vol. 72, pp. 37–48. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2014.07.017.
8. *Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Fox D. D.* The finite element method for solid and structural mechanics. Oxford: Butterworth–Heinemann, 2013. 672 p.
9. *Bokiy I. B., Zoteev O. V., Pul V. V., Pul E. K.* Selection of basic data for numerical modeling of rock mass stress state at Mirny Mining and Processing Works, Alrosa Group of Companies // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 134, article 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/134/1/012008.
10. *Павлов А. М.* Обоснование параметров подземной геотехнологии жильных золоторудных месторождений на основе выявления и использования свойств фрактальности геологической среды // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2011. — № 4. — С. 106–112.
11. *Bahrani N., Hadjigeorgiou J.* Influence of stope excavation on drift convergence and support behavior: insights from 3D continuum and discontinuum models // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2018, Vol. 51. pp. 2395–2413.
12. *Paul A., Murthy V. M. S. R., Prakash A., Singh A. K.* Estimation of rock load in development workings of underground coal mines. A modified RMR approach current science, 2018. Vol. 114(10), pp. 2167–2174.
13. *Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н.* Прогноз потенциальной удароопасности круто-падающих жильных золоторудных месторождений // *Известия вузов. Горный журнал*. — 2016. — № 2. — С. 74–85. **ПВАЗ**

REFERENCES

1. Sosnovskaya E. L., Avdeev A. N. Control over the geotechnical processes at the gold-fields of Eastern Siberia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2019, no 5, pp. 21–29. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-21-29. [In Russ].
2. Pavlov A. M., Filonyuk V. A., Sosnovskaya E. L., Sosnovskiy L. I. Geometric model of the natural stress state of rocks of gold deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2010, no 5, pp. 41–45. [In Russ].
3. Vlokh N. P. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* [Rock pressure control in underground mines], Moscow, Nedra, 1994, 208 p.

4. Zubkov A. V. *Geomekhanika i geotekhnologiya* [Geomechanics and geotechnology], Ekaterinburg, UrO RAN, 2001, 335 p.

5. Neganov V. P. *Tekhnologiya razrabotki zolotorudnykh mestorozhdeniy* [Technology development of gold deposits], Moscow, Nedra, 1995, 336 p.

6. Pavlov A. M. *Sovershenstvovanie tekhnologii podzemnoy razrabotki zhil'nykh mestorozhdeniy zolota* [Improving the technology of underground mining of vein gold deposits], Irkutsk, Izd-vo IrGTU, 2013, 128 p.

7. Figueiredo B., Cornet F. H., Lamas L., Muralha J. Determination of the stress field in a mountainous granite rock mass. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. Vol. 72, pp. 37 – 48. DOI: 10.1016/j.ijrmmms.2014.07.017.

8. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Fox D. D. *The finite element method for solid and structural mechanics*. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2013. 672 p.

9. Bokiy I. B., Zoteev O. V., Pul V. V., Pul E. K. Selection of basic data for numerical modeling of rock mass stress state at Mirny Mining and Processing Works, Alrosa Group of Companies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 134, article 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/134/1/012008.

10. Pavlov A. M. Rationale for the parameters of underground geotechnology of lode gold fields based on the detection and use of geological medium fractal properties. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 4, pp. 106 – 112. [In Russ].

11. Bahrani N., Hadjigeorgiou J. Influence of slope excavation on drift convergence and support behavior: insights from 3D continuum and discontinuum models. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2018, Vol. 51. pp. 2395 – 2413.

12. Paul A., Murthy V. M. S. R., Prakash A., Singh A. K. Estimation of rock load in development workings of underground coal mines. *A modified RMR approach current science*, 2018. Vol. 114(10), pp. 2167 – 2174.

13. Sosnovskaya E. L., Avdeev A. N. Forecast of potential impact hazard of steeply falling vein gold deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2016, no 2, pp. 74 – 85. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Павлов Александр Митрофанович – д-р техн. наук, профессор,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
e-mail: go_gor@estu.edu.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

A. M. Pavlov, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Irkutsk National Research Technical University,
664074, Irkutsk, Russia, e-mail: go_gor@estu.edu.

Получена редакцией 23.01.2020; получена после рецензии 17.02.2020; принята к печати 20.04.2020.
Received by the editors 23.01.2020; received after the review 17.02.2020; accepted for printing 20.04.2020.

