УДК 622.22

А.А. Еременко, Л.Н. Гахова, А.И. Конурин, В.Н. Колтышев, В.Б. Приб, Е.Е. Узун

ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ ДВУХ СБЛИЖЕННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ НА ШЕРЕГЕШЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Дана оценка геомеханического состояния массива горных пород на Шерегешевском месторождении (Горно-Шорского филиала АО «Евразруда») электрометрическим методом и математического моделирования. Определены субвертикальные и субгоризонтальные напряжения во вмещающем массиве горных пород выработанных пространств участков Подрусловый и Новый Шерегеш. Определены районы, потенциально склонные к толчкам в шахтном поле в зоне и вне зоны ведения горных работ, выполнено математическое моделирование НДС массива горных пород. Показано, что напряженное состояние массива в окрестности залежи Подрусловой характеризуется значительной разгрузкой от действия как субгоризонтальных, так и субвертикальных напряжений вдоль боковых границ по простиранию рудной залежи, в то же время, в торцах залежи — концентрация напряжений. Характер распределения напряжений вблизи залежей участков Новый Шерегеш аналогичен. Установлено влияние расположенного рядом крупного тектонического нарушения (разлома) на распределение напряжений. Определены зоны концентрации вертикальных и горизонтальных напряжений во вмещающем массиве горных пород вокруг выработанного пространства участка Подрусловый.

Ключевые слова: месторождения, руда, технологии, горные работы, напряженное состояние, динамические явления, горный удар, безопасность горных работ.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-67-75

На Шерегешевском месторождении подготовительно-нарезные работы проводились на гор. +255÷+120 м; буровые работы на 10 горизонтах: +255÷÷+115 м, при этом суммарная протяженность глубоких скважин составила более 266 км. Крепление выработок производилось торкрет-бетоном, железобетонным креплением 1181 м^3 и анкерным с сеткой (более 28 тыс. м^2). Было произведено 5 массовых и более 370 технологических взрывов на участках «Подрусловый», «Новый Шерегеш» и Юго-Западном рудном теле (рис. 1) [1—3].

Оценка НДС массива горных пород и степени удароопасности осуществлялась микросейсмическим (сейсмостанция «Шерегеш»), электрометрическим и естественного электромагнитного излучения системами и приборами РЕЛОС-Р/Ш 32, ERA-МАХИ.

С использованием данной аппаратуры зарегистрировано более 900 толчков (рис. 2), электрометрический коэффици-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 1. С. 67–75.
© А.А. Еременко, Л.Н. Гахова, А.И. Конурин, В.Н. Колтышев, В.Б. Приб, Е.Е. Узун. 2018.

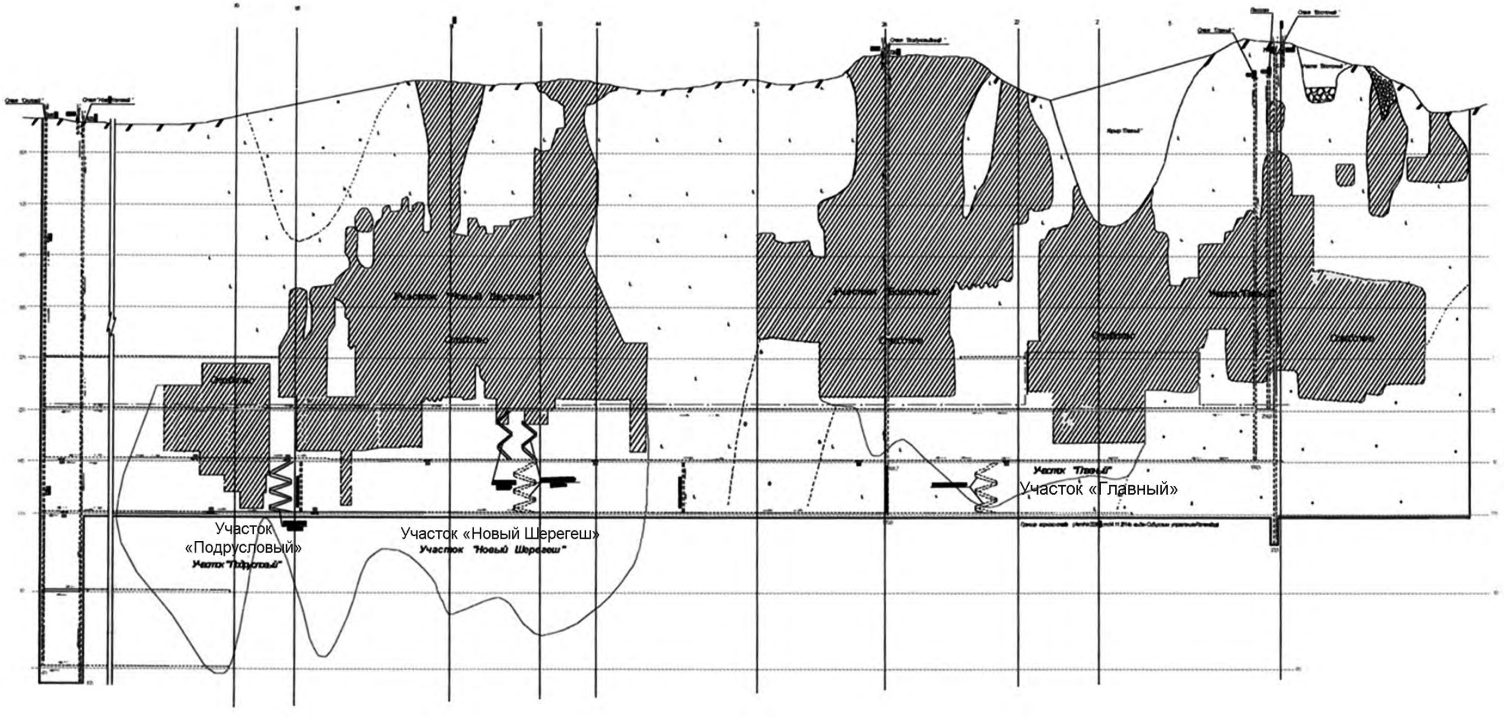

Рис. 1. Схема расположения рудных участков на месторождении

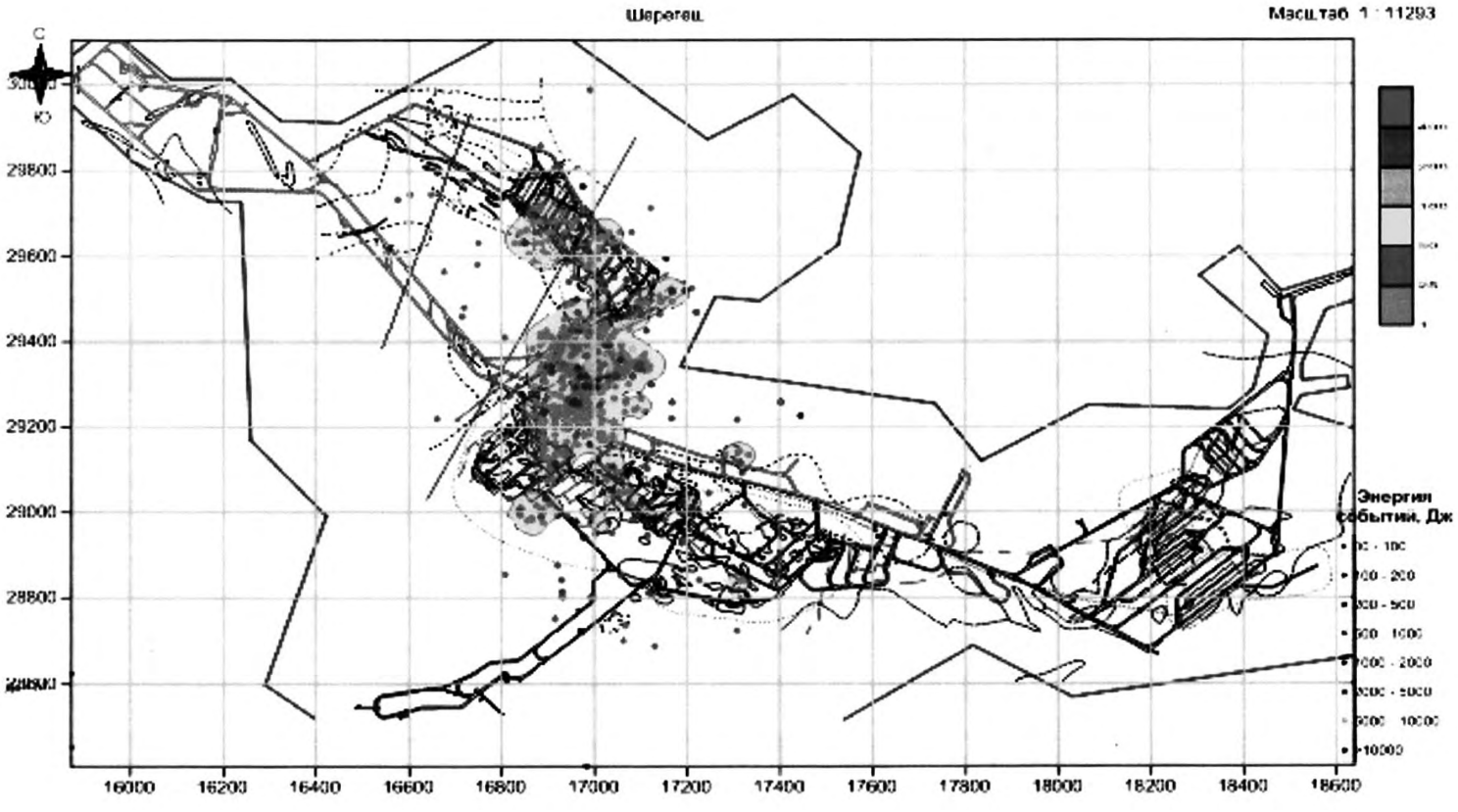

Рис. 2. Карта сейсмической активности за период 01.01.2016-30.06.2016

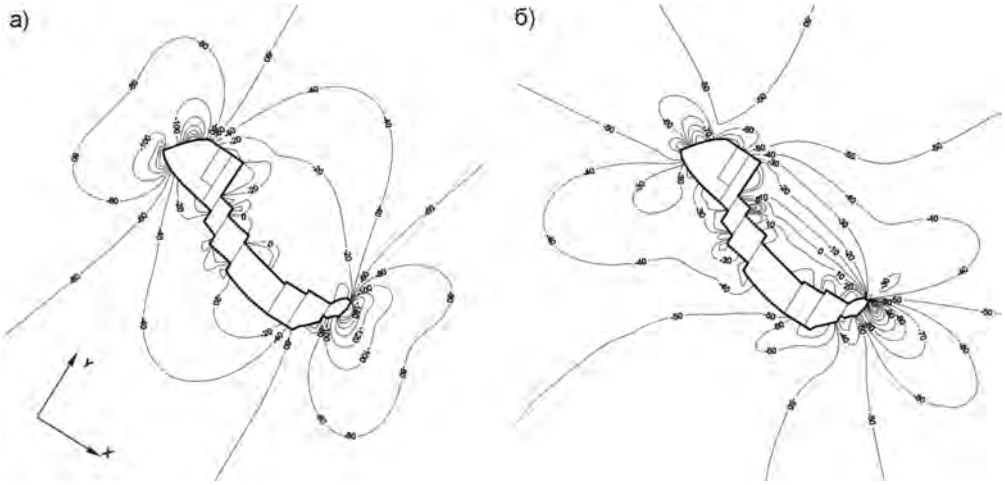

Рис. 3. Субвертикальные и субгоризонтальные напряжения (МПа) в локальной системе координат, участок «Подрусловый»: σ_y (а); σ_x (б)

ент изменялся от 1,3 до 1,6 ($K\rho_{ср}$ = 1,34) по гор. +255÷+115 м. Большое количество сейсмособытий наблюдалось в феврале месяце по участку «Главный» — более 300 и «Новый Шерегеш» — более 70 (МВ по бл. 9, Q = 83 т). Геодинамические явления проявлялись в форме заколообразования, стреляния, шелушения на гор. +185÷+255 м в ходовой сбойке № 4, в штреке, в забое, буровой заходке и др.

В связи с тем, что определены районы, потенциально склонные к толчкам, в шахтном поле в зоне и вне зоны ведения горных работ на участках «Подрусловый» и «Новый Шерегеш», выполнено математическое моделирование НДС

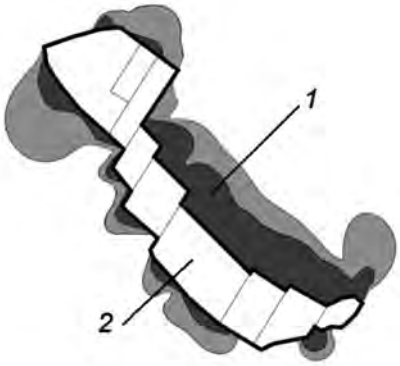

Рис. 4. Зона неупругих деформаций (1) в области влияния очистного пространства (2)

массива горных пород, т.к. этот метод является наиболее экономичным и оперативным в сравнении с экспериментальными исследованиями.

Напряжения в массиве определяются весом пород и коэффициентом бокового отпора в ненарушенном массиве [4—6]. На глубине 400 м и более в вертикальном направлении действует напряжение $\sigma_z = \gamma H$, где H — глубина, м, γ — удельный вес пород. В локальной системе координат горизонтальные напряжения: $\sigma_x = \lambda_1 \gamma H$; $\sigma_y = \lambda_2 \gamma H$, где λ_1, λ_2 — коэффициенты бокового отпора. Для условий месторождения интегральная характеристика γ = 2,95 г/см^2, λ_1 = 3,8, λ_2 = 5,0. Следовательно, для нетронутого массива на глубине σ^0_x = 49,9, МПа, σ^0_y = 66,3 МПа.

Результаты расчетов, выполненных с применением метода граничных интегральных уравнений, представлены в виде графиков изолиний компонентов тензора напряжений (σ_x, σ_y) и напряжениями σ_s (сдвигающими напряжениями), сравниваемыми со сцеплением массива и позволяющими для анализа воспользоваться критерием разрушения Кулона-Мора [7, 8]:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2\cos\varphi} - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} tg\varphi \ ,$$

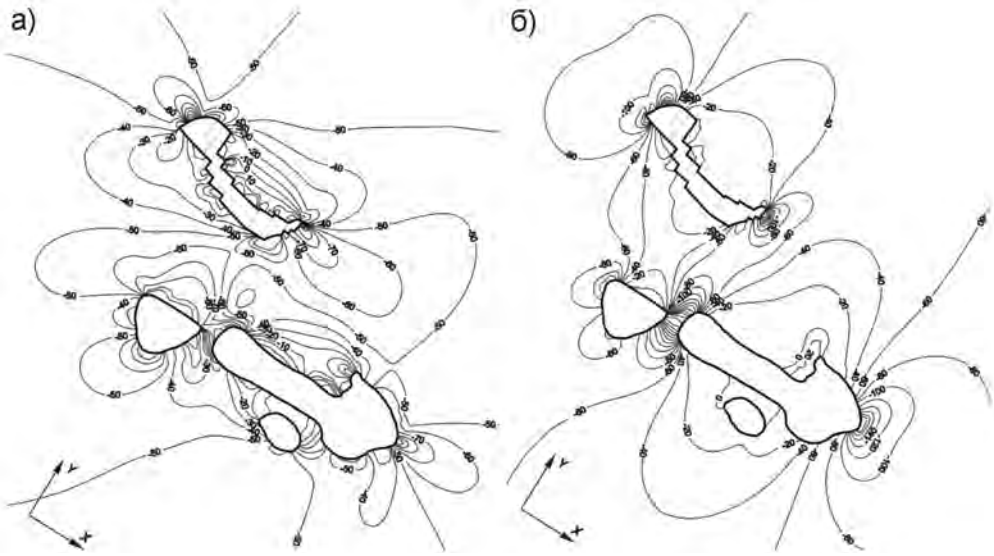

Рис. 5. Субвертикальные и субгоризонтальные напряжения (МПа) в локальной системе координат, участок «Новый Шерегеш»: σ_y (а); σ_x (б)

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ — главные напряжения; φ — угол внутреннего трения.

Так как сцепление массива изменяется в диапазоне 16÷36 МПа, то с учетом коэффициента структурного ослабления критическая величина $\sigma^{крит}_s$ принимается для слабых пород 2 МПа ($\sigma_s \geq$ $\geq$ 2 МПа), для крепких — 11 МПа ($\sigma_s \geq$ $\geq$ 11 МПа) [9—11].

Напряженное состояние массива в окрестности залежи «Подрусловой» (рис. 3) характеризуется значительной разгрузкой от действия как субгоризонтальных, так и субвертикальных напряжений вдоль боковых границ по простиранию рудной залежи, в то же время, в торцах залежи — концентрация напряжений (σ_x до 100 МПа, σ_y до 180 МПа). Зоны неупругих деформаций, в основном, формируются вдоль протяженных боковых границ залежи (рис. 4).

Характер распределения напряжений вблизи залежей участков «Новый Шерегеш» аналогичен: в окрестности боковых границ по простиранию рудных тел массив разгружен от действия субгоризонтальных и субвертикальных напряжений; в торцевой часть массива, наиболее удаленной от залежи «Подрусловой», концентрация σ_x достигает 100 МПа, σ_y — 200 МПа (рис. 5). Вблизи залежи «Подрусловой» со стороны нетронутого массива в торце σ_y достигает 120 МПа, σ_x сопоставимо с субвертикальными напряжениями нетронутого массива. В массиве между залежами «Нового Шерегеша», расположенными по простиранию основного рудного тела, σ_y достигает

Рис. 6. Зоны неупругих деформаций в области влияния очистного пространства

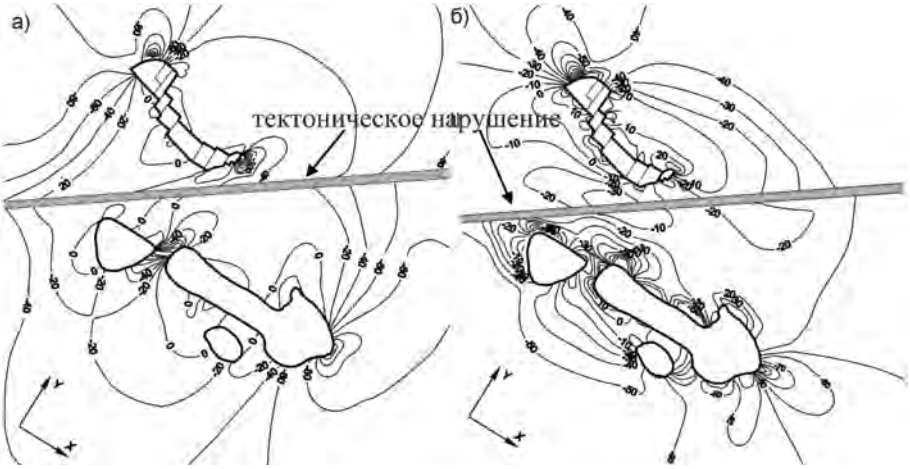

Рис. 7. Субвертикальные и субгоризонтальные напряжения (МПа) в локальной системе координат: σ_y (а); σ_x (б)

210 МПа, σ_x — 80 МПа, при этом градиент субгоризонтальных напряжений в межзалежном целике — от –80 МПа до –10 МПа.

Расположенное вблизи протяженной боковой границы основного рудного тела часть залежи «Новый Шерегеш» находится в зоне разгрузки от действия σ_x, σ_y. Исключение — наиболее удаленная от основной части залежи его часть, где σ_x сопоставимо с субгоризонтальными напряжениями нетронутого массива (рис. 6).

Зоны неупругих деформаций в окрестности залежи «Новый Шерегеш» формируются вдоль протяженных ее границ и охватывают значительную часть массива между рудных тел залежи (рис. 6).

Рис. 8. Зоны неупругих деформаций в области влияния очистного пространства

Определен характер и закономерности распределения напряжений во вмещающем массиве в районе участков «Подрусловый» и «Новый Шерегеш» с учетом влияния крупного тектонического нарушения. На рис. 7 представлено распределение субвертикальных и субгоризонтальных напряжений в районе расположения тектонического нарушения. Субвертикальные напряжения в зоне расположения нарушения колеблются от 0 до –40 (–100) МПа, а субгоризонтальные от –10 до –20 (–30) МПа. Зоны неупругих деформаций от участков «Подрусловый» и «Новый Шерегеш» достигают нарушения на расстояниях 25—80 м и более (рис. 8), что может способствовать проявлению горного давления в динамической форме [12—16].

Выводы

Установлено, что во вмещающем массиве горных пород выработанных пространств участков «Подрусловый» и «Новый Шерегеш» субвертикальные напряжения колеблются от 0 до –40 (–100) МПа, а субгоризонтальные — от –10 до –20

(–30) МПа. Данному распределению напряжений способствует рядом расположенное крупное тектоническое нарушение (разлом). Здесь также зоны неупругих деформаций от участков «Подрусловый» и «Новый Шерегеш» достигают нарушения на расстояниях 25—80 м и более, что способствует проявлению горного давления в динамической форме. Определены зоны концентрации вертикальных и горизонтальных напряжений во вмещающем массиве горных пород вокруг выработанного пространства участка «Подрусловый». Установлено, что максимальные (–80÷–120 МПа) напряжения в плане формируются на флангах рудного тела; в центральной части –30÷–50 МПа; зоны неупругих деформаций располагаются от бортов выработанного пространства со стороны лежачего бока на расстоянии 8—12 м, висячего — 40—50 м и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еременко А. А.*, *Еременко В. А.*, *Гайдин А. П.* Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов. — Новосибирск: Наука, 2008.

2. *Башков В. И.*, *Штирц В. А.*, *Еременко А. А.*, *Конурин А. И.* Оценка геомеханического состояния массива горных пород при производстве массовых взрывов на удароопасном рудном месторождении Горной Шории // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2015. — № 2. — С. 205—213.

3. *Еременко А. А.*, *Гахова Л. Н.* Оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке подэтажей с закладкой и без закладки выработанного пространства // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2016. — Т. 1. — № 3. — С. 56—61.

4. *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.

5. *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.

6. *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.

7. *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.

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

9. *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.

10. *Фрейдин А. М.*, *Неверов С. А.*, *Неверов А. А.*, *Конурин А. И.* К обоснованию выбора и определению параметров геотехнологий добычи руд с учетом вида напряженно-деформированного состояния горных пород // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — Т. 4. — № 3. — 2017. — С. 180—185.

11. *Shaposhnik Yu. N.*, *Konurin A. I.*, *Neverov S. A.*, *Neverov A. A.*, *Shaposhnik S. N.* Justification of mine working supports in terms of the rating classification of norwegian geotechnical institute / 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. 519—526.

12. *Camelbeeck T., de Viron O., Van Camp M., Kusters D.* Local stress sources in Western Europe lithosphere from geoid anomalies // Lithosphere. — 5 (3). — 2013. — pp. 235—246.

13. *Hofmann H., Weides S., Babadagli T., Zimmermann G., Moeck I., Majorowicz J., Unsworth M.* Potential for enhanced geothermal systems in Alberta, Canada // Energy, 69. 2014. pp. 578—591.

14. *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.

15. *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.
16. *Balg C.*, *Roduner A.* Geobrugg AG: Ground support applications // Int. Ground Support Conf. AGH University. — Lungern, Switzerland, 11—13 September, 2013. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Еременко Андрей Андреевич[1] — профессор, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, e-mail: eremenko@ngs.ru,
Гахова Лидия Николаевна[1] — старший научный сотрудник, e-mail: gahoval@mail.ru,
Конурин Антон Игоревич[1] — кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: akonurin@yandex.ru,
Колтышев Виталий Николаевич[1] — научный сотрудник,
Приб Валерий Викторович[2] — кандидат технических наук, e-mail: valery.prib@evraz.com,
Узун Екатерина Евгеньевна[2] — инженер участка ППГУ,
[1] Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН,
[2] Горно-Шорский филиал АО «Евразруда».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 1, pp. 67–75.

A.A. Eremenko, L.N. Gakhova, A.I. Konurin, V.N. Koltyshev, V.B. Prib, E.E. Uzun

GEOMECHANICAL ASSESSMENT OF ROCK MASS IN MINING TWO CLOSELY SPACED ORE BODY AT SHEREGESH DEPOSIT

Geomechanical condition of rock mass at Sheregesh deposit (Gornaya Shoria Division of EVRAZ-RUDA) is assessed using electrometry and mathematical modeling. Subvertical and subhorizontal stresses are determined in surrounding rock mass around mined-out stopes of Podruslovy and Novy Sheregesh ore bodies. Bumping-hazardous zones inside and outside the stoping zone within the minefields are identified, and mathematical modeling of stresses and strains in rocks is carried out. It is shown that stress state of enclosing rocks around Podruslovy ore body is characterized by considerable relaxation of both subhorizontal and subvertical stresses along the side boundaries strike-line the ore body, while the end faces of the ore body are exposed to stress concentration. The distribution of stresses at Novy Sheregesh ore body is the same. It is revealed that the nearby large tectonic disturbance (fault) influences appreciably the stress distribution. The concentration zones of vertical and horizontal stresses are determined in surrounding rock mass around stoping in Podruslovy rock mass. It is found that the maximal stresses of - 80 ÷-120 MPa form at the ends of the ore body in plan and reach - 30 ÷ - 50 MPa in its center; the inelastic strain zones occur at the distance of 8–12 m and 40–50 m and more from the stoping walls in the footwall and hanging wall, respectively.

Key words: deposits, ore, technologies, mining operations, stress state, dynamic events, rock bursts, mining safety.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-67-75

AUTHORS

Eremenko A.A.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director on Scientific Work, e-mail: eremenko@ngs.ru,
Gakhova L.N.[1], Senior Researcher, e-mail: gahoval@mail.ru,
Konurin A.I.[1], Candidate of Technical Sciences, Researcher, e-mail: akonurin@yandex.ru,

Koltyshev V.N.[1], Researcher,
Prib V.B.[2], Candidate of Technical Sciences,
e-mail: valery.prib@evraz.com,
Uzun E.E.[2], Engineer,
[1] Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia,
[2] Gorno-Shor branch of JSC «Evrazruda»,
652971, Kemerovo region, p. Sheregesh, Russia.

REFERENCES

1. Eremenko A. A., Eremenko V. A., Gaydin A. P. *Sovershenstvovanie geotekhnologii osvoeniya zhelezorudnykh udaroopasnykh mestorozhdeniy v usloviyakh deystviya prirodnykh i tekhnogennykh faktorov* (Improvement of geotechnology of development of iron ore impact-threatening deposits in conditions of natural and technogenic factors), Novosibirsk, Nauka, 2008.

2. Bashkov V. I., Shtirts V. A., Eremenko A. A., Konurin A. I. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2015, no 2, pp. 205—213.

3. Eremenko A. A., Gakhova L. N. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2016, vol. 1, no 3, pp. 56—61.

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

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

6. Lushnikov V. N., Sendi M. P., Eremenko V. A., Kovalenko A. A., Ivanov I. A. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 12, pp. 11—16.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. Freydin A. M., Neverov S. A., Neverov A. A., Konurin A. I. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*, vol. 4, no 3. 2017, pp. 180—185.

11. Shaposhnik Yu. N., Konurin A. I., Neverov S. A., Neverov A. A., Shaposhnik S. N. Justification of mine working supports in terms of the rating classification of norwegian geotechnical institute. *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. 519—526.

12. Camelbeeck T., de Viron O., Van Camp M., Kusters D. Local stress sources in Western Europe lithosphere from geoid anomalies. *Lithosphere*. 2013. 5 (3). pp. 235—246.

13. Hofmann H., Weides S., Babadagli T., Zimmermann G., Moeck I., Majorowicz J., Unsworth M. Potential for enhanced geothermal systems in Alberta, Canada. *Energy*. 2014, 69, pp. 578—591.

14. 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.

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

16. Balg C., Roduner A. Geobrugg AG: Ground support applications. *Int. Ground Support Conf. AGH University*. Lungern, Switzerland, 11—13 September, 2013.

FIGURES

Fig. 1. Layout of the ore mining sites at the deposit.

Fig. 2. Map of seismic activity over a period from 1 Jan to 30 Jun 2016.

Fig. 3. Subvertical and subhorizontal stresses (MPa) in the local coordinate system, Podruslovy site.

Fig. 4. Inelastic strain zone (1) in the influence zone of stoping (2).

Fig. 5. Subvertical and subhorizontal stresses (MPa) in the local coordinate system, Novy Sheregesh site.

Fig. 6. Inelastic strain zones in the influence zone of stoping.

Fig. 7. Subvertical and subhorizontal stresses (MPa) in the local coordinate system.

Fig. 8. Inelastic strain zones in the influence zone of stoping.