

серебра — до 52 и 460 г/т при извлечении 28 и 55 % соответственно.

Таким образом, в результате исследований для обогащения руд Лермонтовского месторождения, характеризующихся повышенной сульфидной минерализацией, разработаны и рекомендованы к внедрению технологическая схема и реагентные режимы сульфидного и медного циклов. Показано, что для снижения потерь шеелита в сульфидном цикле необходимо введение двух перестиков объединенного сульфидного концентрата.

В настоящее время на предприятии осуществляется монтаж

схемы цепи аппаратов для проведения промышленных испытаний и последующего внедрения разработанной технологии. **ГМ**

*Саматова Луиза Андреевна,  
e-mail: samatova\_luiza@mail.ru  
Шепета Елена Дмитриевна,  
e-mail: Elenashepeta56@mail.ru  
Воронова Ольга Васильевна,  
e-mail: Olga-vo@mail.ru*

**TO THE PROBLEM OF COMPLEX USE OF SCHEELITE ORES OF LERMONTOVSKOE DEPOSIT**

**Samatova L. A.**<sup>1</sup>, Head of Laboratory, Candidate of Engineering Sciences  
**Shepeta E. D.**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences  
**Voronova O. V.**<sup>1</sup>, Researcher

<sup>1</sup> Institute of Mining of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Khabarovsk, Russia)

The paper shows the results of investigations of possibility of increasing of complexity of raw material use in the time of dressing of Lermontovskoe deposit ores. Nowadays, scheelite concentrate is the only one product of ore-dressing plant of Lermontovskaya mining company. However, scheelite-skarn-sulfide ores can be productive not only because of tungsten but also because of copper, gold, silver, bismuth and sulfur. Amphibole akarns demonstrate the highest effect of sulfidation, during which amphibole was gradually substituted by pyrrhotite and chalcopyrite.

Investigation involved high-sulfide ores of North-West open pit and currently mined ores of Central open pit. There were developed a scheme and several ways of reagent regimes of sulfide cycle with butyl xanthogenate and IMA-I 413 (ИМА-И 413) aerofloat, used as collectors. Three perspective regimes of main sulfide cycle were sorted out. A comparison study on sulfide minerals flotability gave preference to IMA-I 413 flotation agent rather than xanthogenate for arsenopyrite extraction.

The investigations resulted in the development of scheme and reagent of sulfide concentrate selection, providing a final copper concentrate, where gold and silver were observed. For decreasing of arsenic content in the concentrate, iron vitriol medium was offered for copper selection.

**Key words:** scheelit-sulfide ores, flotation, flotation agents, selectivity, sulfide minerals, copper selection, copper concentrate.

УДК 622.234.42:622.349.5

**В. Ю. КОЛЬЦОВ, Д. И. КРИНОВ, И. В. КУЗНЕЦОВ** (ОАО «ВНИИХТ»)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ОКОМКОВАНИИ УРАНОВЫХ РУД ПЕРЕД ИХ КУЧНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ



**В. Ю. КОЛЬЦОВ,**  
начальник отдела,  
канд. техн. наук



**Д. И. КРИНОВ,**  
начальник лаборатории,  
канд. геол.-минерал. наук



**И. В. КУЗНЕЦОВ,**  
научный сотрудник

### Введение

В настоящее время с целью повышения извлечения урана и сокращения времени отработки бедных и забалансовых руд наиболее рентабельным является метод кучного выщелачивания (КВ).

Наряду с явными экономическими преимуществами перед другими методами КВ имеет ограничения по типу перерабатываемого сырья. Для реализации процесса необходимо обеспечить достаточную проницаемость руд выщелачивающим раствором и эффективную диффузию раствора к поверхности минералов-носителей урана и перемещение продуктов реакции [1]. Крупность материала, укладываемого в штабель, определяется условием свободного прохождения (8–12 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)) раствора в объеме штабеля, течение всего времени его отработки. Обычно крупность руды составляет 50–70 мм. Дробление до меньшей крупности

Приведены результаты исследований в ОАО «ВНИИХТ» пробы урансодержащей руды месторождения Горное. Разработан способ подготовки рудного материала к кучному выщелачиванию, позволяющий значительно сократить время выщелачивания типового сырья. При окомковании измельченной руды с использованием серной кислоты происходит гетерогенная химическая реакция в слое твердого материала при соотношении фаз, близком к стехиометрически необходимому. При окомковании серная кислота выступает также в качестве связующего компонента. Показано, что при окомковании руд с серной кислотой значительно сокращается время отработки штабелей и повышается извлечение металла.

**Ключевые слова:** уран, кучное выщелачивание, серная кислота, окомкование.

© Кольцов В. Ю., Кринов Д. И., Кузнецов И. В., 2014

приводит к увеличению содержания класса  $-1$  мм, что значительно снижает проницаемость штабеля [2].

В то же время известно, что чем меньше размер материала, подвергаемого выщелачиванию, тем короче срок выщелачивания и выше извлечение ценного компонента [3].

В ОАО «ВНИИХТ» разработан способ подготовки рудного материала к КВ, позволяющий значительно сократить время выщелачивания. При окомковании измельченного рудного материала с использованием серной кислоты происходит гетерогенная химическая реакция при соотношении фаз, близком к стехиометрически необходимому. При окомковании серная кислота выступает также в качестве связующего компонента. При этом происходит закисление рудного материала еще на этапе формирования штабеля. Указанный способ окомкования дает возможность перерабатывать методом КВ даже высокоглинистое сырье.

Подготовка рудного материала крупностью  $-20$  мм к КВ заключается в его окомковании с необходимым для выщелачивания урана количеством серной кислоты. Процесс проводится в окомкователе барабанного типа как достаточно простом аппарате, устойчивом к колебаниям свойств материала. При необходимости в процессе окомкования руду шихтуют с твердым окислителем (в зависимости от восстановительной емкости).

**Объект исследования**

В экспериментах использовали алюмофосфатно-силикатную урановую руду месторождения Горное (среднее содержание урана 0,15 %), расположенного в Читинской области Минеральный состав руды (%) приведен ниже (Михайлова, Минаева и др.).

Кварц	43,2
Калиевые полевые шпаты (микроклин, ортоклаз)	13,3
Плагиоклаз (олигоклаз)	10,3
Слюды (биотит, мусковит, серицит)	6,1
Глинистые минералы (монтмориллонит, гидрослюды, каолинит)	11,9
Цеолиты	7,7
Флюорит	1,76
Карбонаты (кальцит)	0,35
Магнетит, гематит, гидроксиды железа	1,1
Сульфиды (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит и др.)	Меньше 1
Урановые минералы:	
фосфаты (отенит, метаотенит)	0,11
силикаты (уранофан, бета-уранотил)	0,08
оксиды (настуран, урановые черни)	Ед. зн.
другие	Меньше 1

**Описание экспериментальной установки**

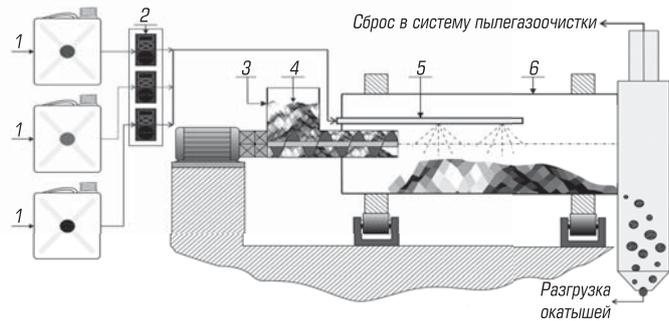
Для проведения испытаний в качестве основного аппарата был выбран окомкователь, оснащенный электрообогревом. Ха-

рактеристика окомкователя приведена ниже.

Размеры барабана, м:

длина	1,1
диаметр	0,416
Угол наклона барабана, град	0–2
Число оборотов барабана, мин <sup>-1</sup>	До 60
Производительность по руде, кг/ч	До 50

Схема установки для окомкования представлена на рис. 1, а ее внешний вид — на рис. 2.

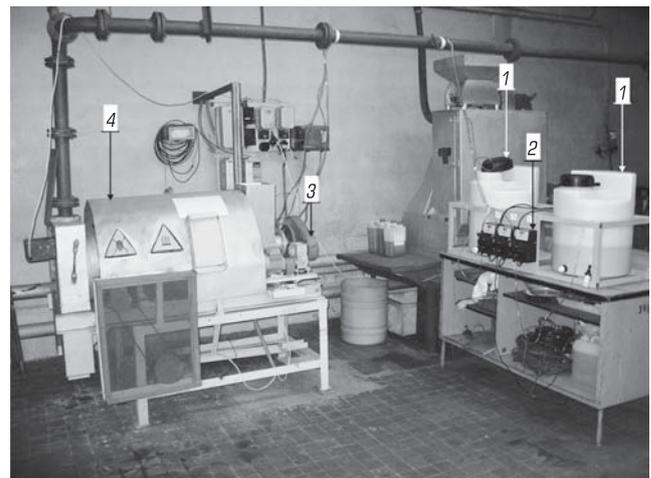


**Рис. 1. Установка окомкования:**

1 — емкости с реагентами; 2 — мембранные насосы DLX-01; 3 — шнековый питатель; 4 — рудный материал; 5 — оросительная гребенка; 6 — вращающийся барабан

В ходе экспериментов исходный продукт шнековым питателем загружали во вращающийся барабан. Одновременно из реактентного блока насосами в барабан подавали серную кислоту и воду. Смешивание кислоты с водой происходит в системе охлаждения (в холодильнике). Влажные гранулы (окатыши) самотеком через камеру разгрузки поступали в накопительный бункер.

Образующиеся в процессе окомкования газы проходили через систему очистки, которая состояла из скруббера, орошаемо-



**Рис. 2. Внешний вид установки окомкования руды:**

1 — емкость с реагентами; 2 — мембранные насосы; 3 — шнековый питатель; 4 — вращающийся барабан в защитном кожухе

**Таблица 1. Характеристика сортов руды**

Номер пробы	Сорт руды	Содержание урана, %
1	Бедная	0,084
2	Рядовая	0,142
3	Богатая	0,29
4	То же	0,39

го щелочным раствором. После корректировки кислотности плотительного раствора в зумпфе его возвращали насосом в систему орошения.

Барабан окомкователя представляет собой стальной корпус, внутренняя поверхность которого футерована шамотным кирпичом, и установлен на роликовых опорах. Одна пара опор служит приводом и дает возможность регулировать число оборотов.

Число оборотов барабана задают в зависимости от свойств материала и требуемого размера окатышей.

Укрупненная установка КВ состоит из набора цилиндрических поликарбонатных колонн диаметром 0,15 м различной высоты с прозрачными стенками. Каждая колонна имеет фальшьдно и нижний слив с вентилем. Выщелачивающие растворы подаются в верхнюю часть колонн дозирующими насосами DME 8/10 фирмы Grundfos производительностью до 2 дм<sup>3</sup>/ч. Продуктивные растворы, прошедшие через слой рудного материала через нижний слив самотеком поступают в приемные емкости.

### Экспериментальная часть

Исходную руду номинальной крупностью –80 мм усредняли и направляли на радиометрическое обогащение, в ходе которого

**Таблица 2. Параметры загрузки колонн и условия экспериментов по КВ**

Номер пробы	Высота слоя, м	Крупность пробы, мм	Содержание U, %	Масса пробы, кг	Влажность, %	Плотность орошения, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)
1	1	–35	0,06	20	3,4	5
2	1	–35	0,134	24	3,8	5
3	1	–35	0,249	24,4	2,8	5
4	1	–35	0,39	21,6	1,8	5
4 (окатыши)	0,85	–10	0,39	10,6	6	10

**Таблица 3. Результаты выщелачивания руды месторождения Горное**

Номер пробы	Ж:Т		Извлечение, %	Расход кислоты, кг/т		Средняя концентрация U, мг/дм <sup>3</sup>
	ко времени завершения опыта	к моменту достижения 80%-ного извлечения		ко времени завершения опыта	к моменту достижения 80%-ного извлечения	
1	1,83	0,79	89,9	20,5	14,01	295
2	2,75	0,86	93,7	24,21	13,01	457
3	4,46	1,06	97,7	29,8	7,61	545
4	5,1	12,6	39,2	69,2	80,21	299
4 (окатыши)	1,48	0,15	98,9	8,4	2,17	2606

были наработаны продукты, соответствующие четырем сортам руды (бедной, рядовой, богатой), характеризующиеся различным содержанием урана (табл. 1).

После РМО все 4 сорта руды раздробили до крупности –35 мм.

Для эксперимента по окомкованию часть богатого сорта, содержащего 0,39 % урана, раздробили до крупности –10 мм. Условия и результаты эксперимента по окомкованию представлены ниже.

*Руда:*

<i>масса пробы, кг</i>	10
<i>содержание урана, %</i>	0,39
<i>крупность, мм</i>	Менее 10

*Расход связующих, кг/т:*

<i>воды</i>	70
<i>94%-ной серной кислоты</i>	55

*Окатыши:*

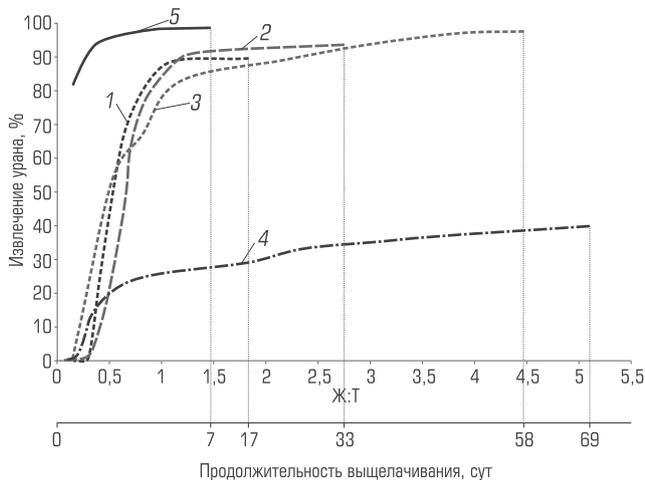
<i>предел прочности на сжатие, кг/см<sup>2</sup></i>	Более 10
<i>масса после вылеживания, кг</i>	10,6

Полученные окатыши и пробы руды разных сортов загружали в колонны и подвергали выщелачиванию. Параметры загрузки колонн и условия эксперимента представлены в табл. 2. Перед началом выщелачивания колонны заводняли технической водой. На орошение обогащенного рудного материала для закисления подавали выщелачивающий раствор, содержащий 20 г/л серной кислоты, а на стадии выщелачивания — 5–7 г/л. В варианте с выщелачиванием окатышей, которые уже были закислены в ходе окомкования, сразу подавали выщелачивающий раствор (содержание серной кислоты 5–7 г/л).

В ходе выщелачивания один раз в сутки из колонны отбирали продуктивный раствор, определяли концентрацию урана и остаточной кислоты.

Технологические показатели выщелачивания урана из окомкованной пробы и руды различной крупности приведены в табл. 3.

Зависимость извлечения урана от величины Ж:Т представлены на рис. 3. Как видно, медленнее всего уран извле-



**Рис. 3. Зависимость извлечения урана от соотношения Ж:Т при выщелачивании различных проб:**

1 — 1; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — 4 (окатыши)

кается из богатых продуктов РМО (проба 4), что связано с присутствием крупных выделений урановых минералов. Однако в опыте с окомкованным материалом из богатых продуктов РМО (проба 4) извлечение урана достигает 98,9 %. При этом основной технологический показатель — соотношение Ж:Т — в этом опыте минимальное — 1,48. Время отработки пробы сократилось с 69 до 7 сут.

Хорошие показатели выщелачивания окомкованного материала связаны с тем, что при окомковании используют концентрированную серную кислоту, и уже в окатышах проходит реакция образования растворимого сульфата уранила ( $UO_2SO_4$ ), который при обработке подкисленной водой прекрасно выщелачивается. При выщелачивании неокомкованного (исходного) материала сначала должен пройти процесс диффузии серной кислоты к

урансодержащему минералу, и только после этого образуется растворимый сульфат уранила. В связи с этим увеличивается время выщелачивания и соотношение Ж:Т.

### Выводы

Таким образом, кучное выщелачивание окомкованной руды дает возможность:

- сократить время отработки штабеля и съема товарных растворов;
- за счет снижения соотношения Ж:Т уменьшить объем продуктивных, оборотных и, соответственно, сбросных растворов;
- существенно увеличить извлечение урана;
- повысить эффективность отработки способом кучного выщелачивания руд, содержащих глинистые минералы.

### Библиографический список

1. Шаталов В. В. История подземного и кучного выщелачивания урана и перспективы дальнейшего развития направления в России. — М.: Руда и металлы, 2005. Т. 1. Уран. — С.15–22.
2. Волощук С. Н. Кучное и подземное выщелачивание металлов. — М.: Недра, 1982. — 113 с.
3. Водлазов Л. И., Дробаденко В. П. и др. Геотехнология. Кучное выщелачивание бедного минерального сырья. — М.: МГТА, 2000. — 300 с. **ПЖ**

Кольцов Василий Юрьевич,  
e-mail: basilik@yandex.ru

Кринов Дмитрий Игоревич,  
e-mail: krinov67@mail.ru

Кузнецов Иван Владимирович,  
e-mail: ivan7501966@mail.ru

### USE OF SULFURIC ACID IN THE TIME OF PELLETIZATION OF URANIUM ORES BEFORE THEIR HEAP LEACHING

Koltsov V. Yu.<sup>1</sup>, Head of Department, Candidate of Engineering Sciences, e-mail: basilik @ yandex.ru

Krinov D. I.<sup>1</sup>, Head of Laboratory, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

Kuznetsov I. V.<sup>1</sup>, Researcher

<sup>1</sup> All-Russian Scientific-Research Institute of Chemical Technologies (Moscow, Russia)

Heap leaching is one of the most economically efficient and localized methods of processing of various ores, including poor and off-balance uranium-containing ores.

Together with this, the method is limited by the type of raw materials. For example, in the time of processing of clay raw materials, there appeared the problems, substantiated by colmatage (silt) of material, which leads to decreasing of water permeability of ore pile and extraction of leaching process.

This article gives the results of researches, carried out on the sample of uranium-containing ore of Gornoe deposit both in laboratory, and in large scales. All-Russian Scientific-Research Institute of Chemical Technologies developed a method of preparation of ore material and heap leaching, which allows to decrease the time of standard raw materials leaching significantly. The method is concluded in grinding of initial material to defined coarseness and its pelletizing in sulfuric acid solution. At the same time, there happens the heterogenous chemical reaction in material layer with minimal rate of phases (close to stoichiometrically required rate). At the same time, sulfuric acid is a joining component in the pelletization time. During interconnection of acid with rock constituents, there are formed new compounds, which form stable water- and acid-resistant frame during the following aging of pellets. There is shown, that pelletization of ores with sulfuric acid significantly decreases the pile processing time and increases the metal extraction. For example, uranium extraction for rich radiometric separation product does not reach 50% even with the ratio of L:S = 5, when almost complete extraction for pelletized material with same composition has already been reached with the ratio of L : S = 1.5.

**Key words:** uranium, heap leaching, sulfuric acid, pelletization.

### REFERENCES

1. Shatalov V. V. *Istoriya podzemnogo i kuchnogo vyshchelachivaniya urana i perspektivy dalneyshego razvitiya napravleniya v Rossii. Tom 1. Uran* (History of underground and heap leaching of uranium and prospects of further development of methods in Russia. Volume 1. Uranium). Moscow : Ore and Metals, 2005, pp. 15 – 22.
2. Voloshchuk S. N. *Kuchnoe i podzemnoe vyshchelachivanie metallov* (Heap and underground leaching of metals). Moscow : Nedra, 1982, 113 p.
3. Vodolazov L. I., Drobadenko V. P. et al. *Geotekhnologiya. Kuchnoe vyshchelachivanie bednogo mineralnogo syrja* (Geotechnology. Heap leaching of poor mineral raw materials). Moscow : Moscow State Geological-Prospecting Academy, 2000, 300 p.