

УДК 622.349.5:622.722

## КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ БЕДНОБАЛАНСОВЫХ УРАНОВЫХ РУД\*



**А. А. МОРОЗОВ,**  
директор по науке, технологическому  
и инновационному развитию,  
канд. техн. наук,  
ПАО «ППГХО», Краснокаменск, Россия



**В. М. ЛИЗУНКИН,**  
проф.,  
д-р техн. наук



**П. Б. АВДЕЕВ,**  
проф.,  
д-р техн. наук



**М. В. ЛИЗУНКИН,**  
доцент, канд. техн. наук,  
LMV1972@mail.ru

*Забайкальский государственный университет, Чита, Россия*

### Введение

В настоящее время в ПАО «ППГХО» богатые руды практически отработаны. Значительные объемы ( $\approx 6-7$  млн т руды) сосредоточены в беднобалансовых запасах и техногенных отвалах от предыдущей отработки.

Применяемая технология добычи руды с использованием системы разработки горизонтальными слоями с нисходящей выемкой, твердеющей закладкой и переработкой на гидрометаллургическом заводе (ГМЗ) для получения урана убыточна.

В связи с этим целью настоящей работы являлась разработка эффективной технологии добычи и переработки, которая позволила бы рентабельно обрабатывать такие руды.

### Разработка и обоснование параметров комплексной технологии отработки бедных урановых руд

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта отработки скальных руд, в том числе урановых, а также результатов научных исследований была разработана технологическая схема добычи урановых руд, включающая подземное выщелачивание (ПВ) бедных руд, рудоподготовку урановых руд для кучного выщелачивания и кучное выщелачивание (КВ) (рис. 1) [1–4].

Подземное выщелачивание осуществляется в данном случае для отработки подкарьерных запасов Тулукуевского месторожде-

Приведено описание разработанной комплексной технологии отработки урановых руд, включающей блочное подземное выщелачивание бедных руд, рудоподготовку урановых руд для кучного выщелачивания и кучное выщелачивание. Обоснованы эффективные технологические схемы подготовки и отработки блоков для различных горно-геологических и горнотехнических условий.

**Ключевые слова:** комплексная технология, беднобалансовые руды, блочное подземное выщелачивание, кучное выщелачивание, рудосортировка, рентгенорадиометрическая сепарация, технологические схемы, параметры, эффективность.

**DOI:** 10.17580/gzh.2018.07.08

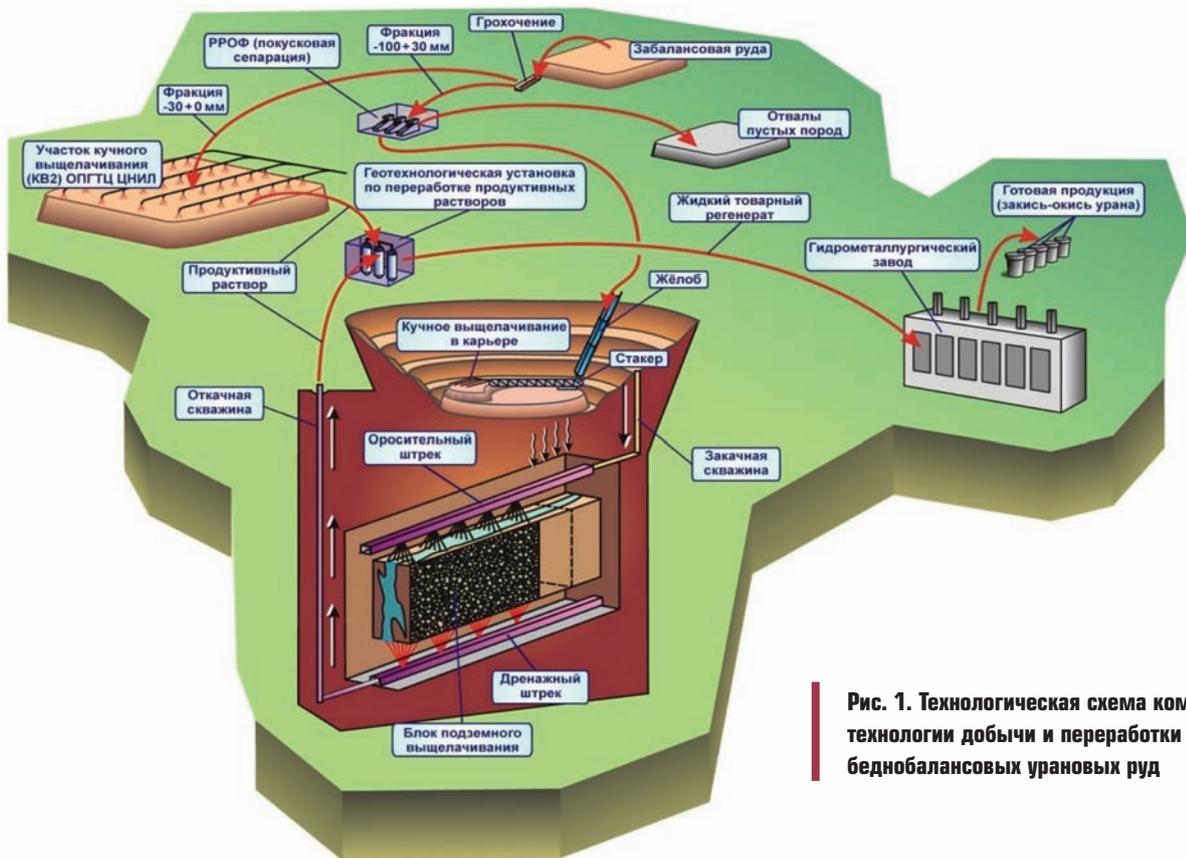
ния. Используется метод блочного подземного выщелачивания (БПВ) с последующим размещением на дне карьера и переработкой методом КВ бедной руды, отсортированной из забалансовых отвалов и текущей добычи на участке рудоподготовки. При этом штабель КВ, сформированный на уже переработанных методом БПВ рудах, постепенно наращивают. Улавливание продуктивных растворов КВ происходит на гидроизолирующем основании штабеля с дальнейшей их доставкой по скважине до приемного растворосборника, расположенного в шахте. Подобное решение позволит уменьшить затраты на рекультивацию карьера «Тулукуй», а также снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Участок рудосортировки включает самостоятельные передвижные узлы, которые могут объединяться в единую технологическую линию. Аппаратурная схема участка включает: передвижной узел сортировки исходного сырья по линейному размеру куска на вибрационном грохоте (рис. 2); передвижной узел рентгенорадиометрической сепарации на базе сепаратора СРФ4-150 (рис. 3); автомобильную рудоконтролирующую станцию; узел дробления кондиционных продуктов на базе конусной дробилки КМД.

Конечными продуктами участка рудосортировки являются:

- руда с содержанием урана более 0,06 %, дальнейшую переработку которой осуществляют по существующей на предприятии гидрометаллургической технологии;
- продукт с содержанием урана от 0,01 до 0,06 % (крупность  $-30+0$  мм), являющийся сырьем для участка КВ;
- порода с содержанием урана менее 0,01 % (крупность  $+100$  мм), которая служит для приготовления щебня при строительстве автомобильных дорог, а также в качестве наполнителя твердеющей закладочной смеси.

\* 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).



**Рис. 1. Технологическая схема комплексной технологии добычи и переработки беднобалансовых урановых руд**

Участок кучного выщелачивания состоит из штабеля общей массой около 1,5 млн т руды и установки по переработке растворов.

В процессе КВ на каждой стадии выпускают промежуточные продукты – продуктивные растворы и насыщенный сорбент. Конечной продукцией участка кучного выщелачивания является товарный регенерат или желтый кек, который вывозят специализи-

рованным автотранспортом на гидрометаллургический завод для дальнейшей переработки.

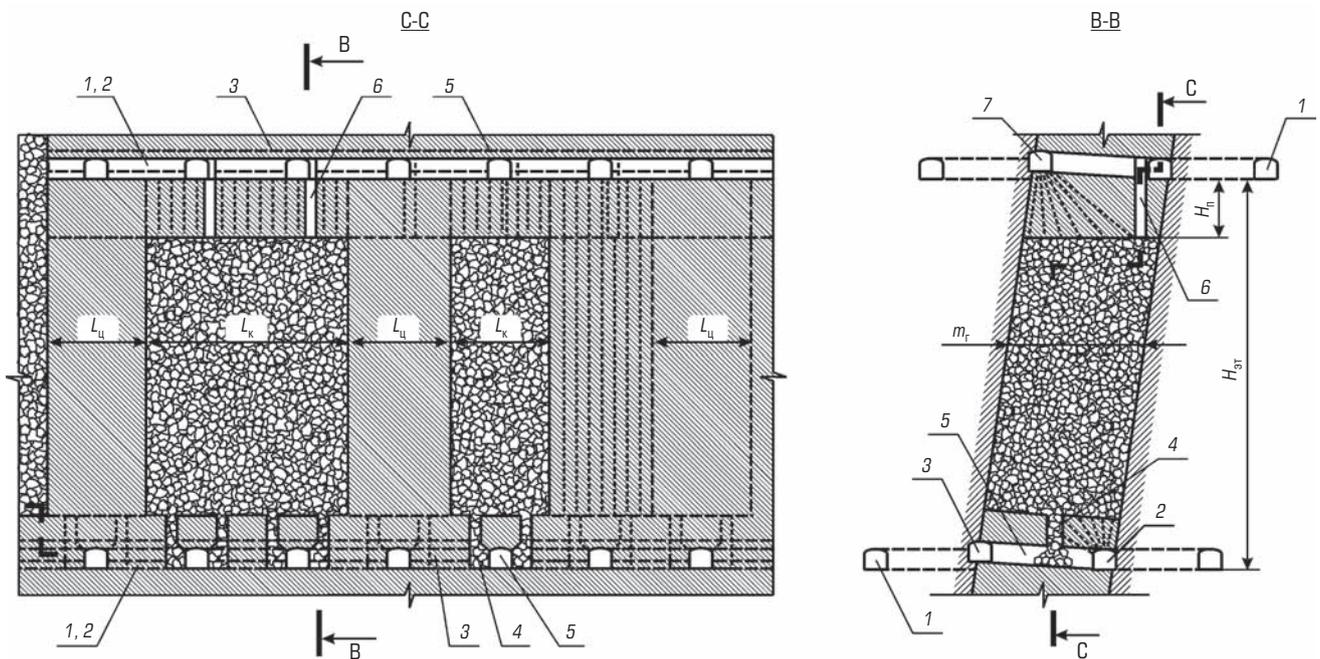
Принятые технико-технологические решения базируются на результатах проведенных исследований по оценке процесса сортируемости таких руд [5–7]. Кроме того, были проведены лабораторные исследования и опытно-промышленные испытания процесса выщелачивания отсортированных бедных руд, которые



**Рис. 2. Передвижной вибрационный грохот**

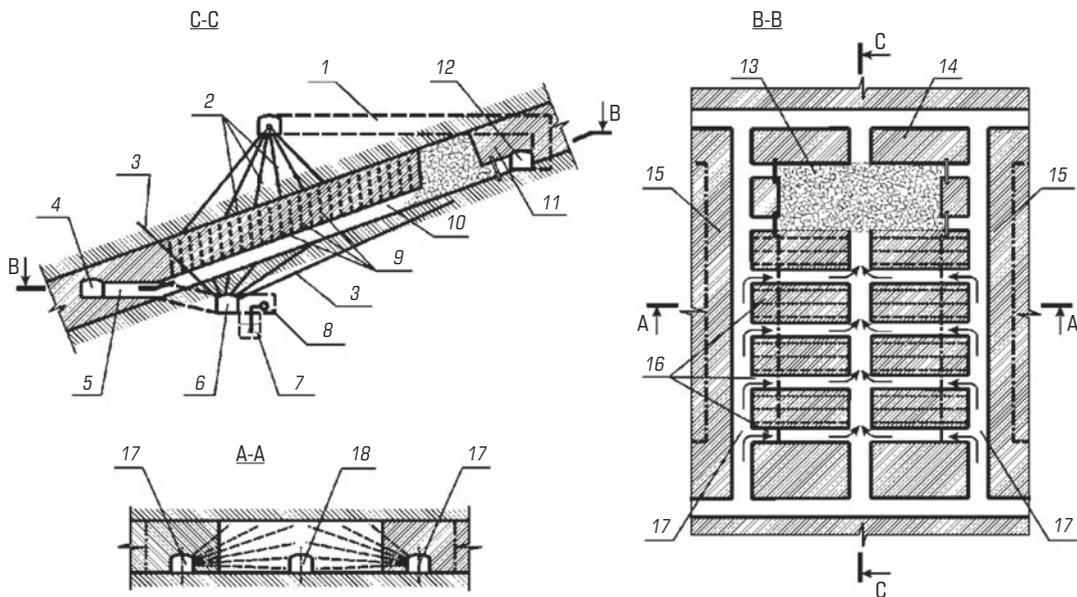


**Рис. 3. Передвижной узел рентгенометрической сепарации на базе сепаратора СРФ4-150**



**Рис. 4. Технологическая схема подготовки блока к подземному выщелачиванию на крутопадающих рудных телах средней мощности и мощных:**

1 – полевой штрек; 2 – буродренажный штрек; 3 – буровой штрек; 4 – рудоприемные выработки; 5 – заезды; 6 – рудоперепуск; 7 – оросительный штрек



**Рис. 5. Технологическая схема подготовки блока к подземному выщелачиванию на пологих рудных телах мощностью 3–15 м с углом падения до 20 °:**

1 – оросительный штрек; 2 – оросительные скважины; 3 – контрольная скважина; 4 – доставочный штрек; 5 – погрузочный заезд; 6 – дренажный штрек; 7 – растворосборник; 8 – насосная участка ПВ; 9 – взрывные скважины; 10 – буровой восстающий; 11 – потолочина; 12 – вентиляционный восстающий; 13 – камера; 14 – потолочина; 15 – междукамерные целики; 16 – вентиляционные сбойки; 17 – вентиляционно-буровой восстающий; 18 – доставочный восстающий

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

Напряжение	Глубина разработки, м	Теоретическое напряжение (по гипотезе А. Гейма), МПа	Результаты натуральных измерений напряжений горных массивов			
			Число единичных определений напряжения	Напряжение, МПа ± предельное отклонение	Отношение продольного напряжения к вертикальному $\sigma_{пр}/\sigma_v$	Отношение поперечного напряжения к вертикальному $\sigma_{п}/\sigma_v$
<i>Стрельцовское месторождение (участки Западный и Глубинный)</i>						
Вертикальное	300	-7,4	45	-7,4±0,7		
Продольное		-7,4	20	-11,8±1,2	1,59	1,2
Поперечное		-7,4	20	-8,9±2		
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		
Среднее для условий Стрельцовского месторождения					1,11	0,92
<i>Месторождение Юбилейное</i>						
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		
<i>Месторождение Мало-Тулукуевское</i>						
Вертикальное	450	-11,8	43	-11,8±1,8		
Продольное		-11,8	24	-17,5±2	1,48	1,58
Поперечное		-11,8	24	-18,6±3,5		
<i>Месторождение Антей</i>						
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

позволили установить рациональные режимы и параметры, обеспечивающие максимальное извлечение урана.

Переход на высокопроизводительные системы как в процессе основной добычи по физико-технической геотехнологии, так и при блочном подземном выщелачивании вызвал необходимость решения трех основных задач.

1. Обоснование эффективных технологических схем подготовки блоков для блочного подземного выщелачивания руд в различных горно-геологических и горнотехнических условиях (рис. 4, 5) [8].

2. Обоснование рациональных схем бурения и взрывания скважин в отбиваемом массиве и параметров буровзрывных работ, которые позволят обеспечить требуемое качество дробления руды ( $50 < d_{ср} < 150$  мм).

В результате выполнения этих задач рекомендованы отбойка руды веерными скважинами (при мощности  $m$  более 3–5 м), параллельными и параллельно сближенными (при  $m$  до 3–5 м). При этом диаметр скважины должен быть преимущественно 50–80 мм. Допускается (при мощности рудного тела 5–10 м и более) использовать скважины диаметром 100–105 мм.

Рекомендованные на основе теоретических исследований схемы и параметры БВР испытаны в шахтных условиях на подземном руднике № 1 ПАО «ППГХО» при отработке запасов по системе подэтажных штреков (отработаны блоки 4Д-809, 4Д-705, добыто около 150 тыс. т руды). Испытания показали удовлетворительную сходимость теоретических и практических результатов.

3. Определение устойчивых размеров конструктивных элементов систем разработки (длина и ширина камер и целиков). Для этого на первом этапе были проведены широкомасштабные натурные исследования методом целевой разгрузки по методике Института горного дела УрО РАН [9] (месторождения Юбилейное, Стрельцовское (участки Западный и Глубинный), Антей и Мало-Тулукуевское) по установлению характера изменения природных напряжений в массиве горных пород. По их результатам установлены соотношения между вертикальными, горизонтальными продольными и поперечными напряжениями (см. таблицу) [10].

С использованием полученных результатов теоретическими расчетами [11] и математическим моделированием методом конечных элементов по программному комплексу FEM, разработанному докт. техн. наук О. В. Зотеевым (ИГД УрО РАН), определены устойчивые размеры камер и целиков для различных условий.

Кроме того, посредством теоретических расчетов, натуральных исследований и математического моделирования методом конечных элементов выполнена оценка устойчивости бортов карьера «Тулукуй», в котором предусматривается размещение и кучное выщелачивание отсортированной руды [12]. Полученные результаты подтвердили техническую возможность использования карьерного пространства для подземного блочного выщелачивания запасов и КВ отсортированной руды.

### Заключение

Выполненные работы позволили разработать ряд проектов на опытно-промышленные испытания и внедрение новой технологии, в частности:

- проект реконструкции геотехнологической установки (ГТУ) для приготовления рабочих и переработки продуктивных растворов;
- проект кучного выщелачивания отсортированной руды на промышленной площадке рудника № 8;

- проект подземного блочного выщелачивания подкарьерных запасов Тулукуевского месторождения.

Внедрение комплексной технологии позволило улучшить показатели работы предприятия благодаря:

- расширению сырьевой базы предприятия (вовлечение в добычу и переработку бедных забалансовых и отвальных руд);
- повышению на 5 % сквозного извлечения урана;
- росту на 10 % объемов выпускаемой готовой продукции;
- снижению на 6 % себестоимости производства урана в закись-окиси и увеличению на 20 % чистой прибыли.

За 2013–2015 гг. было переработано 1064374 т руды из отвалов, получено 178,783 т металла и реализовано продукции более чем на 350 млн руб.

### Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYY ZHURNAL», 2018, № 7, pp. 44–48  
DOI: 10.17580/gzh.2018.07.08

#### Integrated technology of mining and processing for low-grade economic uranium ore reserves

##### Information about authors

**A. A. Morozov**<sup>1</sup>, Director of Science, Technology and Innovative Development, Candidate of Engineering Sciences

**V. M. Lizunkin**<sup>2</sup>, Professor, Doctor of Engineering Sciences

**P. B. Avdeev**<sup>2</sup>, Professor, Doctor of Engineering Sciences

**M. V. Lizunkin**<sup>2</sup>, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, LMV1972@mail.ru

<sup>1</sup> Priargunsky Mining and Chemical Works, Krasnokamensk, Russia

<sup>2</sup> Transbaikal State University, Chita, Russia

##### Abstract

Priargunsky Mining and Chemical Works has actually depleted high-grade ore reserves. Considerable uranium reserves are contained in low-grade economic ore and in mining waste. The current mining technology of downward horizontal slicing with cemented backfill and hydrometallurgical processing is unprofitable in uranium extraction from the mentioned materials.

In this connection, based on the analysis of the domestic and international practices of hard ore extraction and using the scientific research findings, a new uranium ore production flow chart is developed, including in-situ leaching (ISL), pretreatment before heap leaching and heap leaching (HL). ISL is implemented in extraction of ore reserves from open pit mine bottom in the Tulukui deposit. Low-grade ore from waste dumps of the ore pretreatment site is placed on the open pit mine bottom and subjected to HP. Pretreatment before heap leaching includes grading of economic reserves from old dumps and current mining.

Furthermore, the calculations are performed to substantiate: efficient process flow charts for preparation and extraction of ore blocks in different geological and geotechnical conditions at acceptable mining cost; rational drilling and blasting designs ensuring the wanted quality of ore fragmentation; stable dimensions of structural elements of mining systems. Thereupon, a series of projects on semi-commercial testing and introduction of the new technology are developed. Implementation of the integrated technology improves mining performance.

The study was supported by the Government of the Russian Federation (Ministry of Education and Science) in the framework of the integrated high-tech production engineering project: Creation of integrated mining technology for low-grade economic uranium ore.

**Keywords:** integrated technology, low-grade economic ore, in-situ leaching, heap leaching, ore grading, X-ray radiometric separation, process flow charts, parameters, efficiency.

##### References

1. Tan K., Li C., Liu J., Qu H., Xia L. et al. A novel method using a complex surfactant for in-situ leaching of low permeable sandstone uranium deposits. *Hydrometallurgy*. 2014. Vol. 150. pp. 99–106.
2. Niyetbayev M., Yermilov A., Avdassyov I., Pershin M. The methods for performance improvement of technological wells at in-situ uranium leaching. *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. p. 81.
3. Revuelta M. B. *Mineral Resources: From Exploration to Sustainability Assessment*. Cham: Springer, 2018. 653 p.
4. Gajda D., Kiegiel K., Zakrzewska-Koltuniewicz G., Chajduk E., Bartosiewicz I., Wolkowicz S. Mineralogy and uranium leaching of ores from Triassic Peribaltic sandstones. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015. Vol. 303, Iss. 1. pp. 521–529.
5. Ovseichuk V. A., Kutuzov V. I., Podoprigora V. E., Morozov A. A. Algorithms for planned garmented uranium ore separation by the X-ray radiometric method. *Vestnik Zabaikalskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 01 (116). pp. 44–49.
6. Ovseichuk V. A., Morozov A. A., Tirsky A. V., Podoprigora V. E. Dependence of X-ray radiometry gradability of uranium ore on the contrast range. *Vestnik Zabaikalskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. No. 7 (110). pp. 4–10.
7. Ovseichuk V. A., Morozov A. A., Tirsky A. V., Podoprigora V. E. Dependence of wagon uranium ore separation efficiency with X-ray radiometric methods on the average uranium content. *Vestnik Zabaikalskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. No. 9 (112). pp. 19–25.
8. Lizunkin M. V. Ore preparation for heap leaching in the Streltsovsky ore field. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten*. 2016. No. 3. pp. 297–305.
9. Vlokh N. P. *Ground Control in Underground Mines*. Moscow: Nedra, 1994. 208 p.
10. Lizunkin V. M. Research of natural stresses in the Streltsovsky ore field. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten*. 2016. No. 3. pp. 290–296.
11. Neganov V. P., Kovalenko V. I., Zaitsev B. M., Sosnovsky L. I. *Gold Ore Mining Technology*. Moscow: Nedra, 1995. 336 p.
12. Lizunkin V. M., Shurygin S. V., Lizunkin M. V., Beidin A. V. Evaluation of resistance of open pit side and structure by finite-element technique at the complex technology of mining poor-balanced uranium ore. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten*. 2015. No. 4. pp. 59–66.