© В.А. Еременко, 2015

УДК 622.831; 622.2; 622.235

В.А. Еременко

ГИПСОВО-СКВАЖИННАЯ СТАНЦИЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНО НАРУШЕННОГО И УДАРООПАСНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД АБАКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ[*]

Для оценки напряженного и деформированного состояния массива горных пород Абаканского железорудного месторождения на гор. –200 м (Н = 785 м) установлена гипсово-скважинная станция контроля структурно нарушенного и удароопасного массива горных пород, которая позволяет определить время начала развития деформационных процессов, период разрушения выработки, провести измерения смещений контура выработки, установить местоположения зон повреждения пород (ЗПП) массива в скважинах и исследовать параметры трещиноватости, классифицировать качество породных массивов и определять их основные параметры – индексы RQD, J_n, J_r, J_a, J_w, SRF.

Ключевые слова: способ оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород, конвергенция, зоны повреждения пород ЗПП, картирование, выработка, очистное пространство.

Введение

С увеличением глубины разработки Абаканского железорудного месторождения большое влияние на состояние массива горных пород оказывают зоны высоких концентраций напряжений, пересекающие соседние с очистным пространством блоки, которые находятся в стадии подготовки (рис. 1). Эти зоны формируются в районе подсечного пространства, бурового горизонта, днища блоков и компенсационных камер, где горизонтальные напряжения превышают вертикальные за счет влияния очистной выемки в 3–5 раз [1].

При разработке месторождения традиционно применяемая система этажного принудительного обрушения с массовой отбойкой руды в последние десятилетия работает на больших глубинах не эффективно [2, 3]. Наблюдается незапланированное устойчивое снижение производственной мощности рудника. Вызван данный процесс рядом проблем возникших при ведении горных работ на больших глубинах в удароопасных условиях. Возрастает горное давление при разработке месторождения в гравитационно-тектоническом исход-

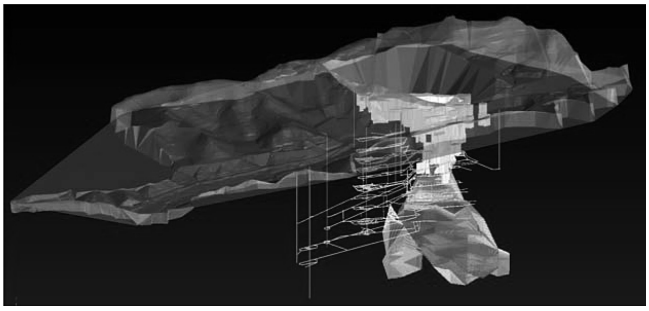


Рис. 1. Модель Абаканского месторождения

[*] Работа выполнена в рамках государственного контракта Российского научного фонда – грант № 14-37-00050.

ном поле напряжений. Во время подготовки блоков массив упруго нагружается, деформируется и смещается, происходит разрушение элементов горных конструкций, которым необходимо сохранять свою устойчивость до момента массового обрушения блока. При подготовке блоков и во время массовых взрывов происходит разрушение выработок, нарушаются технологические процессы горного производства. На устранение последствий динамических явлений затрачивается большое количество времени и средств.

Современные тенденции развития систем и технологии подземной разработки мощных рудных месторождений выражаются в широком внедрении комплексной механизации процессов добычи, устранении трудоемких ручных работ, переходе на массовую одностадийную выемку руды [4].

Применяемая на руднике система разработки не в полной мере отвечает этим прогрессивным тенденциям. Значительное количество трудно-механизируемых операций при очень сложной схеме и достаточном объеме подготовительных и нарезных выработок затрудняет возможность комплексной механизации процессов добычи. Значительное число в основном коротких, неодинакового сечения рассредоточенных по блоку выработок приводит к необходимости использования переносного оборудования, и затрат большого количества ручного труда, особенно в процессе переноски оборудования. Существующие схемы выпуска в основном через воронки и дучки не обеспечивают непрерывности процесса выпуска и высокого извлечения руды, связаны с повышенной опасностью работ и значительными затратами на ремонт и поддержание выработок и выпускных устройств.

По мере увеличения глубины разработки все труднее сохранять ослабленное воронками и дучками днище выемочных блоков от раздавливания. Днище и сопряжения выпускных выработок нарушаются также в процессе выпуска и вторичного дробления.

Указанные недостатки применяемых систем разработки могут быть устранены только путем отказа от использования существующей схемы выпуска руды через воронки, дучки и траншеи по всей площади блока (площадная схема выпуска) и применения новой конструкции днища, в частности, торцевой схемы выпуска.

В последние годы довольно широкое распространение на рудниках Российской Федерации получила система разработки с подэтажным обрушением, торцевым выпуском с применением самоходного оборудования как одна из самых высокопроизводительных систем разработки.

Разработан проект на вскрытие и освоение глубоких горизонтов Абаканского месторождения системами с подэтажным обрушением руды с торцовым выпуском руды с применением самоходной техники и в настоящее время подготавливаются рудные запасы Абаканского месторождения ниже гор. –95 м в рудных телах V и IV.

При осмотре полевых штреков, а также нарезных выработок на глубоких горизонтах Абаканского месторождения периодически наблюдаются разрушения кровли и почвы в результате действия горизонтальных напряжений, а также нетрадиционные для данного региона горизонтальные смещения бортов выработок, деформации крепи и пр., вызванные действием вертикальных напряжений. Почва и кровля при этом находятся в устойчивом состоянии. Данное явление не характерно для этого региона, где главными являются горизонтальные тектонические напряжения и характерно наличие неравномерного поля напряжений (блуждающие на-

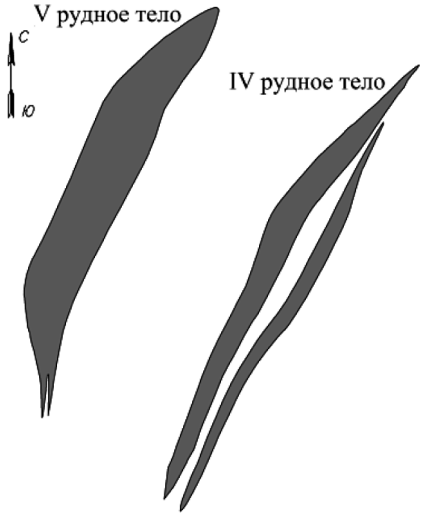


Рис. 2. Горизонтальный разрез V и IV рудного тела Абаканского месторождения, гор. –95 м

пряжения) в районе отрабатываемых и подготавливаемых блоков. Оно вызвано наличием на границах выработанных и очистных пространств зон высоких концентраций напряжений и их наложением друг на друга при отработке сближенных к доработанному Главному рудному телу – IV и V рудных тел (рис. 2). При этом выработанное пространство участков объединилось в единый выработанный массив, заполненный обрушенными породами, и бокового отпора обрушенных пород недостаточно, чтобы сдерживать смещения подготавливаемых к отработке блоков. С увеличением глубины разработки рудных тел IV и V прогнозируется осложнение геомеханической обстановки.

Установка гипсово-скважинной станции контроля напряженно-деформированного состояния структурно нарушенного и удароопасного массива горных пород

Для оценки напряженно-деформированного состояния структурно нарушенного и удароопасного массива горных пород на Абаканском железорудном месторождении заложена гипсово-скважинная станция на

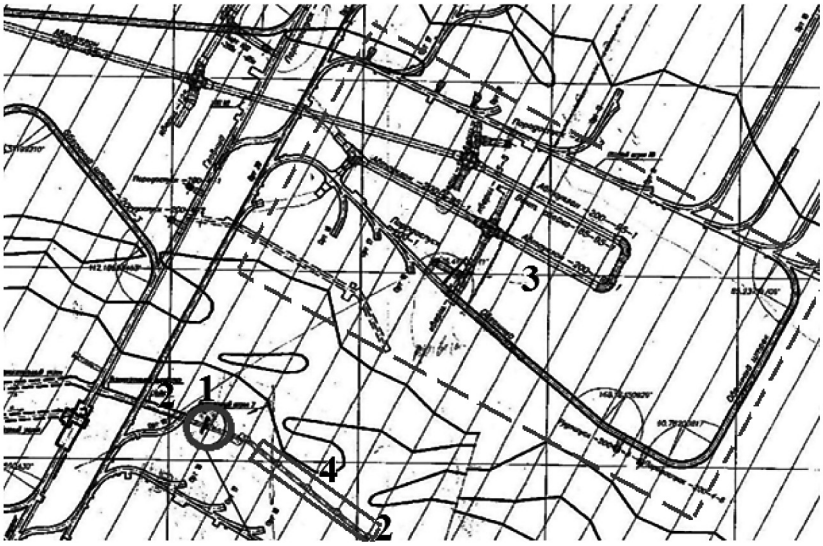


Рис. 3. Место заложения гипсово-скважинной наблюдательной станции на горизонте –200 м Абаканского месторождения: 1 – наблюдательная станция; 2 – разведочный штрек № 1; 3 (**– – –**) – подготавливаемый участок рудного тела IV; 4 – участок нарушения крепи разведочного штрека № 1

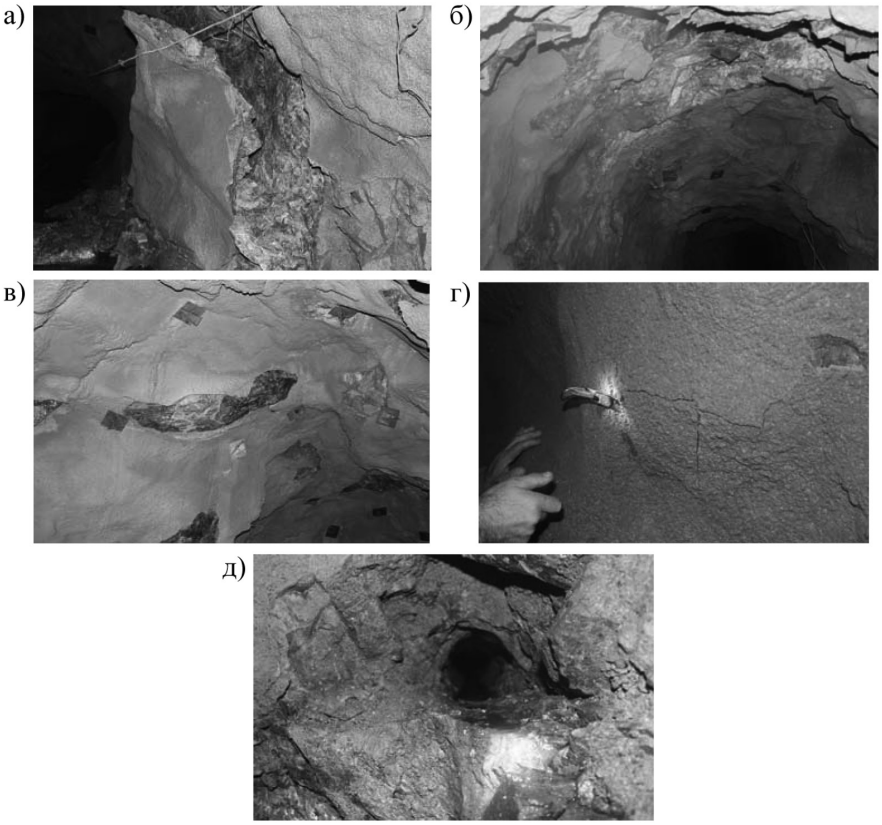


Рис. 4. Разрушение разведочного штрека № 1: вывалы породы с боков (а) и кровли (б) выработки; разрушение слоя торкретбетона (в, г); разрушение устья скважины (д)

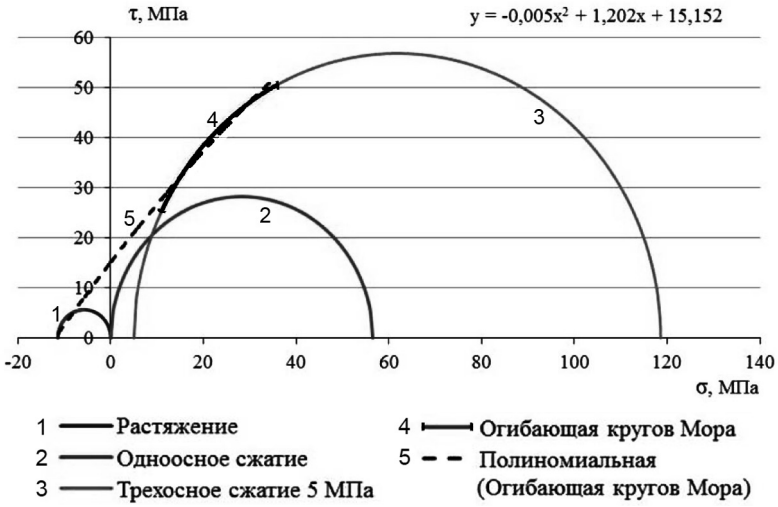


Рис. 5. Паспорт прочности для туфопесчаников

гор. –200 м (H = 785 м) в разведочном штреке № 1 вблизи подготавливаемого рудного тела № 4 (рис. 3) [5]. Часть выработки от забоя до ее серединной части в сторону устья уже подверглась действию высокого горного давления и разрушается (рис. 4). В ближайшее время в процессе развития горных работ на подготавливаемом участке рудного тела IV участок выработки в котором установлена наблюдательная станция также попадает в зону высоких концентраций горизонтальных и вертикальных напряжений в районе ведения подготовительных и очистных работ. Наблюдательная станция позволит определить время начала развития деформационных процессов, период разрушения выработки, провести измерения смещений контура выработки, установить местоположения зон повреждения пород (ЗПП) массива в скважинах и исследовать параметры трещиноватости.

Выработка пройдена в породах, представленных туфопесчаниками, прочностные характеристики которых показаны на рис. 5 [6].

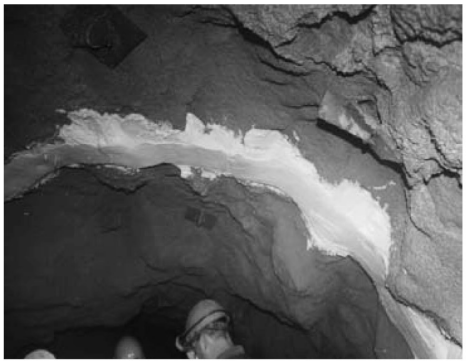
Сцепление C_0 = 15 МПа. Угол внутреннего трения φ_0 = 50°. Крепость пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова f = 7–9. Объемный вес пород γ = 2,7–2,9 т/м^3. Породы по категории относятся к сильнотрещиноватым массивам, расстояние между

Рис. 6. Разрушения обнажений пород в ортах Абаканского рудника, пройденных в туфопесчанниках на глубине 785 м

естественными трещинами 0,2–0,5 м. В туфопесчанниках при несвоевременном закреплении выработок при проходке, в дальнейшем наблюдается интенсивное деформирование тяжелых видов крепи, и вывалы данной породы в виде щебня небольших кусковых размеров (рис. 6). С точки зрения наблюдения за геомеханическими процессами, размещение станции для оценки напряженно-деформированного состояния структурно нарушенного массива горных пород в туфопесчанниках является оправданным и позволяет получить необходимые результаты.

В разведочном штреке оборудована гипсометрическая наблюдательная станция [5, 7]. По контуру сечения

а)



б)

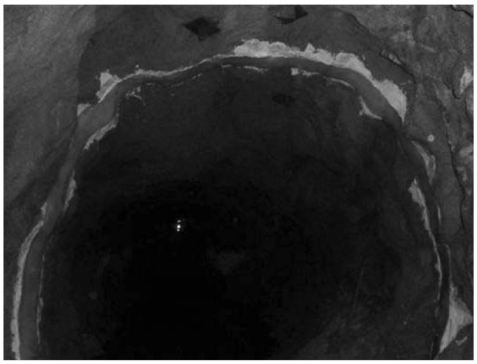


Рис. 7. Нанесение гипсового слоя

Рис. 8. Закрепление и фиксация маячков

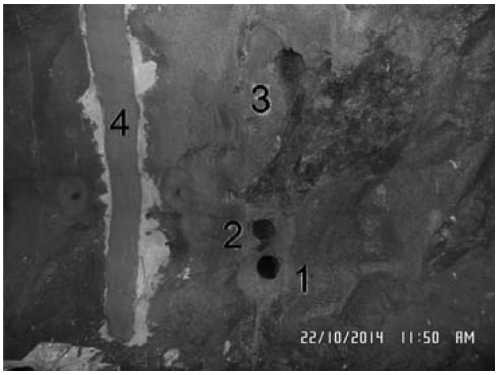


Рис. 9. Гипсово-скважинная станция на гор. –200 м (Н = 785 м) Абаканского месторождения: 1, 2 – горизонтальные скважины; 3 – наклонная скважина; 4 – гипсовый слой с размещенными маячками

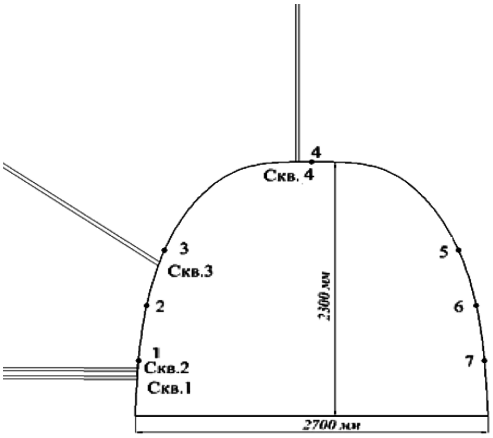


Рис. 10. Схема проведения эксперимента

Рис. 11. Картирование скважин

2,3×2,7 м выработки с помощью специального приспособления нанесен гипсовый слой шириной 40 см, толщина слоя 4–10 мм и более в зависимости от неровности контура выработки (рис. 7, *а*). Слой нанесен на борта выработки и кровлю. Затем слой покрыт красной краской для наглядности определения мест образования трещин (рис. 7, *б*). В гипсовом слое закреплены наблюдательные маячки 1÷7 по схеме, представленной на рис. 8, 9.

В радиальных направлениях на глубину более 50 м пробурены 4 наблюдательные скважины диаметром ∅ = 100 мм: горизонтальная скважина *1*, которая подсекла водоносный слой и обводнилась, горизонтальная скважина *2*, наклонная скважина *3*, вертикальная скважина *4* (рис. 9, 10). В дальнейшем предполагается использование данных скважин для эксплуатационной доразведки запасов месторождения.

Произведены первоначальные измерения расстояний между наблюдательными маячками для определения конвергенции выработки при последующих замерах (табл. 1).

Для установления зон повреждения пород (ЗПП) выполнено картирование трещиноватости скважин (рис. 11). Картирование проводились

Таблица 1

Первый цикл измерений расстояний между маячками в выработке

№ п/п	Измерительные горизонтальные линии	Расстояние, мм
1	1–7	2664
2	1–6	2662
3	1–5	2641
4	1–4	2139
5	2–4	1751
6	2–5	2484
7	2–6	2619
8	2–7	2726
9	3–4	1382
10	3–5	2300
11	3–6	2531
12	3–7	2728
13	4–5	1239
14	4–6	1689
15	4–7	2101

Таблица 2

Результаты картирования скважин

Наименование скважины	Расстояние от устья скважины до трещин, м	Примечание
Скважина 1 горизонтальная	0–0,3	Трещины техногенного характера (влияние взрыва). Скважина обводнена
Скважина 2 горизонтальная	0–0,4	Трещины техногенного характера (влияние взрыва)
Скважина 3 наклонная	0–0,45	Трещины техногенного характера (влияние взрыва)
	1,7	Одиночная трещина
	3,70	ЗПП
	3,90	
	4,20	
	7,10	ЗПП
	7,20	
	7,50	
Скважина 4 вертикальная	1,40	ЗПП
	2,00	
	2,50	

во всех скважинах, результаты представлены в табл. 2. В массиве горных пород действуют высокие горизонтальные напряжения так как зоны повреждения пород (ЗПП) не регистрируются в горизонтальных скважинах, а определяются в наклонной и вертикальной скважине.

Дальнейшие измерения в 2015–2016 гг. конвергенции гипсового слоя, деформирования скважин с помощью специального разработанного оборудования, позволит натурно отобразить скважины в пространстве и определить местоположение зон повреждения пород (ЗПП), направление действия главных напряжений и механизмы деформирования массива горных пород.

Выводы

Разработан и научно обоснован гипсово-скважинный способ оценки зон распространения и величины концентрации напряжений в условиях подземной разработки структурно нарушенных и удароопасных массивов горных пород, повышающий безопасность и эффективность ведения горных работ на больших глубинах путем оценки состояния [5]. Определение зон повреждения пород (ЗПП) дает возможность установить местоположение зон концентрации напряжений, определить характер распределения напряжений и деформаций в горном массиве, выбрать технологические параметры горных работ, например, анкерного крепления и оценить несущую способность, определить конструктивные параметры систем разработки. Результаты измерений, полученные с помощью разработанного способа, позволяют классифицировать качество породных массивов и определить их основные параметры – индексы *RQD*, J_n, J_r, J_a, J_w, *SRF*. Результаты картирования используются для калибровки численных моделей, которые в дальнейшем применяются для прогнозирования зон разрушения пород вокруг проектируемых выработок и очистных пространств [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еременко В.А., Гахова Л.Н., Лушников В.Н., Есина Е.Н., Семенякин Е.Н.* Формирование зон концентрации высоких напряжений при разработке месторождений с гравитационно-тектоническим исходным напряженным состоянием массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 9. – С. 5–16.

2. *Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И.* Разработка руд на больших глубинах. – М.: Недра, 1982. – 292 с.

3. *Еременко В.А., Лобанов Е.А., Котляров А.А., Лушников В.Н., Маловичко Д.Н.* Новая технология снижения сейсмического воздействия массовой отбойки руды при разработке удароопасных месторождений // Горный журнал – 2012. – № 9. – С. 26–30.

4. *Проектная документация* «Проект технического перевооружения вскрытия и отработки участка «Подрусловый» в этаже +115 ÷ +185 м Шерегешевского месторождения». – Екатеринбург: ОАО «Уралмеханобр», 2011. – 167 с.

5. *Заявка* о выдаче патента на изобретение № 2014148102 «Способ оценки структурно нарушенных и удароопасных массивов горных пород». 28.11.2014.

6. *Еременко В.А., Есина Е.Н. и др.* Оценка НДС массива пород при отработке IV и V рудных тел в этаже (-95) ÷ (-15) м Абаканского месторождения инструментальными методами с целью мониторинга текущей геодинамической ситуации на месторождении и выдачи рекомендаций. Отчет ИПКОН РАН, 2013–2014. – 122 с.

7. *Еременко В.А., Рыльникова М.В., Есина Е.Н., Лушников В.Н.* Обоснование способа оценки зон распространения и величины концентрации напряжений в условиях подземной разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 5–12.

8. *Лушников В.Н., Сэнди М.П., Еременко В.А., Коваленко А.А., Иванов И.А.* Методика определения зоны распространения повреждения породного массива вокруг горных выработок и камер с помощью численного моделирования // Горный журнал. – 2013. – № 12. – С. 11–16. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Еременко Виталий Андреевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: eremenko@ngs.ru, Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

UDC 622.831; 622.2; 622.235

GYPSUM–BOREHOLE OBSERVATION PLANT TO MONITOR STRESSES AND STRAINS IN DAMAGED AND ROCKBURST-HAZARDOUS ROCK MASS OF THE ABAKAN DEPOSIT

Eremenko V.A., Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, e-mail: eremenko@ngs.ru,
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

The gypsum–borehole observation plant installed for assessment of stresses and strains in rock mass enclosing Abakan iron ore body at Level –200 m (H = 785 m) aimed at the damaged and rockburst-hazardous rock mass control enables determination of time of deformation process initiation and period of underground excavation destruction, measurement of displacements at the perimeter of underground excavation, location of rock damage zones by means of boreholes, analysis of parameters of jointing, rating of rocks and finding their basic characteristics – RQD, J_n, J_r, J_a, J_w, SRF indexes.

Key words: rock mass stress–strain state estimation method, convergence, rock damage zones, mapping, excavation, stoping.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work is supported by the Russian Science Foundation, State Contract no. 14-37-00050.

REFERENCES

1. Eremenko V.A., Gakhova L.N., Lushnikov V.N., Esina E.N., Semenyakin E.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2013, no 9, pp. 5–16.
2. Bronnikov D.M., Zamesov N.F., Bogdanov G.I. *Razrabotka rud na bol'shikh glubinakh* (Deep-level ore mining), Moscow, Nedra, 1982, 292 p.
3. Eremenko V.A., Lobanov E.A., Kotlyarov A.A., Lushnikov V.N., Malovichko D.N. *Gornyi zhurnal.* 2012, no 9, pp. 26–30.
4. *Proektnaya dokumentatsiya «Proekt tekhnicheskogo perevooruzheniya vskrytiya i otrabotki uchastka «Podruslovyi» v etazhe +115 – +185 m Sheregeshevskogo mestorozhdeniya»* («Technical upgrading of accessing and mining at Level +115 – +185 m, Podruslovy site, Sheregesh mine» project documentation), Ekaterinburg, OAO «Uralmekhanobr», 2011, 167 p.
5. *Patent RU 2014148102*, 28.11.2014.
6. Eremenko V.A., Esina E.N. *Otsenka NDS massiva porod pri otrabotke IV i V rudnykh tel v etazhe (-95) – (-15) m Abakanskogo mestorozhdeniya instrumental'nymi metodami s tsel'yu monitoringa tekushchei geodinamicheskoi situatsii na mestorozhdenii i vydachi rekomendatsii. Otchet IPKON RAN, 2013–2014* (Instrument-assisted estimation of stress–strain state in mining IV and V ore bodies at Level (-95) – (-15) m of the Abakan deposit for current geodynamic situation monitoring and counselling. IPKON RAS report, 2013–2014), Moscow, IPKON RAN, 2014, 122 p.
7. Eremenko V.A., Ryl'nikova M.V., Esina E.N., Lushnikov V.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 11, pp. 5–12.
8. Lushnikov V.N., Sendi M.P., Eremenko V.A., Kovalenko A.A., Ivanov I.A. *Gornyi zhurnal*. 2013, no 12, pp. 11–16.