УДК 622.2

**В.В. Филимонов, Е.А. Христолюбов, А.А. Еременко,
Л.Н. Гахова, В.Н. Колтышев**

# ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ СПОСОБОВ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ ТЕЛ СИСТЕМАМИ БЕЗ И С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА НА ТАШТАГОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Проведен анализ геомеханической обстановки при отработке рудных тел Восточного и Северо-Западного участков Таштагольского месторождения. Выявлено, что в результате сложного блочного строения и наличия тектонических разломов, а также неравномерного поля напряжений повысилась сейсмическая активность в данном районе. Дана оценка параметров напряженно-деформированного состояния массива по результатам математического моделирования с использованием метода граничных сингулярных интегральных уравнений. Произведен выбор и обоснование технологических решений по модернизации способов отработки рудных тел. Рассмотрены варианты отработки с закладкой в этажах (–280; –210 м). Для повышения эффективности отработки рудных тел Северо-Западного участка месторождения предложено дальнейшую выемку участка ниже гор. –280 м под закладкой осуществлять этажно-камерной системой разработки со смещенным расположением камер и целиков (без закладки), а ниже (гор. –311÷÷–350 м) — подэтажным обрушением. На Восточном участке, в целике, под рекой Кондома работы вести с закладкой.

Ключевые слова: блочное строение, сейсмическая активность, моделирование, модернизация, закладка, целик.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-57-65

Рудные тела Восточного участка Таштагольского месторождения образуют зону северо-западного простирания, длина которой равна 750 м. Горизонтальная мощность рудных тел изменяется от 15 до 60 м и более. Отмечается тенденция к слиянию рудных тел, и глубина их распространения превышает 1700 м. Угол падения изменяется от 70 до 90°. Северо-Западный участок склоняется на северо-запад, образуя слепую часть. Горизонтальная мощность залежи достигает 110 м, угол падения 70—90° [1, 2]. Горные работы проводились на горизонтах (±0÷–350) м. Осуществлен ряд массовых и технологических взрывов по формированию камер, разворотов, подсечек блоков и др., которые часто вызывали толчки максимального энергетического класса от 6,2 до 7,5.

Часть очистных блоков № 04, 6—7, 11 и др. [3, 4].

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 57–65.
© В.В. Филимонов, Е.А. Христолюбов, А.А. Еременко, Л.Н. Гахова, В.Н. Колтышев. 2018.

При понижении горных работ возросло количество проявлений горного давления, особенно в виде толчков. Значительное количество геодинамических проявлений приурочено к очистным и подготовительным выработкам, расположенным как в рудных телах, так и во вмещающих породах. На основании анализа геомеханической обстановки следует отметить, что в результате сложного блочного строения и наличия тектонических разломов, а также неравномерного поля напряжений повысилась сейсмическая активность, а также возросло количество геодинамических проявлений в шахте.

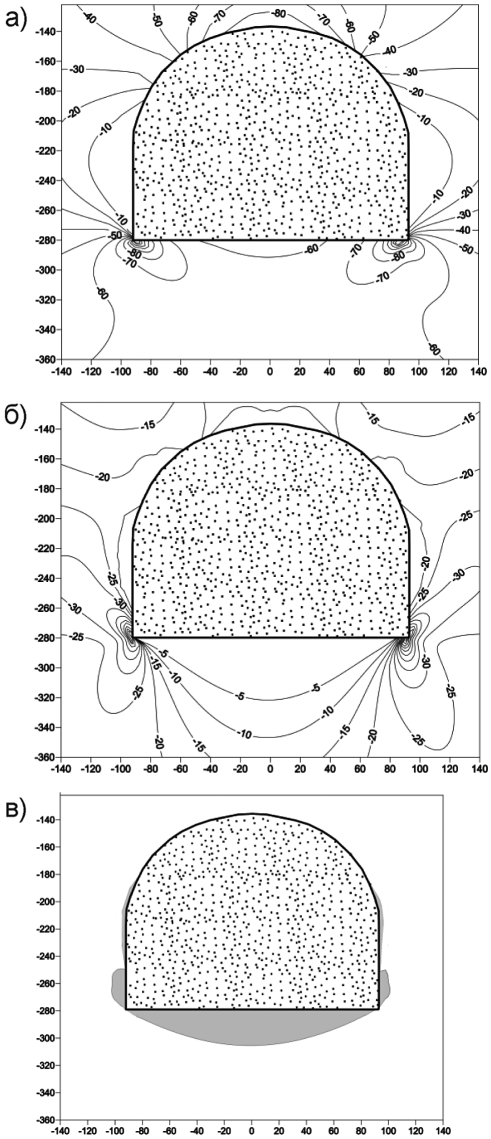


*Рис. 1. Напряжения (МПа) в горизонтальном (а), вертикальном (б) направлениях и зоны неупругих деформаций (в) в массиве после отработки и закладки блока*

Выбор и обоснование технологических решений по модернизации способов отработки рудных тел на глубоких горизонтах производится на основе принципов ведения очистных работ, оценки (НДС) массива горных пород при применении различных способов выемки рудных тел и др.

Для повышения эффективности отработки рудных тел на месторождении следует дальнейшую выемку Северо-Западного участка ниже гор. –280 м под закладкой осуществлять этажно-камерной системой разработки со смещенным относительно друг друга расположением камер и целиков (без закладки), а ниже (гор. –311÷–350 м) — подэтажным обрушением.

На Восточном участке в целике под р. Кондома в этажах (–140÷–350 м) вести отработку системой разработки с твердеющей закладкой с опережением в этаже (–140÷–210 м).

Рассмотрены варианты отработки под закладкой в этажах (–280÷–210 м) системой этажно-камерной и подэтажного обрушения. Оценка параметров (НДС) массива по результатам математического моделирования выполнялась с использованием методом граничных сингулярных интегральных уравнений. Результаты расчетов представлены в виде графиков изолиний компонентов тензора напряжений: горизонтальных $\sigma_x$ и вертикальных $\sigma_y$. Напряжения $\sigma_s$, сравниваемыми со сцеплением массива, позволяющими для анализа воспользоваться критерием Кулона-Мора [5—10].

С учетом коэффициента структурного ослабления $k$ сцепление массива $C^м = C \cdot k$. Зоны массива, в которых рассчитанные напряжения $\sigma_s$ превосходят сцепление массива ($\sigma_s \geq C^м$), являются зонами возможного неупругого деформирования (возможного разрушения). В условиях вариантной информации о породах налегающего массива зоны неупругого деформирования представляются для возможных максимальных и минимальных значений сцепления массива. На рисунках зоны неупругого деформирования приводятся для $\sigma_s \geq 1$ МПа — светло-серая окраска (зоны неупругих деформаций слабых пород), и для $\sigma_s \geq 10$ МПа — темно-серая окраска (зоны неупругих деформаций крепких пород).

После отработки и закладки массив под ее дном разгружен от действия вертикальных напряжений ($\sigma_y$ не превышают 3 МПа), горизонтальные напряжения не превышают –60 МПа (рис. 1). Исключение — концентрация горизонтальных и вертикальных напряжений в угловой части массива отработанного блока. Неупругие деформации массива под отработанным блоком могут иметь место только в слабых породах (рис. 1).

Отработка камер в направлении от фланга к центру рудного массива (рис. 2) не меняет характера (НДС) в окрестности камер.

При доработке слоя камерами второй очереди весь целик между блоком и слоем неустойчив: неупругие деформации формируются по всей его площади даже в крепких породах (рис. 3).

Понижение горных работ (рис. 4) с переходом к системе подэтажного обрушения со сплошной выемкой руды и развитием работ от фланга к центру (рис. 5) приводит к формированию под дном отработанных камер значительных гори-

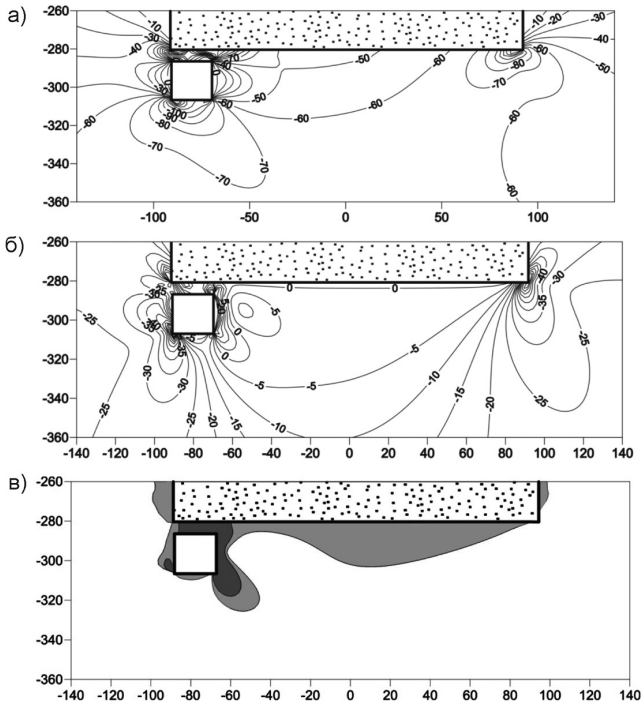


*Рис. 2. Напряжения (МПа) в горизонтальном (а), вертикальном (б) направлениях и зоны неупругих деформаций (в) в массиве после отработки одиночной камеры на фланге рудного тела в отм. –285÷–315 м*

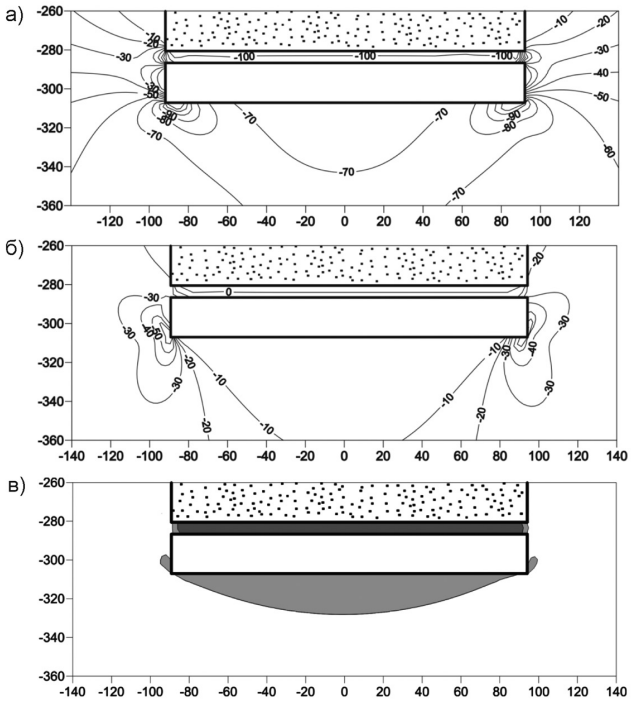


*Рис. 3. Напряжения (МПа) в горизонтальном (а), вертикальном (б) направлениях и зоны неупругих деформаций (в) после полной отработки рудного тела в отм. –285÷–315 м*

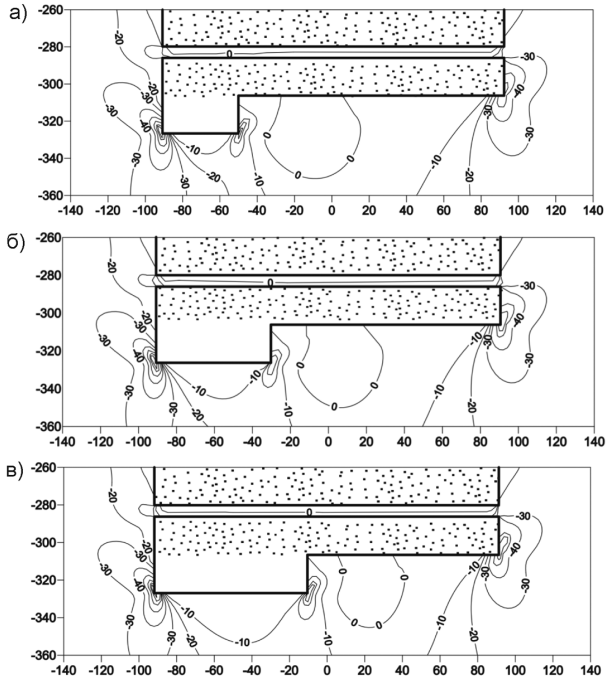


*Рис. 4. Вертикальные напряжения (МПа) в массиве при развитии горных работ в направлении от фланга к центру в отм. –305÷–325 м*

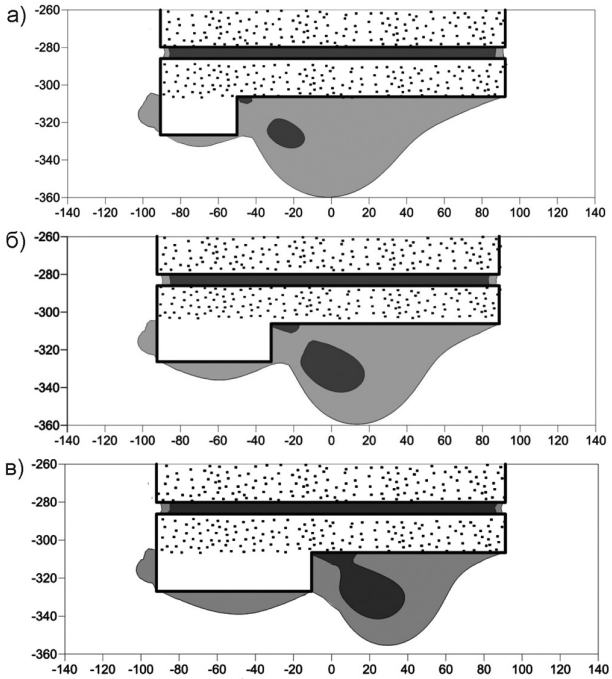


*Рис. 5. Зоны неупругих деформаций в массиве при развитии горных работ в направлении от фланга к центру в отм. –305÷–325 м*

зонтальных напряжений; впереди фронта развития очистных работ формируется область разгрузки от вертикальных напряжений (рис. 4). Формирующиеся при этом зоны неупругих деформаций для слабых пород охватывают всю область под дном блока и впереди фронта очистных работ; в крепких породах зоны неупругих деформаций формируются на некотором удалении от отрабатываемых камер (рис. 5) [10—12].

Данная система разработки применяется для отработки основной части запасов участка в подэтаже –311÷–350 м и является классическим вариантом системы подэтажного обрушения с применением самоходной техники многократно опробованным при отработке запасов зарубежных и отечественных рудников. Запасы подэтажа разбиваются на блоки, состоящие из нескольких заходок, располагающихся вкрест простирания рудного тела. Разделение блоков условное. Разбивка запасов в подэтаже –311÷–350 м на блоки представлена на рис. 6.

Очистные работы начинаются с образования отрезной щели на всю длину блока по границе рудного тела. Проведение отрезных восстающих в выемочных блоках осуществляется с помощью секционного взрывания параллельных скважин, пробуренных из выработок горизонта –280 м. Образование отрезной щели производится путем отбойки рудной массы на отрезной восстающий. Разбуривание отрезной щели осуществляется из отрезных штреков горизонта –350 м.

Параметры отрезной щели: ширина не менее 3 м; длина равна длине блока; высота равна высоте выемочного подэтажа –311÷–350 м (39 м). По мере образования отрезной щели горная масса из зоны обрушения, образованной при выемке запасов рудного тела выше горизонта –311 м перепускается на гор. –350 м и заполняет отрезную щель.

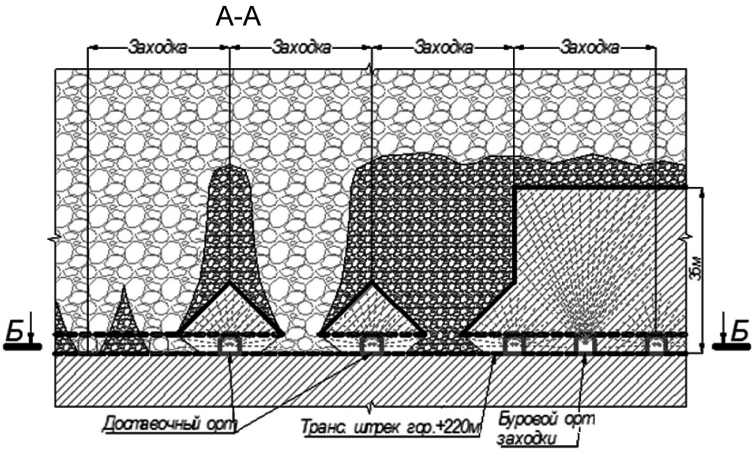


*Рис. 6. Система подэтажного обрушения с одностадийной отбойкой и площадным выпуском руды*

По мере удлинения отрезной щели в блоке в отработку подключаются запасы заходок. Основные запасы заходок в блоке отбиваются «в зажиме» на обрушенные породы, заполнившие отрезную щель (на начальном этапе), а затем на заполненное горной массой выработанное пространство. Разбуривание заходок веерами восходящих скважин осуществляется из буровых ортов, пройденных на горизонте –350 м. Руду в заходках на отрезную щель отбивают послойно по 1-му вееру. По мере отбойки руды в заходке и увеличения размеров выработанного пространства переходят к отбойке запасов секциями, состоящими из 2—4 вееров скважин.

Выпуск отбитой рудной массы в заходке осуществляется с помощью ПДМ через торцовую часть бурового орта, а также через диагональные погрузочные заезды, пройденные из доставочных ортов блока на гор. –350 м.

С целью обеспечения сохранности доставочных ортов в период отгрузки отбитой рудной массы над ними оставляются рудные целики [14, 15]. Для максимально полного выпуска отбитой руды после полной отбойки запасов в двух смежных буровых ортах в отступающем порядке в направлении центра рудного тела производится разбуривание и отбойка оставленных над доставочными ортами рудных целиков. По мере отбойки рудных целиков над доставочными ортами через торцы доставочных ортов осуществляется полный выпуск отбитой рудной массы. Доставка рудной массы производится до рудоспусков, расположенных на флангах рудного тела.

**Выводы**

Дана оценка параметров НДС массива при отработке рудного тела на Северо-Западном участке системой с закладкой выработанного пространства в этаже (–140÷–210 м); этажно-камерной без закладки в этаже (–210÷–280 м) и подэтажного обрушения в этаже (–280÷÷–350 м) без и с оставление целика под твердеющей закладкой ниже гор. –210 м, при этом отработка осуществлялась в направлении как от центра к флангам, так и от фланга к флангу. Установлено, что отработка камеры на удалении 5 м от днища блока способствует к формированию зон неупругих деформаций, охватывающих значительную его часть.

Развитие горных работ от центра рудного массива к флангам сохраняет тенденцию формирования неупругих деформаций в кровле и бортах камер. От-

работка камер в направлении от фланга к центру рудного массива не меняет характер (НДС) в окрестности камер.

Понижение горных работ с переходом к системе подэтажного обрушения со сплошной выемкой руды и развитием работ от фланга к центру приводит к формированию под днищем отработанных камер и впереди фронта развития очистных работ. Размещение камер на удалении 15 м от днища отработанного блока способствует снижению уровня напряжений и распределению зон неупругих деформаций.

Произведен выбор технологических решений по модернизации способов отработки рудных тел Северо-Западного и Восточного участков, включающих в отработку Северо-Западного участка ниже гор. –280 м под закладкой этажно-камерной системой разработки с шахматным расположением (со смещением) камер и целиков (без закладки), а ниже (гор. –311÷–350 м) — подэтажным обрушением. На Восточном участке в целике под р. Кондома в этажах (–140÷–350 м) выемку вести камерной системой разработки с твердеющей закладкой с опережением в этаже (–140÷–210 м).

Дано обоснование параметров геотехнологии в условиях перехода на нижележащие горизонты. Определено, что при отработке мощного слепого рудного тела на удароопасном месторождении повышение устойчивости закладочного материала в кровле выработанного пространства на начальной стадии выемки руды обеспечивается применением этажно-камерной системой разработки со смещением камер и целиков по вкрест простирания рудного тела с размерами в поперечном сечении 20х20 м.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Еременко А. А.* Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, 2013. — 192 с.

2. *Еременко А. А. Гайдин А. П.* Горно-геологические и геомеханические условия разработки железорудных месторождений в Алтае-Саянской складчатой области. — Новосибирск: Наука, 2009. — 224 с.

3. *Конурин А. И.*, *Еременко А. А.*, *Филиппов В. Н.* Особенности оценки состояния массива горных пород при промышленных взрывах и геодинамических явлениях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 7. — С. 153—160.

4. *Еременко В. А.*, *Есина Е. Н.*, *Семенякин Е. Н.* Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 42—47.

5. *Фрейдин А. М.*, *Неверов С. А.*, *Неверов А. А.*, *Конурин А. И.* Геомеханическая оценка геотехнологий подземной добычи руд на стадии проектных решений // Горный журнал. — 2016. — № 2. — С. 39—45.

6. *Reiter K., Heidbach O.* 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada) // Solid Earth. — 2014. — 5 (2). — pp. 1123—1149.

7. Gunzburger Y., Magnenet V. Stress inversion and basement-cover stress transmission across weak layers in the Paris basin, France // Tectonophysics. — 2014. — 617. — pp. 44—57.

8. *Potvin Y., Giles G.* The development of a new high-energy absorption mesh // Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series. — 2008. — pp. 89—94.

9. *Eremenko V. A.*, *Neguritsa D. L.* Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses // Eurasian Mining. — 2016. — no 1 (25). — pp. 21—24.

10. *Барышников В. Д.*, *Барышников Д. В.*, *Хмелинин А. П.* К вопросу инструментальной оценки действующих напряжений в железобетонной обделке подземных камер // Фундаментальные и прикладные науки сегодня. Материалы VI международной научно-практической конференции, 24—25 августа 2015 г. — North Charleston, USA, 2015. — С. 194—198.

11. *Барнов Н. Г.*, *Еременко В. А.*, *Кондратенко А. С.*, *Тимонин В. В.* Обоснование параметров геотехнологии освоения коренных месторождений корунда в сложных условиях высокогорья // Горный журнал. — 2015. — № 11. — С. 42—47.

12. *Neverov A.A.,Konurin A.I.*, *Shaposhnik Yu.N.*, *Neverov S.A.*, *Shaposhnik S.N.* Geomechanical substantiation of sublevel-chamber system of developing with consolidating stowing / 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2016: science and technologies in geology, exploration and mining, vol. II, jun. 30-jul. 06, 2016. — Albena, Bulgaria. — pp. 443—450.

13. *Карпов В.Н.* Проблемы освоения нижележащих горизонтов в рудниках России и пути их решения // Маркшейдерия и недропользование. — 2013. — № 3 (65). — С. 3—4.

14. *Ордин А.А.*, *Никольский А.М.*, *Метельков А.А.*, *Сивов М.О.* Освоение камерно-столбовой системы разработки ниже границы горных ударов в условиях шахты «Денисовская» // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2014. — Т. 1. — № 1. — С. 273—279.

15. *Шапошник Ю.Н.*, *Неверов А.А.*, *Неверов С.А.*, *Никольский А.М.* Оценка влияния накопившихся пустот на безопасность доработки Артемьевского месторождения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 3. — С. 108—118. ГИАБ

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Филимонов Владимир Владимирович* — начальник шахты Таштагольская,
АО «Евразруда», 652970, г.Таштагол Кемеровской обл.,
e-mail: Vladimir Filimonov2@evraz.com.
*Христолюбов Евгений Александрович* — начальник технического отдела
Горно-Шорского филиала, АО «Евразруда», 652971, п. Шерегеш Кемеровской области,
e-mail: Evgeny.Khristolyubov@evraz.com,
*Еременко Андрей Андреевич*[1] — доктор технических наук, профессор,
заместитель директора по научной работе, e-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
*Гахова Лидия Николаевна*[1] — старший научный сотрудник, e-mail: gahoval@mail.ru,
*Колтышев Виталий Николаевич*[1] — научный сотрудник, e-mail: Witalq@mail.ru,
[1] Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 2, pp. 57–65.

**V.V. Filimonov, E.A. Khristolyubov, A.A. Eremenko, L.N. Gakhova, V.N. Koltyshev**

# SUBSTANTIATION OF PROCESS SOLUTIONS ON MODERNIZATION OF MINING WITH AND WITHOUT BACKFILLING AT TASHTAGOL DEPOSIT

The geomechanical situation of mining in Vostochny and Severo-Zapadny ore bodies at Tashtagol deposit is analyzed. It is found that local seismic activity has increased as a consequence of the block structure of rock mass, faulting and nonuniform stress field. The stress–strain state of rock mass is assessed based on the data of mathematical modeling using the method of boundary singular integral equations.

The process solutions on mining modernization in the ore bodies are selected and substantiated. Scenarios of mining with backfilling at levels (-280; -210 m) are discussed. Towards the enhanced efficiency of Severo-Zapadny ore body mining, it is suggested to continue extraction under backfilled level -280 m by room-and-pillar method with the skewed rooms and pillars (without backfill) followed by transition to sublevel caving at deeper level -311÷-350 m. In Vostochny site, in crown pillar under the Kondoma River, extraction of the reserves should use mining system with backfill.

Key words: block structure, seismic activity, modeling, modernization, backfill, pillar.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-57-65

## AUTHORS

*Filimonov V.V.*, Head of Tashtagolsky mine, JSC «Evrazruda»,
652970, Kemerovo region, Tashtagol, Russia, e-mail: Vladimir Filimonov2@evraz.com,

*Khristolyubov E.A.*, Deputy Head of Technical Department, Gornaya Shoria Division,
JSC «Evrazruda», 652971, Kemerovo Region, Sheregesh, Russia,
e-mail: Evgeny.Khristolyubov@evraz.com,
*Eremenko A.A.*[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Deputy Director on Scientific Work, e-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
*Gakhova L.N.*[1], Senior Researcher, e-mail: gahoval@mail.ru,
*Koltyshev V.N.*[1], Researcher, e-mail: Witalq@mail.ru,
[1] Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia.

## REFERENCES

1. Eremenko A.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii burovzryvnykh rabot na zhelezorudnykh mestorozhdeniyakh Zapadnoy Sibiri* (Improvement of drilling and blasting technology at iron ore deposits in Western Siberia), Novosibirsk, Nauka, 2013, 192 p.

2. Eremenko A.A. Gaydin A.P. *Gorno-geologicheskie i geomekhanicheskie usloviya razrabotki zhelezorudnykh mestorozhdeniy v Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* (Mining-geological and geomechanical conditions for the development of iron ore deposits in the Altai-Sayan folded region), Novosibirsk, Nauka, 2009, 224 p.

3. Konurin A.I., Eremenko A.A., Filippov V.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 7, pp. 153—160.

4. Eremenko V.A., Esina E.N., Semenyakin E.N. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 8, pp. 42—47.

5. Freydin A.M., Neverov S.A., Neverov A.A., Konurin A.I. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 2, pp. 39—45.

6. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). *Solid Earth*. 2014. 5 (2). pp. 1123—1149.

7. Gunzburger Y., Magnenet V. Stress inversion and basement-cover stress transmission across weak layers in the Paris basin, France. *Tectonophysics*. 2014. 617. pp. 44—57.

8. Potvin Y., Giles G. *The development of a new high-energy absorption mesh*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series. 2008. pp. 89—94.

9. Eremenko V.A., Neguritsa D.L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses. *Eurasian Mining*. 2016. no 1 (25). pp. 21—24.

10. Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V., Khmelinin A.P. *Fundamental'nye i prikladnye nauki segodnya. Materialy VI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 24—25 avgusta 2015 g. (Fundamental and Applied Sciences today. — Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, August 24—25, 2015), North Charleston, USA, 2015, pp. 194—198.

11. Barnov N.G., Eremenko V.A., Kondratenko A.S., Timonin V.V. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 11, pp. 42—47.

12. Neverov A.A.,Konurin A.I., Shaposhnik Yu.N., Neverov S.A., Shaposhnik S.N. Geomechanical substantiation of sublevel-chamber system of developing with consolidating stowing. *16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2016: science and technologies in geology, exploration and mining*, vol. II, jun. 30-jul. 06, 2016. Albena, Bulgaria. pp. 443—450.

13. Karpov V.N. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2013, no 3 (65), pp. 3—4.

14. Ordin A.A., Nikol'skiy A.M., Metel'kov A.A., Sivov M.O. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2014, vol. 1, no 1, pp. 273—279.

15. Shaposhnik Yu.N., Neverov A.A., Neverov S.A., Nikol'skiy A.M. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2017, no 3, pp. 108—118.

## FIGURES

Fig. 1. Stresses (MPa) in horizontal (a) and vertical (b) directions and inelastic strain zones (c) in rock mass after extraction and backfilling of blocks.

Fig. 2. Stresses (MPa) in horizontal (a) and vertical (b) directions and inelastic strain zones (c) in rock mass after extraction of the reserves from a single room on the side of the ore body on level -285÷-315 m.

Fig. 3. Stresses (MPa) in horizontal (a) and vertical (b) directions and inelastic strain zones (c) in rock mass after completion of mining on level -285÷-315 m.

Fig. 4. Vertical stresses (MPa) in rock mass when mining is advanced from the side to the center of the ore body on level -305 ÷ -325 m.

Fig. 5. Inelastic strain zones in rock mass when mining is advanced from the side to the center of the ore body on level -305 ÷ -325 m.

Fig. 6. Single stage sublevel caving.