

Научная статья
УДК 622.7:553.493.34(571.51)
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.033

ОЦЕНКА КОМПЛЕКСА ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ БЕДНЫХ ОТВАЛОВ ПЕРЕРАБОТКИ СПОДУМЕНСОДЕРЖАЩИХ РУД

**Дмитрий Владимирович Наумов¹, Александр Васильевич Курков²,
Светлана Ивановна Ануфриева³, Игорь Владимирович Чепрасов⁴,
Николай Тихонович Ворогушин⁵**

^{1, 2, 3, 4}Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени
Н. М. Федоровского, Москва, Россия

⁵«Управляющая компания “Сибирские минералы”», Москва, Россия

¹naumov@vims-geo.ru

²kurkov@vims-geo.ru

³anufrieva@vims-geo.ru

⁴cheprasov@vims-geo.ru

⁵vorogushin@gmail.com

Аннотация

Приведены результаты вещественного состава исходной пробы отвалов Завитинского месторождения и технологических исследований физическими методами обогащения: сухое гравитационное обогащение (технология «Сепайр»); крупнукосовое, тяжелосреднее обогащение; сухая магнитная сепарация; гравитационные методы обогащения. Показана перспективность тяжелосреднего обогащения для получения сподуменового 6 %-го (Li₂O) концентрата. Приведен укрупненный расчет себестоимости переработки 1 млн т отвалов.

Ключевые слова:

литий, сподумен, физические методы, тяжелосреднее обогащение

Для цитирования:

Оценка комплекса физических методов обогащения бедных отвалов переработки сподуменосодержащих руд / Д. В. Наумов [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1. С. 188–191. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.033

Original article

ASSESSMENT OF PHYSICAL METHODS OF ENRICHMENT OF POOR SPODUMENE-CONTAINING ORE TAILINGS

**Dmitry V. Naumov¹, Alexander V. Kurkov², Svetlana I. Anufrieva³, Igor V. Cheprasov⁴,
Nikolai T. Vorogushin⁵**

^{1, 2, 3, 4}N. M. Fedorovsky All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources, Moscow, Russia

⁵Siberian Minerals Management Company LLC, Moscow, Russia

¹naumov@vims-geo.ru

²kurkov@vims-geo.ru

³anufrieva@vims-geo.ru

⁴cheprasov@vims-geo.ru

⁵vorogushin@gmail.com

Abstract

The results of the material composition of the initial sample of Zavitskoye deposit tailings and technological research by physical methods of enrichment are presented: dry gravity enrichment (Sepair technology); coarse lump, heavy medium enrichment; dry magnetic separation; gravity enrichment methods. The prospects of heavy-medium enrichment for obtaining spodumene 6% (Li₂O) concentrate are shown. An enlarged calculation of the cost of processing 1 million tons of tailings is given.

Keywords:

lithium, spodumene, physical methods, heavy-medium enrichment

For citation:

Assessment of physical methods of enrichment of poor spodumene-containing ore tailings / D. V. Naumov [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 188–191. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.033

Введение

В современной промышленности литий является одним из важнейших элементов. Одна из главных областей его использования — производство химических источников тока. Литиевые батареи и аккумуляторы имеют одни из самых высоких энергетических показателей и применяются в большинстве портативных электронных приборов. В СССР специальные геолого-разведочные работы на литий были начаты в 1929 г., в результате на Завитинском месторождении в Забайкалье были утверждены запасы, которые, как отмечалось в 1931 г., могли покрыть многолетнюю мировую потребность лития.

В 1942 г. на Завитинском месторождении началась добыча и переработка литиево-бериллиевой руды. Переработка добываемых открытым способом руд осуществлялась на обогатительной фабрике комбината производительностью в 1,1 млн т руды в год. На ее мощностях достигнуто комплексное извлечение полезных компонентов и, помимо основного литиевого, извлекались бериллиевый, танталовый, ниобиевый, оловянный и кварц-полевошпатовый концентраты. Своих лучших экономических показателей Забайкальский ГОК достиг к концу 1970-х — началу 1980-х гг. В 1991 г. было добыто 7,99 тыс. т диоксида лития. На Завитинском месторождении отработано 52 % числящихся балансовых запасов его комплексных руд, однако сложившиеся сложные горно-геологические и гидрологические условия сделали невозможным дальнейшую отработку запасов. Завитинское месторождение было законсервировано в 1997 г. На протяжении сорока лет с 1951 г. формировались отвалы забалансовой руды, которые насчитывают 19 млн т (содержание $\text{Li}_2\text{O} \sim 0,3 \%$). На начальных этапах формирования массива было отмечено, что руда на складе разрушается при воздействии атмосферных осадков и колебаний температуры. Процессами выветривания остаются незатронутыми только кварц и слюда. Мелкий сыпучий материал отвала превращается в глину. Вынесенный из сподумена литий не концентрируется в других минералах, а мигрирует с водами.

В ходе изучения технологических свойств пробы литийсодержащих рудных отвалов Восточно-Завитинского участка общей массой 3 т были проведены следующие работы: 1) изучение вещественного состава; 2) исследования по сухому гравитационному обогащению (технология «Сепайр») [1]; 3) исследования по крупнокусковому обогащению (рентгеноабсорбционный, рентгенорадиометрический, рентгенолюминесцентный, фотометрический методы) [2]; 4) исследования по тяжелосредному обогащению; 5) оценка возможности применения сухой магнитной сепарации; 6) изучение возможности применения гравитационных методов обогащения (винтовая сепарация, высокочастотная отсадка, концентрационный стол, гидроциклонирование); 7) оценка возможности использования декрипитации крупнозернистых сподуменсодержащих продуктов.

При изучении вещественного состава (В. Е. Жукова — ведущий специалист минералогического отдела ФГБУ «ВИМС») установлено, что литийсодержащие рудные отвалы Восточно-Завитинского участка недр представляют собой измененные в различной степени пегматиты и сподуменсодержащие аплиты. В дробленых пробах присутствует значительное количество не содержащих сподумен аплитов и измененных вмещающих пород. Содержание сподумена составляет 2,5 % (таблицы 1, 2). Литий образует собственную минеральную форму — сподумен, в качестве примеси он может присутствовать в слюдах, полевых шпатах, гранате, реже — в турмалине. Вредными компонентами-примесями в сподуменовом концентрате являются SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , FeO , MgO , CaO , F , P_2O_5 , MnO . В отвалах содержится сподумен различной степени изменения — от практически не измененных кристаллов, сохраняющих кристаллографические формы огранки и характерный цвет, до полностью превращенных в агрегат глинистых минералов. Преобладающим является сподумен со средней степенью изменения и сподумен, практически полностью замещенный глинистыми минералами.

Исследования по обогащению методами радиометрической сепарации: рентгенорадиометрическая сепарация (РРС); рентгенолюминесцентная сепарация (РЛС); фотометрическая сепарация (ФМС); рентгеноабсорбционная сепарация (ХРТ) [2]. При изучении фракционного состава кусковой выборки определены: показатель контрастности по содержанию оксида лития — 1,24 (руда относится к категории высококонтрастных); потенциально возможные технологические показатели разделения выборки — содержание Li_2O в концентрате 1,57 % при выходе 9,86 % и извлечении 67,36 %, содержание Li_2O в хвостах 0,08 % при выходе 90,14 % и потерях Li_2O 32,64 %. В целом анализ кусковой выборки указывает

на перспективность обогащения методами крупнокусковой сепарации. Метод ХРТ на полученной пробе работает неэффективно из-за тонкой вкрапленности сподумена, неразличимой детектором сепаратора. По методу РРС в силу незначительного концентрирования оксида лития показатель признака разделения и его эффективность оказались низкими — 0,55 и 0,44 соответственно. Метод РЛС также недостаточно эффективен ввиду низкого показателя признака разделения. Метод ФМС работает недостаточно эффективно из-за близости цветовых разностей сподумена и вмещающих пород.

Таблица 1

Химический состав исходной руды

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Li ₂ O	0,14	K ₂ O	2,95
BeO	0,048	CaO	0,68
Nb ₂ O ₅	0,0077	TiO ₂	0,12
Ta ₂ O ₅	0,0027	Cr ₂ O ₃	0,057
Fe ₂ O ₃ общ	1,80	MnO	0,15
Na ₂ O	2,90	Fe ₂ O ₃	1,58
MgO	0,29	CuO	0,011
Al ₂ O ₃	13,40	ZnO	0,013
SiO ₂	68,90	Rb ₂ O	0,063
P ₂ O ₅	0,18	SrO	0,016
SO ₃	0,36	BaO	0,054

Таблица 2

Минеральный состав исходной руды

Минерал	Содержание, %
Плагиоклаз	43
Кварц	32
Калиевый полевой шпат	12
Слюды (биотит, мусковит, иллит)	9
Сподумен	2,5
Хлорит	1
Прочие: турмалин, глинистые минералы, гранат, апатит, пирит	0,5
Сумма	100

Исследования по технологии пневматической сепарации «Сепайр» [1] и по обогащению с применением высокочастотной отсадки показали неудовлетворительное качество концентрата (содержание Li₂O — 0,19–0,21 % при содержании в исходной пробе 0,15 %) и высокое содержание лития (0,12–0,14 %) в хвостовых продуктах.

В ходе проведения технологических исследований обогащения физическими методами с использованием сухой магнитной сепарации, концентрационного стола, винтовых сепаратора и шлюза, отсадочной машины, гидроциклона установлено, что ни один из рассматриваемых методов обогащения не позволяет получить хвосты с низким содержанием оксида лития (0,10–0,14 %), а также получить концентрат, пригодный для дальнейшей переработки гидрометаллургическими методами (содержание оксида лития более 1 %). В то же время магнитная сепарация и обогащение на концентрационном столе могут быть использованы в качестве доводочных операций сподуменного концентрата, полученного методом тяжелосредной сепарации, для получения тантал-ниобиевых продуктов.

В результате проведенного комплекса технологических исследований определено, что наиболее эффективным физическим методом обогащения литийсодержащих отвалов Восточно-Завитинского участка недр является тяжелосредная сепарация. Из тяжелой фракции (плотность которой выше 2,8 г/см³ и содержание оксида лития более 3 %) возможно получить высококачественный сподуменный концентрат с содержанием оксида лития более 6 % с применением магнитной сепарации и декрипитации. Содержание оксида лития в легкой фракции (плотность которой ниже 2,7 г/см³) более чем в два раза ниже, чем содержание в исходной пробе 0,085 и 0,163 % соответственно. Однако доводка промежуточной фракции плотностью

$2,7 < \rho < 2,8 \text{ г/см}^3$, а также отсева тяжелосредной сепарации гравитационными и магнитными методами не позволила получить хвосты с низким содержанием оксида лития (0,11–0,14 %) и концентрат, пригодный для дальнейшей переработки гидрометаллургическими методами.

Произведенный укрупненный расчет себестоимости переработки 1 млн т литийсодержащих рудных отвалов Восточно-Завитинского участка недр по принципиальной схеме обогащения показал, что годовые затраты составят 300,2 млн руб. в год, или 36 530 руб. на 1 т объединенного сподуменового концентрата с содержанием оксида лития 5 %.

Список источников

1. Степаненко А. И. Установка пневматической сепарации: Патент на полезную модель № 0078703, 02.06.2008; опубл: 10.12.2008.
2. Мокроусов В. А. Лилеев В. А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М.: Недра, 1979.

References

1. Stepanenko A. I. *Ustanovka pnevmaticheskoy separacii* [Installation of pneumatic separation]: Useful model patent No. 0078703, 02.06.2008; publ. 10.12.2008. (In Russ).
2. Mokrousov V. A., Lileev V. A. *Radiometricheskoe obogashchenie neradioaktivnyh rud* [Radiometric Concentration of Non-Radioactive Ores]. Moscow, Nedra, 1979. (In Russ.).

Информация об авторах

Д. В. Наумов — ведущий специалист;

А. В. Курков — главный научный сотрудник — советник генерального директора по технологии, доктор технических наук, профессор;

С. И. Ануфриева — заведующий отделом, кандидат химических наук;

И. В. Чеprasов — заместитель заведующего отделом;

Н. Т. Ворогушин — главный геолог.

Information about the authors

D. V. Naumov — Lead specialist;

A. V. Kurkov — Chief Researcher — Advisor to Director General on Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor;

S. I. Anufrieva — Head of Department, Candidate of Sciences in Chemistry;

I. V. Cheprasov — Deputy Head of Department;

N. T. Vorogushin — Chief geologist.

Статья поступила в редакцию 01.02.2023; одобрена после рецензирования 13.02.2023; принята к публикации 14.02.2023.
The article was submitted 01.02.2023; approved after reviewing 13.02.2023; accepted for publication 14.02.2023.