УДК 622.831

В.Н. Филиппов, А.А. Еременко, А.Н. Александров, И.Ф. Матвеев, В.А. Штирц, Е.А. Христолюбов

ПРОГНОЗ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА К ОТРАБОТКЕ НА ТАШТАГОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Дана оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород и проведен прогноз геодинамических явлений при подготовке технологического блока № 6 Восточного участка Таштагольского месторождения методом электрометрии и деформационным с применением глубинных реперов. Произведено более 200 измерений. В пределах массива, прилегающего к блоку зарегистрировано более 70 геодинамических явлений. Установлено, что круто и полого падающие тектонические трещины расположенные в пределах блока № 6, а также пологое тектоническое нарушение мощностью 1–3 м оказывают влияние на формирование зоны геодинамической активности, при проведении выработок, в данном районе. Для снижения величины напряжений в массиве горных пород и создания защитной зоны при отработке днища блока произведено камуфлетное взрывание (взрывание веера скважин с использованием различных интервалов замедления) которое позволило перераспределить толчки вглубь вмещающего массива и способствовало снижению динамической активности в данном районе.

Ключевые слова: электрометрия, удароопасность, защитная зона, камуфлетное взрывание, веер скважин.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-74-80

В состав Таштагольского месторождения включены пять рудных участков: Западный, Северо-Западный, Восточный, Юго-Восточный и Глубокий. С глубины 600 м (горизонт –70 м) месторождение отнесено к опасным по горным ударам. Блок № 6 расположен в рудном участке Восточный. Горизонт подсечки блока (горизонт –280 м) находится в опасной зоне от выработанного пространства Восточного участка.

Рудное тело данного участка представляет собой круто падающую линзу, пересеченную узким телом сиенитов и несколькими дайками диоритовых порфиритов. Вмещающие и боковые породы представлены сиенитами, скарнами хлорит-эпидот-гранатового состава и сланцами полевошпат-хлоритового состава. В пределах блока рудное тело пересечено круто и полого падающими локальными тектоническими трещинами различного направления, снижающими устойчивость массива. Трещины открытые или частично залечены кварц-карбонатным материалом. Трещины по контакту руды

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 5. С. 74–80.
© В.Н. Филиппов, А.А. Еременко, А.Н. Александров, И.Ф. Матвеев, В.А. Штирц, Е.А. Христолюбов. 2018.

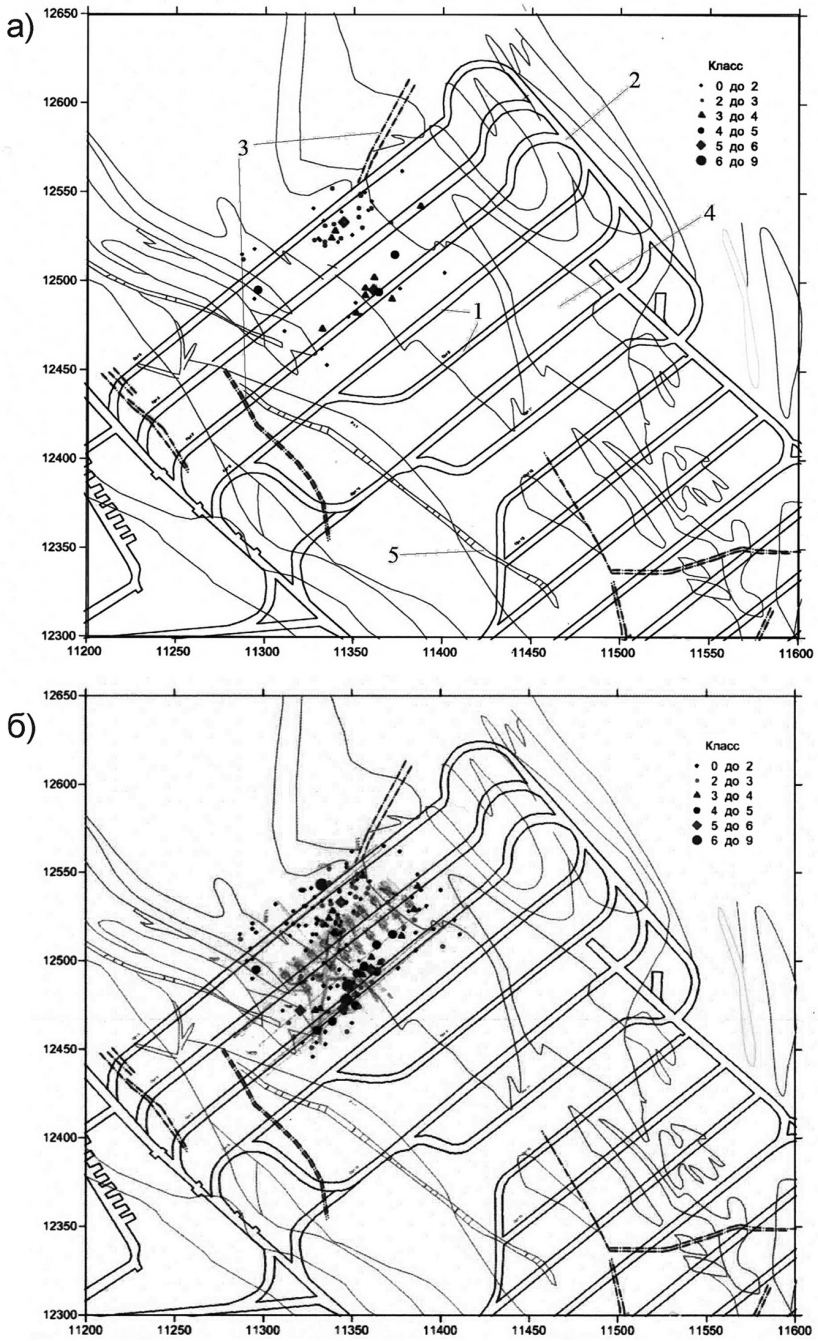

Рис. 1. Распределение геодинамических явлений: в период 2013—2014 гг. (а); в период 2015—2016 гг. (б): 1 — орт; 2 — штрек; 3 — тектоническое нарушение; 4 — рудное тело; 5 — дайки; 11200—11600 и 12300—12650 — координаты *x* и *y*; 0—9 — энергетический класс толчков

Fig. 1. Distribution of geodynamic events: (a) 2013 to 2014; (b) 2015 to 2016; 1—crosscut; 2—drift; 3—tectonic dislocation; 4—orebody; 5; dykes; 11200–1160 and 12300—12650—X and Y coordinates; 0—9—energy class of bumps

с дайками и породным прослоем сопровождаются зонами дробления мощностью около 2—3 см.

На уровне отметок (–230)÷(–240) м подсечено пологое тектоническое нарушение мощностью 1—3 м [1—4].

В данном районе сформировалась зона геодинамической активности, в направлении от блока № 9 до блока № 2 [5—7]. В период проходки орта № 6 неоднократно приостанавливались проходческие работы на период от 2 до 5 сут из-за возникновении категории «Опасно», четыре раза работы приостанавливались при наличии признаков повышенной удароопасности. В этот период зарегистрировано более 50 геодинамических явлений (толчков) в массиве, прилегающем к блоку № 6. В дальнейшем, в течение 2014—2016 гг. в пределах массива, прилегающего к блоку, зарегистрировано более 70 геодинамических явлений с сейсмической энергией от 10^2 до $2{,}5\times10^6$ Дж (рис. 1).

Кроме того, прогноз геодинамической активности осуществлялся методами электрометрии: каротажа по скважинам, подземного электромагнитного зондирования (ПЭЗ) и деформационным с применением глубинных реперов. Произведено более 200 измерений, которые показали, что деформации не превышали 1—2 мм и 0,05—0,1 мм/м соответственно (рис. 2) [8—10].

По данным наблюдений в июле 2016 г. максимальные деформации на гор. –280 м составили 0,9 мм/м, что ниже критериальных значений, равных 3,6 мм/м. Для снижения величины напряжений в массиве горных пород и создания защитной зоны при отработке днища блока № 6 произведено камуфлетное взрывание. Для этого из орта № 6 горизонта –280 м пробурен веер из девяти скважин (рис. 3).

Величина заряда ВВ в скважине веера (Q) определялась по формуле

$$Q = (L_c - 1)\rho, \text{ кг},$$

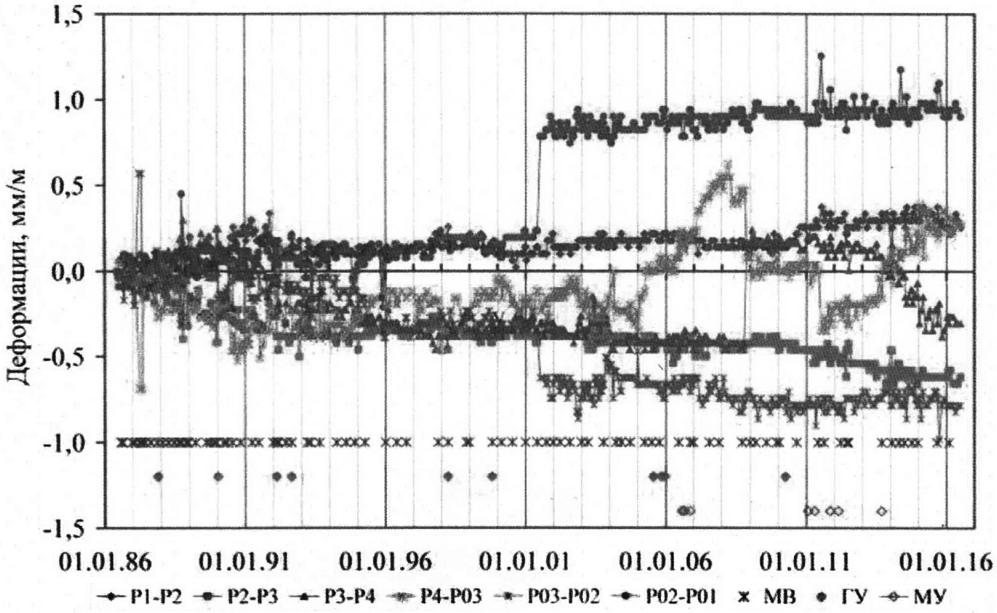

Рис. 2. График изменения деформаций по станции 2 (орт 11 Северо-Западного полевого штрека, гор. –280 м)

Fig. 2. Variation in strains by the data of station 2 (crosscut 11, North-Western rock heading, Level -280 m)

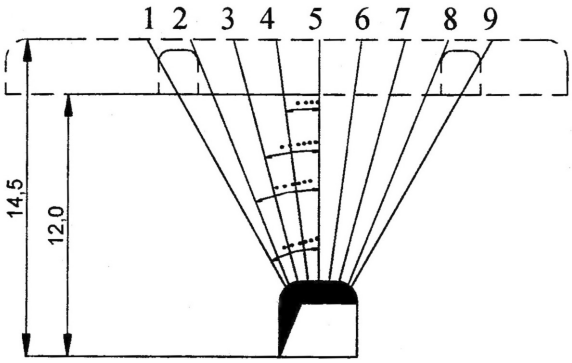

Рис. 3. Схема расположения веерных скважин камуфлетного взрывания в орте № 6 гор. –280 м
Fig. 3. Fan drilling pattern for choke blasting in crosscut 6, Level –280 m

где L_c — полная глубина скважины, м; 1 — недозаряжаемая глубина скважины, м; ρ — вместимость 1 м скважины (∅105 мм) при плотности заряжания 1 кг/дм³ — 8,5 кг/м [11].

Величина заряда в скважине № 1, 3, 5, 7, 9 равнялась (13—11) × 8,5 = 17 кг.

Скважины № 2, 4, 6, 8 не заряжались и использовались в качестве компенсационного пространства, для улучшения пробивной способности скважинных зарядов. Результаты расчетов представлены в таблице.

В качестве ВВ использовался аммонит № 6ЖВ. Предусмотрено использование (50, 75, 100 мс) интервалов замедления. Взрывание веера скважин производится комбинированным способом: ДШ с СИНВ-Ш. В первую очередь взрывались скважины № 3, 7 с замедлением (50 мс), скважина № 5 с замедлением (75 мс), скважины № 1, 9 с замедлением (100 мс). Инициирование взрывной сети производится электродетонаторами ЭД 1-8-Т с нулевым замедлением.

Энергия взрыва составила 3,4×10⁵ Дж, (*K* = 5,5), эквивалент по ВВ 4,6 т. После взрыва сейсмостанцией в течение одного часа зарегистрировано 11 толчков с максимальным энергетическим классом 5,1. Эпицентры толчков локализо-

Объемы бурения и заряжания веера скважин
Fan drilling and charging

Наименование скважин в веере и ступень замедления	Длина бурения, м	Длина заряжания, м	Кол-во ВВ, кг	Величина недозаряда, м
№ 1 (100 мс)	13	2	17	11
№ 2	12	нет заряда ВВ		
№ 3 (50 мс)	11,5	2	17	9,5
№ 4	11	нет заряда ВВ		
№ 5 (75 мс)	11	2	17	9
№ 6	11	нет заряда ВВ		
№ 7 (50 мс)	11,5	2	17	9,5
№ 8	12	нет заряда ВВ		
№ 9 (100 мс)	13	2	17	11
Всего	72	10	85	

ваны вблизи Диагонального тектонического нарушения, пересекающего блок № 6. В последующие две смены были проведены замеры напряженно-деформированного состояния прибором «Angel-M» в результате чего в ортах 5, 6, 7 гор. –280 м установлена категория «Неопасно» [12]. В результате осмотра обнаружены упавшие куски горных пород в орте № 6 гор. –280 м и в камерах под ВДПУ № 11—14.

Выводы

Анализ геодинамической обстановки в период проведения подготовительно-нарезных выработок на блоке № 6 Восточного участка показал, что в данном районе сформировалась зона геодинамической активности.

В период проходки орта № 6 неоднократно приостанавливались работы на период от 2 до 5 сут из-за возникновения категории удароопасности «Опасно», а также зарегистрировано более 70 геодинамических явлений с энергией до $2{,}5\times10^6$ Дж.

Установлено, что при проведении выработок блока № 6, на формирование зоны геодинамической активности и снижение устойчивости массива оказывают влияние круто и полого падающие тектонические трещины, расположенные в пределах блока, которые сопровождаются зонами дробления мощностью около 2—3 см, а также пологое тектоническое нарушение мощностью 1—3 м.

Разработаны параметры камуфлетного взрывания. После взрыва выполнена оценка геомеханического состояния массива горных пород в районе блока № 6 которая показала, что произошло перераспределение и локализация толчков в глубину вмещающего массива и способствовало снижению динамической активности в данном районе с установлением категории «Неопасно».

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

3. *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.

4. *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. WOS:000395499700058

5. *Штирц В. А., Еременко А. А., Конурин А. И., Клишин И. В.* Опыт прогноза геодинамических явлений при массовых взрывах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7. — С. 196—206.

6. *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.

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

8. *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.

9. *Kelly B.* Stress analysis for boreholes on department of defense lands in the western United States: A study in stress heterogeneity // Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. — Stanford University, Stanford, California, February 11—13. — 2013. — Pp. 139—150.

10. *Reiter K., Heidbach O.* 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada) // Solid Earth, 5 (2). — 2014. — pp. 1123—1149. doi: 10.5194/se-5-1123-2014 doi: 10.1130/L238.1

11. *Руководство* по проектированию, организации и проведению массовых взрывов на подземных рудниках филиалов Евразруды. — Новокузнецк: ВостНИГРИ, 2008.

12. *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. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Филиппов Владимир Николаевич[1] — кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, e-mail: filippov144@yandex.ru,
Еременко Андрей Андреевич[1] — доктор технических наук,
профессор, заместитель директора по научной работе,
e-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
Александров Артем Николаевич[1] — научный сотрудник,
e-mail: aan@ngs.ru,
Матвеев Игорь Федорович — доктор технических наук,
начальник технического управления филиалов Таштагольской группы
АО «Евразруда», e-mail: Igor.Matveev@evraz.com,
Штирц Владимир Александрович — начальник участка ППГУ
Таштагольского филиала АО «Евразруда»,
e-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,
Христолюбов Евгений Александрович — начальник технического отдела
Горно-Шорского филиала АО «Евразруда»,
e-mail: Evgeny.Khristolyubov@evraz.com,
[1] ИГД СО РАН, 630091, Новосибирск.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 5, pp. 74–80.

V.N. Filippov, A.A. Eremenko, A.N. Aleksandrov, I.F. Matveev, V.A. Shtirts, E.A. Khristolyubov

PREDICTION AND PREVENTION OF GEODYNAMIC EVENTS DURING PREPARATION OF AN OREBODY BLOCK FOR EXTRACTION AT TASHTAGOL DEPOSIT

Based on assessment of stress state of rocks, prediction of geodynamic events is carried for the period of preparation of extraction block 6 in the East Site of Tashtagol deposit using electrometry and deep-seated strain metering. All in all, 200 measurements were taken. In the adjacent rock mass of the extraction block, more than 70 geodynamic events were recorded. It was found that flat and steeply dipping fractures in rock mass surrounding extraction block 6 as well as a tectonic dislocation 1–3 m wide induced geodynamic activity during mining. Aimed to reduce stresses and create a protection zone, choke fan blasting with different delays was carried out, which allowed relocating bumps into the depth of rock mass and reduced geodynamic activity in the mining zone.

Key words: electrometry, rockburst hazard, protection zone, choke blasting, fan drilling.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-74-80

AUTHORS

Filippov V.N.[1], Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, e-mail: filippov144@yandex.ru,
Eremenko A.A.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Deputy Director for Science, e-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
Aleksandrov A.N.[1], Researcher, e-mail: aan@ngs.ru,
Matveev I.F., Doctor of Technical Sciences,
Head of Technical Control Department
of Tashtagol Group of «Evrazruda» LTD,
652970, Tashtagol, Kemerovo Region, Russia,
e-mail: Igor.Matveev@evraz.com,
Shtirts V.A., Chief of the Rockburst Prediction
and Prevention Service, Tashtagol Division, «Evrazruda» LTD,
652970, Tashtagol Kemerovo Region, Russia,
e-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,
Khristolyubov E.A., Deputy Head of Technical Department,
Gornaya Shoria Division,
«Evrazruda» LTD, 652971, Sheregesh, Kemerovo Region, Russia,
e-mail: Evgeny.Khristolyubov@evraz.com,
[1] Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, 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 for rockburst-hazardous iron ore mining under influence of natural and induced factors), Novosibirsk, Nauka, 2008.

2. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Gaydin A.P. *Gorno-geologicheskie i geomekhanicheskie usloviya razrabotki zhelezorudnykh mestorozhdeniy v Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* (Geological and geomechanical conditions of iron ore mining in the Altai-Sayan folded area), Novosibirsk, Nauka, 2009.

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

4. 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. WOS:000395499700058

5. Shtirts V.A., Eremenko A.A., Konurin A.I., Klishin I.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7, pp. 196—206.

6. 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.

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

9. Kelly B. Stress analysis for boreholes on department of defense lands in the western United States: A study in stress heterogeneity. *Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford University, Stanford, California, February 11—13. 2013. Pp. 139—150.

10. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). *Solid Earth*, 5 (2). 2014. pp. 1123—1149. doi: 10.5194/se-5-1123-2014 doi: 10.1130/L238.1

11. *Rukovodstvo po proektirovaniyu, organizatsii i provedeniyu massovykh vzryvov na podzemnykh rudnikakh filialov Evrazrudy* (Guidelines on production blasting design, arrangement and implementation in underground mines of EVRAZruda), Novokuznetsk, VostNIGRI, 2008.

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