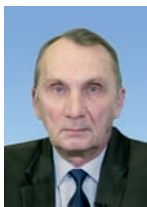


УДК 661.879

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОГО СИЛИКАТНОГО И КАРБОНАТНОГО УРАН-МОЛИБДЕНОВОГО РУДНОГО СЫРЬЯ



К. М. СМЕРНОВ,
начальник отделения
«Комплексная переработка
минерального сырья»,
канд. техн. наук



Т. В. МОЛЧАНОВА,
начальник лаборатории
«Технологии ионного
обмена»,
канд. техн. наук



О. К. КРЫЛОВА,
начальник лаборатории
«Технологии выщелачивания
и разделительных
процессов»,
lab-v-1@vniit.ru

АО «ВНИИХТ», Москва, Россия

Введение

В последние годы возрос интерес российских и зарубежных специалистов к проблеме более полного извлечения полезных компонентов из комплексного минерального сырья. В этом направлении достигнут ряд теоретических и практических результатов [1–12].

В настоящее время существует необходимость скорейшего освоения отечественного производства урана и молибдена из карбонатного сырья, занимающего значительный удельный вес по запасам урана [13, 14]. Решение проблемы комплексного извлечения урана и молибдена осложняется как разной стоимостью, так и различиями в гидрометаллургии этих элементов, в связи с чем актуально изыскание рентабельных схем переработки уран-молибденовых руд применительно к условиям гидрометаллургического завода ПАО «ППГХО».

В промышленной практике в качестве растворителей урана применяют растворы серной кислоты и карбоната натрия [15]. Выбор кислотной или карбонатной схемы выщелачивания зависит от содержания в руде кислотоёмких минералов-карбонатов или хлоритов. При высоком содержании данных минералов используют карбонатную схему. Оптимальное извлечение урана, как правило, достигается при избыточной карбонатности 15–35 г/дм³ и бикарбонатности 1–5 г/дм³.

В процессе выщелачивания при действии на урановую руду карбонатных реагентов (карбоната или бикарбоната натрия, карбоната аммония) уран переходит в раствор в форме комплексной соли уранила. Растворимость соединений шестивалентного урана в карбонатных и бикарбонатных средах объясняется образованием весьма устойчивого анионного комплекса уранилтрикарбоната $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$, константа образования которого равна $6 \cdot 10^{22}$.

Приведены варианты карбонатного выщелачивания металлов и разные подходы к сорбционной переработке пульпы после выщелачивания урана и молибдена с применением различных ионитов. Предложена технология совместной переработки силикатных и карбонатных руд по единой сорбционной схеме, позволяющей достичь практически полного извлечения и разделения урана и молибдена из растворов и пульпы после выщелачивания уран-молибденовых руд.

Ключевые слова: уран, молибден, карбонатные руды, силикатные руды, автоклавное выщелачивание, сорбция, иониты.

DOI: 10.17580/gzh.2018.07.11

Поскольку для рудных щелоков наиболее характерно соотношение $CO_3^{2-}:UO_2^{2+} \gg 3:1$, то в процессе сорбционного извлечения урана из карбонатных сред приходится иметь дело именно с трикарбонатным комплексом уранила. Исследования водных растворов карбонатов уранила подтвердили существование только двух типов комплексов – дикарбонатного и трикарбонатного [16].

При карбонатном выщелачивании комплексных уран-молибденовых руд вместе с ураном в раствор переходит молибден в виде растворимых молибдатов. Форма существования молибдена в растворе в значительной степени определяется концентрацией ионов водорода. В интервале $pH = 6,5 \div 14$ молибден в растворе находится в виде простого молибдат-иона MoO_4^{4-} , а при $pH \leq 6,5$ последний переходит в полимолибдат.

Основными источниками карбонатного сырья Стрельцовского рудного поля являются руды Аргунского и Жерлового месторождений с преобладанием двух основных типов: алюмосиликатного и карбонатного.

Карбонатные урановые руды характеризуются повышенным содержанием (7–9 %) гидрослюд, каолинита, монтмориллонита, причем содержание их увеличивается с глубиной. В силикатных рудах содержание гидрослюд резко преобладает над содержанием каолинита, монтмориллонита. В молибденитовых наоборот, каолинит, монтмориллонит преобладают над гидрослюдами (18,6 и 5 % соответственно).

Технологические исследования процессов селективного извлечения урана и молибдена из комплексного минерального сырья

Для разработки технологической схемы извлечения ценных компонентов – урана и молибдена опробованы несколько вариантов карбонатного выщелачивания, применяемых в промышленности, а

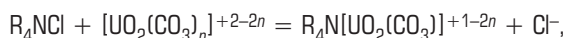
именно: выщелачивание при атмосферном давлении, автоклавное выщелачивание при повышенных температурах, переработка с применением окислителей и катализаторов окисления. В работе использовали высококарбонатную молибден-урановую руду Аргунского (0,25 % U и 0,1 % Mo) и Жерлового месторождений.

Упорность карбонатных руд Аргунского месторождения объясняется изоморфной примесью циркония в основных урановых минералах – настуране и коффините [8]. К такому типу сырья относятся также руды месторождения Глубинное (Казахстан). Установлена корреляция между содержанием циркония в настуране и коффините и параметрами процесса выщелачивания. Критерием упорности уранового минерала с различным содержанием изоморфной примеси циркония принята исходная карбонатность, необходимая для получения извлечения урана в раствор на уровне ~95 %, при прочих равных условиях.

Между содержанием циркония в урановых минералах и исходной карбонатностью, необходимой для достижения извлечения урана в 95 %, установлена корреляционная зависимость, носящая параболический характер [17].

Вариант вскрытия карбонатных руд в пачуках с использованием окислителя обеспечил 90–94%-ное извлечение урана в раствор при продолжительности обработки пульпы 10–24 ч, температуре 80 °С, расходе $\text{Na}_2\text{CO}_3 \sim 30$ кг/т и KMnO_4 3–10 кг/т. Наиболее высокие показатели по извлечению урана и молибдена в раствор получены при автоклавном выщелачивании со следующими параметрами процесса: давление 12–14 атм, температура ~140 °С, время обработки пульпы 4–6 ч, исходная концентрация карбоната натрия 40–50 г/дм³, при этом степень извлечения урана и молибдена в раствор составила ≥ 96 %.

Формы существования урана и молибдена в карбонатной среде в виде анионного комплекса и простого аниона позволяют использовать для их извлечения сильноосновные аниониты типа АМП, АМ на основе стиролдивинилбензолъного сополимера, аминированных как триметиламином, так и пиридином. Химизм процесса можно описать следующей реакцией:



где n равно 2 или 3.

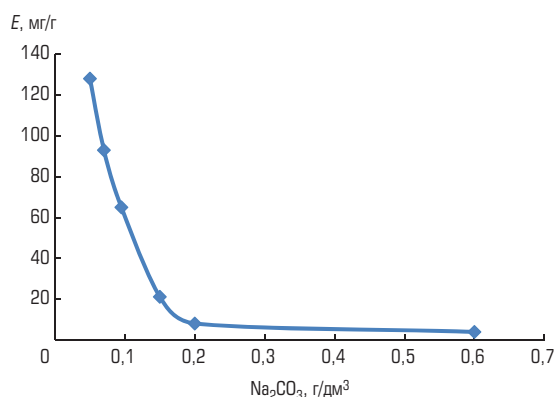


Рис. 1. Влияние концентрации карбоната натрия на сорбцию урана карбоксильными смолами

При сорбции урана и молибдена из карбонатных сред уран в сильной степени подавляет сорбцию молибдена, кроме того емкость четвертично-аммониевых смол по молибдену при обычных концентрациях карбоната и бикарбоната натрия в щелоках (30–50 г/дм³) весьма мала. Приемлемые показатели по сорбционному извлечению молибдена могут быть получены только из растворов с низкими концентрациями соды и урана, что учитывается при создании технологических схем.

В зависимости от свойств исходного сырья, форм нахождения целевых компонентов, наличия примесей-депрессоров и т. п. переработка пульпы после выщелачивания может быть осуществлена по нескольким вариантам: совместная сорбция и десорбция урана и молибдена с последующим сорбционно-экстракционным разделением элементов; отдельная сорбция металлов с последующим концентрированием и перечисткой индивидуальных десорбатов. Кроме того, возможен вариант создания кооперированной схемы переработки силикатных и карбонатных руд. В случае преобладания карбонатной руды совмещение процессов может оказаться рациональным с позиции общей интенсификации технологии.

При исследовании переработки карбонатных руд с применением карбоксильных смол присутствующие в растворе сульфат-, нитрат-, хлорид-ионы на процесс существенно не влияют. Другими преимуществами карбоксильных смол являются меньшие одновременные загрузки и, соответственно, меньшие капитальные затраты из-за значительно более высокой сорбционной емкости по урану.

Как известно, в карбонатных и бикарбонатных средах даже при небольших избыточных концентрациях карбонат-иона катионная форма урана практически отсутствует. На процесс сорбции урана наиболее сильное депрессирующее действие оказывает карбонат натрия. При повышении концентрации NaHCO_3 с 3 до 15 г/дм³ емкость катионита снижается с 240 до 40–50 мг/г (рис. 1, 2). Наличие в равновесном растворе 0,6 г/дм³ Na_2CO_3 при ~3 г/дм³ NaHCO_3 снижает емкость до 3–5 мг/г, что подтверждено расчетами [18].

Поскольку по существующей на сорбционном переделе технологии переработки карбонатных пульп путем совместной сорбции

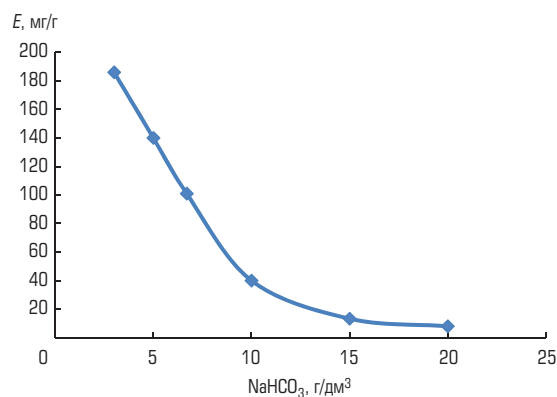


Рис. 2. Влияние концентрации бикарбоната натрия на сорбцию урана карбоксильными смолами

урана и молибдена на сильноосновных анионитах (АМ-п, Purolite А-500) извлечение молибдена не превышает 50 %, особенно в случае малых концентраций молибдена, предложена схема разделения данных компонентов на стадии первичной сорбционной переработки пульпы.

Изучено влияние pH раствора в интервале от 5 до 9 при использовании карбоксильных катионитов типа СГ-1м, Россион 21, МАС-3 (табл. 1). Исходный раствор имел следующий состав, г/дм³: 0,5 U; 0,25 Мо; 0,12 As; 0,04 Zr; 0,12 P₂O₅; 10,8 Na₂CO₃; 4,37 NaHCO₃; pH = 10,1. Наличие соединений урана, циркония, мышьяка, фосфора и других элементов обуславливает неустойчивость растворов при подкислении. При нейтрализации карбонатных растворов кислотой до pH 6,5 происходит образование труднорастворимых соединений типа ураниларсенатов, уранилфосфатов натрия. Фактором устойчивости этих растворов является отношение U:HCO₃, As, P. При весовом отношении HCO₃:U > 9, что соответствует pH > 6,5, растворы устойчивы. Во избежание резких изменений pH раствора сорбент переводили в Na⁺-форму. Сорбционная емкость катионитов по урану увеличивается при снижении pH раствора и достигает максимальной величины при pH = 6,5÷7 (емкость 200–240 мг/г). При повышении pH емкость катионитов резко снижается из-за образования анионных форм уранила в растворах, механизм сорбции урана остается неизменным [19]. В области pH = 6,5÷7,5 молибден практически не сорбируется (емкость менее 0,7–0,8 мг/г), что обусловлено адсорбционным механизмом поглощения анионных комплексов молибдена развитой поверхностью катионитов. Скорость сорбции урана карбоксильными катионитами замедленная, равновесие не устанавливается и за 48 ч контакта с раствором, однако уже за 8–10 ч достигается достаточно высокая емкость и даже при сравнительно низких концентрациях урана 20–40 мг/дм³ она составляет не менее 50 мг/г (рис. 3).

Проведенные эксперименты по ионообменному извлечению урана и молибдена на карбоксильных катионитах из бикарбонатных растворов при значении pH = 6,5÷7,5 показали возможность практически полного отделения урана от молибдена.

Аналогичные исследования сорбционного извлечения и разделения урана и молибдена проведены на сильноосновных анионитах, в качестве которых использовали АМ-п, АМ и АМП. Зависимость сорбционной емкости по урану и молибдену от pH представлены в табл. 2.

Установлено, что, изменяя pH раствора, можно создать условия для интенсивной сорбции урана и молибдена. При этом максимум сорбционного поглощения урана и молибдена соответствует разным значениям pH (по урану максимальные значения емкости достигаются при pH = 6,5, по молибдену – при pH = 5). Для анионитов изучена кинетика сорбции урана и молибдена при pH = 6,5. Найдено, что равновесие по урану достигается за 8 ч контакта фаз, по молибдену максимальное насыщение устанавливается при продолжительности сорбции 0,5–1 ч. Используя полученные данные по влиянию pH и кинетики на емкостные показатели, можно осуществлять раздельную сорбцию урана и молибдена. Следует отметить, что сорбция из бикарбонатных сред

Таблица 1. Зависимость емкости карбоксильных катионитов по урану от pH раствора, мг/г

Катионит	pH					
	5,0–5,2	5,9–6,1	6,4–6,6	6,9–7,1	7,9–8,1	8,9–9,1
СГ-1м	99,3	173,5	205,5	190,8	114,8	17,8
Россион 21	106,4	150,1	185,1	164,5	108,7	15,3
МАС-3	96,7	138,8	178,3	159,1	101,0	18,1

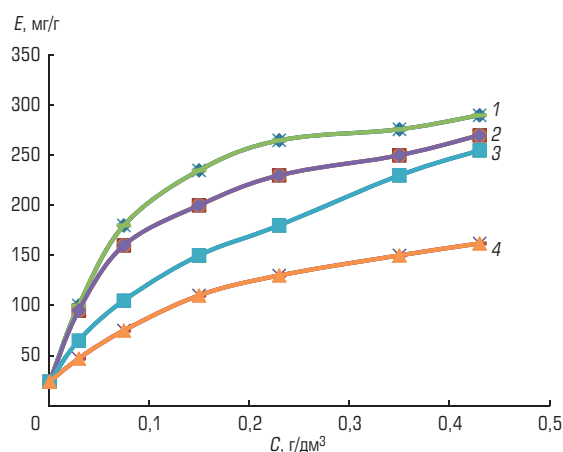


Рис. 3. Изотермы сорбции урана на катионитах: СГ-1м (1), Россион 21 (2), МАС-3 (3), Lewatit CND (4)

сопряжена с потерей соды, а также с затруднениями, связанными с утилизацией и обезвреживанием сбросных вод вследствие наличия в растворах значительных количеств сульфат-ионов и/или нитрат-ионов, образующихся при нейтрализации карбонатных растворов и пульп кислотами. Несмотря на указанные недостатки, метод сорбции с применением карбоксильных катионитов имеет и известные преимущества. Так, при сорбции урана из карбонатных пульп на сильноосновных анионитах присутствующие в растворе сульфат-, нитрат-, хлорид-ионы оказывают депрессирующее действие; при сорбции же из бикарбонатных сред на карбоксильных катионитов указанные примеси на процесс существенно не влияют (емкость по урану для сильноосновных анионитов составляет 20–30 кг/т, тогда как для карбоксильных катионитов – 100–110 кг/т). Другим их существенным преимуществом является меньшая стоимость и меньшие единовременные загрузки и, соответственно, капитальные затраты. Кроме того, раздельное насыщение и регенерация смол по урану и молибдену затруднено при использовании анионитов.

Таблица 2. Зависимость емкости сильноосновных анионитов по урану и молибдену от pH раствора, мг/г

Анионит	pH			
	5,0–5,2	5,9–6,1	6,3–6,5	6,9–7,1
АМ	49,4/27,2	27,8/14,1	114,8/4,9	105,0/5,0
АМП	43,4/38,6	19,8/16,1	122,0/7,2	103,0/5,3
АМ-п	53,6/39,1	27,5/15,2	138,0/8,9	101,1/7,3

Таблица 3. Основные показатели многоциклического сорбционного извлечения урана после смешения карбонатных и кислых пульп

№ стадии	C_{NaHCO_3} , г/дм ³	CU, г/дм ³	U, % в кеке	Емкость U, г/кг
1	3,1	0,4	0,08	247,0
2	2,1	0,24	0,07	118,3
3	1,7	0,11	–	80,2
4	1,2	0,05	0,066	52,2
5	0,9	0,022	–	36,4
6	0,8	0,006	0,058	21,8
7	0,6	0,005	–	12,1
8	0,5	0,004	0,033	11,5
9	0,4	0,003	–	6,9
10	0,3	0,002	0,02	3,5

Наиболее перспективной областью применения карбоксильных смол для сорбции урана из бикарбонатных сред является совместная переработка силикатных и карбонатных руд по единой технологической схеме. В случае, когда карбонатные руды преобладают, этот вариант является единственным, который позволяет эффективно осуществлять сорбцию урана из бикарбонатных растворов и пульп карбоксильными катионитами, даже при весьма высоких концентрациях сульфатов, хлоридов и нитратов (≥ 100 г/дм³). Сорбция урана из бикарбонатных сред более селективна еще и потому, что рабочее значение pH = 7–8 является изоэлектрической точкой для примесей, наиболее часто загрязняющих концентраты урана при сорбции его из слабокислых сред (Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}).

Совместная переработка карбонатных и силикатных руд по бикарбонатной схеме не имеет большинства отрицательных сторон переработки только карбонатных руд, так как при этом практически исключается расход кислоты на нейтрализацию соды, а замена двух технологических цепочек на одну компенсирует потерю соды и даст определенный экономический эффект. Нейтрализация содовых пульп или смешение пульп является одной из

наиболее важных и ответственных операций в схеме совместной переработки, так как в основном от качества проведения этого процесса зависит процент соосаждения урана в отвальный кек. Для уменьшения соосаждения урана при смешении рекомендована дробная нейтрализация карбонатных пульп в три стадии с контролем pH среды по стадиям: I стадия – pH = 8,5 (20–25 г/дм³ $NaHCO_3$ с небольшим количеством Na_2CO_3); II стадия – pH = 8 (12–17 г/дм³ $NaHCO_3$); III стадия – pH = 7,6–7,2 (6–8 г/дм³ $NaHCO_3$). Ведение процесса таким образом дает возможность получить кек с более низким содержанием урана (~0,04 %).

После проведенной в указанных выше условиях операции нейтрализации опробована 10-ступенчатая противоточная сорбция урана из пульп в пачуках, загруженных карбоксильным катионитом СГ-1м. Поступающая пульпа содержала в жидкой фазе в г/дм³: 0,8–1 U; 0,25 Mo; 4–5 $NaHCO_3$; 0,1–0,14 % U в твердой фазе (табл. 3). Проведенные испытания показали возможность практически полного разделения урана и молибдена, а их концентрации в сбросной жидкой фазе составили менее 3 мг/дм³ и 0,236 г/дм³ соответственно. Конечной продукцией предлагаемой технологической схемы являются кристаллы аммонийуранилтрикарбоната и парамолибдата аммония, которые могут быть получены по существующим технологиям.

Заключение

Разработанная технология позволяет осуществить не только раздельное извлечение урана и молибдена, но и совместную переработку силикатных и карбонатных руд по единой сорбционной схеме. Организация процесса сорбции в две стадии – урана на карбоксильном катионите и молибдена на анионите обеспечивает практически полное извлечение этих элементов из растворов и пульп после выщелачивания уран-молибденовых руд.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 7, pp. 59–63
DOI: 10.17580/gzh.2018.07.11

Processing technology of silicate and carbonate uranium-molybdenum ore

Information about authors

K. M. Smirnov¹, Head of Integrated Mineral Processing Department, Candidate of Engineering Sciences

T. V. Molchanova¹, Head of Ion Exchange Technology Laboratory, Candidate of Engineering Sciences

O. K. Krylova¹, Head of Leaching and Separation Technologies Laboratory, lab-v-1@vniit.ru

¹ Leading Research Institute of Chemical Technology, Moscow, Russia

Abstract

The paper presents the results of studies on the processing of carbonate ores of the Argun and Zerlovee deposits with extraction of uranium and molybdenum in relation to the terms of the hydrometallurgical plant of Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union (PJSC PIMCU). Methods of autoclave and atmospheric leaching with the use of oxidizing agents and oxidation catalysts and sorption extraction

of valuable components are studied. The most stable and high rates of uranium and molybdenum extraction into the solution were obtained by autoclave leaching with the following process parameters: pressure 12–14 atm, temperature ~140 °C, pulp processing time 4–6 h, the initial concentration of sodium carbonate 40–50 g/dm³. The degree of extraction of uranium and molybdenum in the solution was $\geq 96\%$. The effect of pH of the solution in the range from 5 to 9 when using carboxylic cationites SG-1m, Rossion 21, MAS-3 and strongly basic anionites AM-p, AM and AMP was studied. 10-step countercurrent sorption of uranium from pulps in bundles on carboxylic cation SG-1m was tested. Almost complete separation of uranium from molybdenum from carbonate solutions in the pH range of 6,5–7,5 was achieved. Concentrations of uranium and molybdenum in the discharge liquid phase were less than 3 mg/dm³ and 0,236 g/dm³, respectively. The delayed rate of uranium sorption was noted. The maximum sorption uptake of uranium and molybdenum for the anion exchange resin is best for different pH values (for uranium – pH 6,5, molybdenum at a pH of 5). The uranium balance is achieved for 8 hours of phase contact, molybdenum maximum saturation is set at a duration of sorption 0.5–1 hours. A rational technology of joint processing of silicate and carbonate ores by a single, common sorption scheme is proposed, which allows to extract uranium and molybdenum separately to obtain ammonium uranyl tricarbonate and ammonium paramolybdate.

Keywords: carbonate of uranium ore, a silicate ore of uranium, the sorption of a single scheme of extraction of uranium and molybdenum, the separation of uranium and molybdenum.

References

1. Svyatetskii V. S., Polonyankina S. V., Ermakov A. G. Uranium-mining industry of Russia: the state and prospects of development. *Prospect of mineral resources*. 2017. No. 11. pp. 22–26.
2. Mitrofanov E. A. Building-up hydrogenic uranium resources toward improvement of uranium supplies base structure. *Proceedings of IV International Symposium. Uranium: Geology, Resources, Production*. Moscow : VIMS, 2017. pp. 68–69.
3. Uranium Geotechnology (Russian Experience): Monograph. I. N. Solodov and E. N. Kamnev (Eds.). Moscow : Universitetskaya kniga, 2017. pp. 21–62.
4. Smirnov K. M., Molchanova T. V., Krylova O. K. et al. Chemical technology for uranium-bearing polymetallic ore processing: State-of-the-art and prospects. *VNIKHIT is 65: Collection of Scientific Papers*. Moscow : Vinpress, 2016. pp. 113–123.
5. Tirskey A. V., Morozov A. A., Bakharev V. Yu. Development of concentration technology of silicate uranium ores. *Gornyi Zhurnal*. 2013. No. 8-2. pp. 40–44.
6. *Technological mineralogy of natural and technogenic deposits : collection of articles of the 9-th Russian technological mineralogy seminar, Magnitogorsk, 22–24 April 2014*. Under the editorship of V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk : Karelia Science Center RAS, 2015. 171 p.
7. Tsybin E. F. Dressing in ore preparation stages. Ekaterinburg : Izdatelstvo UGGU, 2015. 303 p.
8. Tarkhanov A. V., Bugrieva E. P. Value and Prospects of Mineable Geological Uranium Reserves. Moscow : VIMS, 2017. 106 p.
9. Ryabov V., Shepeta E., Kretov V., Golikov V. New dialkyldithiophosphates for the flotation of copper, gold and silver containing ores. *XXVII International Mineral Processing Congress (IMPC) : Proceedings*. Santiago, 2014. Chapter 3. pp. 1–8.
10. Litvinenko V., Morozov A. Improvement of the technology of treatment of uranium ores from the Streltsovsky group of deposits. *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23–27 June 2014*. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. p. 99.
11. In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations. *IAEA Nuclear Energy Series*. No. NF-T-1.4. Viena, 2016. 59 p.
12. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap leaching technology – current state, innovations and future directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016. Vol. 37, No. 2. pp. 73–119.
13. Pirmatov E. A., Shmagarev V. K., Rakhmetov M. E. et al. Optimization of uranium–molybdenum processing technology at Stepnogorsk Mining and Chemical Works. *Current Problems of Uranium Industry: Proceedings of VI International Scientific–Practical Conference*. Almaty, Kazakhstan, 2010. pp. 74–78.
14. Pismennaya O. B., Pismennyi B. V. Resource-saving technologies of uranium mining and their economical justification. *Problems of Uranium Industry: Proceedings of VI International Scientific–Practical Conference*. Almaty, Kazakhstan, 2010. pp. 132–136.
15. Koltsov V. Yu., Krinov D. I., Kuznetsov I. V. Use of sulfuric acid in the time of pelletization of uranium ores before their heap leaching. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 7. pp. 90–93.
16. Chemistry of Uranium. B. N. Laskorin and V. F. Myasoedov (Eds.). Moscow : Nauka, 1989. pp. 206–214.
17. Tarkhanov A. V., Bugrieva E. P. Value and Prospects of Mineable Geological Uranium Reserves. Moscow : VIMS, 2017. 106 p.
18. Smirnov K. M., Menshikov Yu. A., Zyukova G. A. Influence of zirconium on difficulty of uranium minerals. *VNIKHIT is 60: Collection of Scientific Papers*. G. A. Sarychev (Ed.). Moscow : Leonardo-Dizain, 2011. pp. 136–144.
19. Shurmel L. B., Shatalov V. V., Molchanova T. V. et al. IR spectroscopy analysis of properties of ionites during uranium sorption and processing of siliferous solutions and pulps. *Atomnaya energiya*. 2001. Vol. 90, Iss. 3. pp. 207–212.

УДК 622.349.5:622.723

ТЕХНОЛОГИЯ РУДОПОДГОТОВКИ И РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ БЕДНЫХ УРАНОВЫХ РУД В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ



А. В. БЕЙДИН,
старший преподаватель,
канд. техн. наук,
beydin@mail.ru

Забайкальский государственный университет,
Чита, Россия



В. А. ОВСЕЙЧУК,
проф.,
д-р техн. наук



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

Введение

В связи с уменьшением доли богатых руд в отработку все больше вовлекаются рядовые и бедные руды, добыча которых по существующим технологиям становится низкорентабельной или даже убыточной. Ситуация усугубляется также тем, что снижение

Рассматривается технология рудоподготовки бедных урановых руд в условиях подземного рудника, включающая предварительное разделение на классы по крупности с последующей покусковой рентгенорадиометрической сепарацией. Полученные продукты сортировки направляются на дальнейшую переработку по технологиям, позволяющим извлекать уран из руды с получением максимальных объемов готовой продукции в виде концентрата минерального сырья.

Ключевые слова: подземная разработка, бедные урановые руды, грохочение рудной массы, рентгенорадиометрическая сепарация, технологические сорта, выщелачивание урана.

DOI: 10.17580/gzh.2018.07.12

содержания металла сопровождается усложнением горно-геологических и горнотехнических условий. Применение для отработки таких руд высокопроизводительных систем и горного оборудования снижает, как правило, качество добываемого сырья, поступающего на переработку. Компенсация недополученного металла обеспечивается большим объемом добычи, что, в свою очередь, снижает извлечение полезного компонента и увеличивает затраты на гидрометаллургическую переработку. Основным направлением сокращения производственных издержек является создание комбинированных технологий на основе предва-