© М.В. Лизункин, 2016

УДК 622.831

М.В. Лизункин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ*

Актуальной задачей для ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» является поддержание объемов и рентабельности производства урана. Это может быть достигнуто путем вовлечения в отработку бедных и забалансовых руд и увеличения доли разработки маломощных рудных тел по мере углубления горных работ. При разработке месторождений полезных ископаемых существенное значение имеет геомеханическое обоснование конструктивных элементов систем разработки, базирующееся на изучении геолого-тектонического строения месторождения, физико-механических свойств слагающих его пород, первоначальных (природных) напряжений и законов их распределения в недрах. Приведены результаты натурных измерений первоначальных (природных) напряжений на месторождениях Стрельцовского рудного поля. Полученные данные рекомендуется использовать при проектировании физико-химической геотехнологии блочного подземного выщелачивания урана для расчета конструктивных параметров систем разработки, управления горным давлением и решения других геомеханических и горнотехнологических задач.

Ключевые слова: вертикальное напряжение, горизонтальное продольное напряжение, горизонтальное поперечное напряжение, горный массив, квершлаг, штрек, метод щелевой разгрузки, напряжение на стенках выработок, первоначальное (природное) напряжение горного массива.

Стрельцовское урановорудное поле находится на юго-востоке Забайкальского края в пределах Тулукуевской вулканотектонической структуры. Рудное поле объединяет урановые месторождения, большая часть которых является уникальными по качеству руд и количеству запасов урана. Месторождения сосредоточены в одноименной вулкано-тектонической кальдере площадью около 140 кв^2 [1].

---

* В работе также принимали участие профессор Л.И. Сосновский, доцент Е.Л. Сосновская (кафедра РМПИ ИРНИТУ), старший преподаватель А.В. Бейдин (кафедра ПРМПИ ЗабГУ).

Длительная эксплуатация месторождений (более 45 лет) привела к тому, что большинство запасов с богатым содержанием уже отработаны или близки к истощению (отмечается снижение содержания ценного компонента, мощности рудных тел). Поэтому актуальной задачей для ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» является поддержание объемов и рентабельности производства урана. Это может быть достигнуто путем вовлечения в отработку бедных и забалансовых руд и увеличения доли разработки маломощных рудных тел по мере углубления горных работ [2]. В таких условиях, как показывает отечественная и мировая практика, традиционные подземные физико-технические геотехнологии являются нерентабельными [3].

Экономически целесообразно бедные и забалансовые руды можно отработать комплексной технологией разработки месторождений, которая включает блочное подземное выщелачивание (БПВ), рудоподготовку урановых руд для кучного выщелачивания и кучное выщелачивание (КВ) [4].

При разработке месторождений полезных ископаемых как традиционными физико-техническими, так и физико-химическими (блочное подземное выщелачивание) технологиями существенное значение имеет геомеханическое обоснование параметров конструктивных элементов систем разработки. Причем оно должно базироваться на изучении геолого-тектонического строения месторождения, физико-механических свойств слагающих его пород, первоначальных (природных) напряжений и законов их распределения в недрах.

Исследования первоначального природного поля напряжений Стрельцовского рудного поля проводили в натурных условиях на месторождениях Юбилейное, Стрельцовское (участки Западный и Глубинный), Антей и Мало-Тулукуевское.

Напряжения горных пород определялись методом щелевой разгрузки по методике Института горного дела УрО РАН [5]. Оценку действующего напряжения в элементе массива осуществляли путем изменения его напряженного состояния проходкой щели и измерения при этом соответствующих реакций в виде деформаций распорных реперов, установленных в шпурах перпендикулярно этой щели.

Измерения напряжений в руде и породах проводили в следующих местах:

1. Юбилейное месторождение: рудник № 8, гор.V (+420 м), квершлаг 11к-501, штрек 2–502. Глубина горных работ составила 300 м. Всего измерено напряжение в 21 щелях.

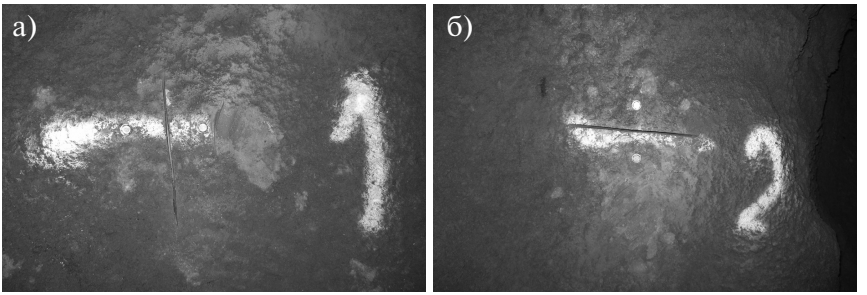

Рис. 1. Фотографии вертикальной (а) и горизонтальной (б) разгрузочной щелей на стенке выработки

В качестве примера приведены фотографии разгрузочных щелей на стенках выработки (рис. 1).

2. Стрельцовское месторождение. Рудник № 1. Участок Западный, гор.VII (+303,2 м), блок 5–821, орт 5–721, полевой штрек 5–701; гор.VIII (+245 м), полевой штрек 5–803. Глубина горных работ составила 400 и 460 м. Всего измерено напряжение в 21 щелях. Участок Глубинный, гор.V (+422 м), орт 4г-517, штрек 4г-503. Глубина горных работ составила 300 м. Всего измерено напряжение в 20 щелях.

3. Месторождение Антей: рудник Глубокий, гор.XIV (-120 м), орты 6а-1401 и 6а-1400, штрек 6а-1401; гор.XIII (-60 м)), блок 6а-1312, слой 4, заходка 22 и слоевой орт. Глубина горных работ составила 872 и 820 м. Всего измерено напряжение в 23 щелях.

4. Мало-Тулукуевское месторождение: рудник № 8, гор.VI (+361,3 м), орт 8–613, штрек 8–603/1. Глубина горных работ составила 450 м. Всего измерено напряжение в 18 щелях.

Шпуры для установки распорных реперов бурили электроперфоратором глубиной 50 мм, диаметром 10 мм. В качестве реперов использовали металлические анкерные болты. Разгрузочные щели пропиливали ручной дисковой алмазной пилой диаметром 250 мм, шириной 3 мм и глубиной 50 мм. Расстояние между реперами определяли микрометром с точностью $1 \cdot 10^{-2}$ мм.

Средние значения первоначальных напряжений (вертикальное, продольное, поперечное) для месторождений Юбилейное, Стрельцовское (участки Западный и Глубинный), Антей, Мало-Тулукуевское и в целом Стрельцовского рудного поля представлены в таблице [6, 7, 8, 9].

В среднем величины напряжений на месторождениях Стрельцовского рудного поля на глубинах 300...900 м аппроксимируются формулами:

Результаты натурных измерений напряжений массива горных пород на месторождениях Стрельцовского рудного поля

Напряжение	Глубина разработки, м	Теоретическое напряжение (по гипотезе А. Геймa), МПа	Результаты натурных измерений напряжений горных массивов			
			число единичных определений напряжения	напряжение, МПа ± предельное откл-е	отношение продольного напряжения к вертикальному $\sigma_{пр}/\sigma_{в}$	отношение поперечного напряжения к вертикальному $\sigma_{п}/\sigma_{в}$
1	2	3	4	5	6	7
Стрельцовское месторождение (участки Западный и Глубинный)						
Вертикальное	300	-7,4	45	-7,4±0,7		
Продольное		-7,4	20	-11,8±1,2	1,59	1,20
Поперечное		-7,4	20	-8,9±2,0		
Вертикальное	400	-10,1	34	-10,8±1,2		
Продольное		-10,1	16	-6,9±1,6	0,64	0,64
Поперечное		-10,1	16	-6,9±1,0		
Среднее для условий Стрельцовского месторождения					1,11	0,92
Месторождение Юбилейное						
Вертикальное	300	-7,4	54	-7,5±0,6		
Продольное		-7,4	30	-7,7±1,2	1,03	1,01
Поперечное		-7,4	30	-7,6±1,0		
Месторождение Мало-Тулукуевское						
Вертикальное	450	-11,8	43	-11,8±1,8		
Продольное		-11,8	24	-17,5±2,0	1,48	1,58
Поперечное		-11,8	24	-18,6±3,5		
Месторождение Антей						
Вертикальное	870	-22,8	66	-22,8±2,7		
Продольное		-22,8	36	-16,3±2,4	0,7	1,5
Поперечное		-22,8	36	-34,1±3,3		
Среднее для месторождений Стрельцовского рудного поля					1,1±0,3	1,3±0,3

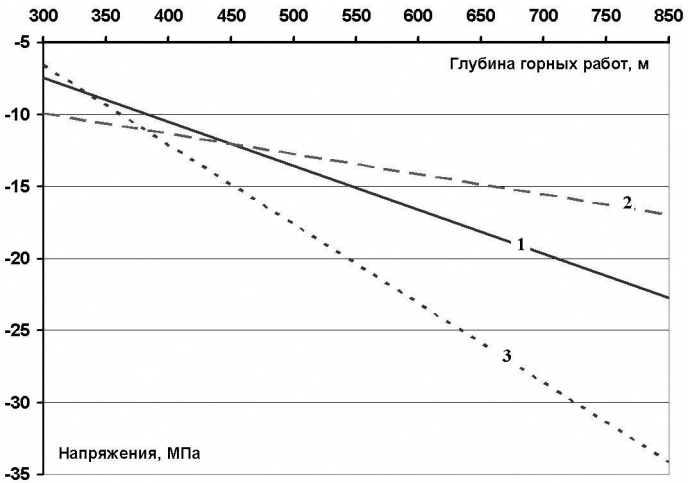

Рис. 2. Зависимости изменения природных напряжений массива горных пород Стрельцовского рудного поля от глубины горных работ: 1 – вертикальные напряжения, 2 – горизонтальные продольные напряжения, 3 – горизонтальные поперечные напряжения

$$\sigma_в = -\gamma H,\ \sigma_{пр} = -1{,}1\ \gamma H,\ \sigma_п = -1{,}3\ \gamma H,$$

где γ – плотность пород и руд, МН/м^3; H – глубина горных работ, м.

Выявлено, что природные напряжения массива горных пород Стрельцовского рудного поля линейно зависят от глубины горных работ H и аппроксимируются формулами

$$\sigma_в = -1{,}5297\ H - 5{,}9463,$$
$$\sigma_{пр} = -0{,}7068\ H - 9{,}2551,$$
$$\sigma_п = -2{,}7518\ H - 3{,}8916.$$

На рис. 2 представлены зависимости природных напряжений (вертикальное, горизонтальные продольное и поперечное) от глубины горных работ для Стрельцовского рудного поля.

Величина достоверности аппроксимации для вертикальных и поперечных напряжений достаточно высока и составляет 0,9–1,0, а для продольных напряжений несколько ниже и равна 0,36.

Установленные величины напряжений для различных глубин разработки месторождений Юбилейное, Стрельцовское, Антей и Мало-Тулукуевское рекомендуется использовать на производстве для расчета конструктивных параметров систем разработки и крепления горных выработок, обоснования способов управления горным давлением и решения других инженерных задач на стадии проектирования и эксплуатации.

Работа выполнена в ходе реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Создание комплексной технологии отработки беднобалансовых урановых руд геотехнологическими методами» при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки России).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ищукова Л. П.*, *Игошин Ю. А.*, *Авдеев Б. В. и др.* Геология Урулюнгуевского рудного района и молибден-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 524 с.

2. *Лизункин В. М.*, *Морозов А. А.*, *Бейдин А. В.* Комбинированная геотехнология добычных работ с рентгенорадиометрической сортировкой и выщелачиванием урана из бедной рудной массы в подземных условиях // Горный журнал. – 2013. – № 8(2). – С. 21–25.

3. *Лизункин В. М.*, *Гаврилов А. А.*, *Морозов А. А.* Отработка маломощных крутопадающих урановых жил способом подземного выщелачивания // Горный журнал. – 2013. – № 8(2). – С. 25–28.

4. *Шурыгин С. В.*, *Морозов А. А.*, *Лизункин В. М.*, *Лизункин М. В.*, *Бейдин А. В.* Комплексная технология отработки беднобалансовых урановых руд геотехнологическими методами // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи (специальный выпуск). Подземные геотехнологии разработки рудных месторождений. – 2014. – № 12. – С. 15–28.

5. *Влох Н. П.* Управление горным давлением на подземных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 208 с.

6. *Лизункин В. М.*, *Лизункин М. В.*, *Сосновская Е. Л.*, *Бейдин А. В.* Особенности напряженно-деформированного состояния горного массива на Юбилейном месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 201–206.

7. *Лизункин В. М.*, *Лизункин М. В.*, *Сосновская Е. Л.*, *Бейдин А. В.* Определение первоначальных (природных) напряжений горных массивов на месторождениях Стрельцовское и Антей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 207–215.

8. *Лизункин М. В.*, *Бейдин А. В.*, *Шурыгин С. В.* Исследования напряженно-деформированного состояния горного массива Стрельцовского рудного поля / Кулагинские чтения: техника и технология производственных процессов: XIV Международная научно-практическая конференция: сборник статей, в 3 ч. Ч. I. – Чита: ЗабГУ, 2014. – С. 36–40.

9. *Лизункин М. В.*, *Бейдин А. В.* Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород Стрельцовского рудного поля / Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 4–5 июня 2014 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014.– С. 30–38. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Лизункин Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Забайкальский государственный университет,
e-mail: LMV1972@mail.ru.

UDC 622.831

M.V. Lizunkin

THE RESEARCH OF NATURAL STRESSES IN STRELTSOVSKY ORE FIELD DEPOSIT

At the present time, an urgent task for the OJSC «PIMCU» is to maintain the volume and profitability of the uranium production. This can be achieved by the involvement of the poor and out of balance ores for mining and raising the share of low-power ores mining with increase of mining activities. In such circumstances, as the national and international practices show, traditional underground physical – technical geotechnology is unprofitable. For effective mining of poor and out of balance reserves of uranium ore it is possible to use a comprehensive geotechnology, which includes a block-situ leaching, uranium ores dressing for heap leaching and heap leaching. In the mineral deposits development, geomechanical substantiation of structural elements of development systems, which is based on the study of geological – tectonic structure of deposit, physical – mechanical properties of its component rocks, the original (natural) tensions and laws of its distribution in situ is essential. This article presents the results of natural measures of the original (natural) stresses on Streltsovsky ore fielddeposits. Received data are recommended to use duringprojection of physical-chemical geotechnologyof uraniumblock situ leachingfor calculation the design factors of developmentsystems, management of rock pressure and solutions of other geomechanicaland mining and technological tasks.

Key words: vertical voltage, horizontal longitudinal voltage, horizontal transverse voltage, rock mass, cross-cut, drive, split unloading method, exertion on the ribs, originalvoltage of rock mass.

AUTHOR

Lizunkin M.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia, e-mail: LMV1972@mail.ru.

REFERENCES

1. Ishchukova L. P., Igoshin Yu. A., Avdeev B. V. *Geologiya Urulyunguevskogo rudnogo rayona i molibden-uranovykh mestorozhdeniy Strel'tsovskogo rudnogo polya* (Geology of Urulyunguevsky ore district and molybdenium-uranium deposits of Streltsovsky ore field), Moscow, ZAO «Geoinformmark», 1998, 524 p.

2. Lizunkin V. M., Morozov A. A., Beydin A. V. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 8(2), pp. 21–25.

3. Lizunkin V. M., Gavrilov A. A., Morozov A. A. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 8(2), pp. 25–28.

4. Shurygin S. V., Morozov A. A., Lizunkin V. M., Lizunkin M. V., Beydin A. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special edition. 2014, no 12, pp. 15–28.

5. Vlokh N. P. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* (Management of rock pressure in underground mines), Moscow, Nedra, 1994, 208 p.

6. Lizunkin V. M., Lizunkin M. V., Sosnovskaya E. L., Beydin A. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 201–206.

7. Lizunkin V. M., Lizunkin M. V., Sosnovskaya E. L., Beydin A. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 207–215.

8. Lizunkin M. V., Beydin A. V., Shurygin S. V. *Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologiya proizvodstvennykh protsessov: XIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: sbornik statey*, ch. I (Kulagin's Lectures on Technique and Technology of Production Processes: The 16th International Scientific–Practical Conference Proceedings: collection of articles, part I), Chita, ZabGU, 2014, pp. 36–40.

9. Lizunkin M. V., Beydin A. V. *Geomekhanika v gornom dele: doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem 4–5 iyunya 2014 g.* (Geomechanics in mining; Proceedings of All-Russian Scientific-Technical Conference with International Partnership, June 4–5, 2014), Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2014, pp. 30–38.