УДК 669.712.054

Е.А.АЛЕКСЕЕВА, *аспирантка, kafmetall@mail.ru*
В.Н.БРИЧКИН, *д-р техн. наук, профессор, kafmetall@mail.ru*
Н.В.НИКОЛАЕВА, *канд. техн. наук, ассистент, opiopi@bk.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

E.A.ALEKSEEVA, *post-graduate student, kafmetall@mail.ru*
V.N.BRICHKIN, *Dr. in eng. sc., professor, kafmetall@mail.ru*
N.V.NIKOLAEVA, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, opiopi@bk.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ТЕХНИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ БОКСИТОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ОНЕЖСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

В статье представлены результаты технико-минералогических исследований обогатимости низкокачественных бокситов Северо-Онежского месторождения. В ходе работы были проведены эксперименты по определению измельчаемости сырья (в том числе бесшаровое измельчение) и по оценке обогатимости бокситов методом магнитной сепарации и флотации. Данные руды являются весьма сложным объектом для обогащения, так как характеризуются исключительно тонкой вкрапленностью алюминийсодержащих минералов, а также близостью их свойств. В ходе дальнейших работ планируется проведение опытов с использованием химического обогащения (как только химическое обогащение, так и в сочетании с физическими методами обогащения).

Ключевые слова: низкокачественные бокситы, обогатимость, флотация, измельчаемость.

TECHNICAL AND MINERALOGICAL EVALUATION OF LOW QUALITY BAUXITE WASHABILITY (AN EXAMPLE OF NORTH ONEGA DEPOSIT)

The results of the technical and mineralogical studies of washability of low quality bauxites of North Onega deposit are presented. The experiments of determination of the grindability of raw materials including without ball grinding and assessment washability bauxite by magnetic separation and flotation were conducted. These ores are very complex object for enrichment, as characterized by extremely thin impregnated aluminum-containing minerals, as well as the similarity of their properties. Further work of to conduct experiments using chemical enrichment (as soon as the chemical enrichment, and in combination with the physical methods of enrichment) is planned.

Key words: low quality bauxite, washability, flotation, grindability.

Во многих странах в сферу производства первичного алюминия широко вовлекаются альтернативные виды сырья: алуниты, каолины, щелочные алюмосиликаты нефелинового состава и др., но несмотря на это, основным источником до сих пор остаются бокситы. Разведанные запасы бокситов в нашей стране относительно невелики и качество их, в основном, невысокое. Кроме того, часть месторождений находится в районах, трудных для освоения и непригодных для разработки более эффективным открытым способом.

Месторождение бемитовых бокситов Северной Онеги (Иксинское) приурочено к

крупной впадине в докарбоновом рельефе. Бокситоносная толща залегает на размытой поверхности пород протерозойского кристаллического фундамента и отложений верхнего девона. По возрасту бокситы и вся каолинит-бокситовая толща Иксинского месторождения условно относятся (по перекрывающим отложениям) к тульско-алексинскому горизонту нижнего карбона (C_1-визе). Подрудная толща представлена конгломератами, алевролитами, тонко- и мелкозернистыми песками (слюдистыми и каолинитовыми), переслаивающимися с плотными белыми, голубоватыми глинами. Покрывают бокситовые породы, точнее заключают в себе, каолинитовые глины: пестрые, красные, коричневые, светло-розовые, белые, серые, плотные, сухаристые, жирные на ощупь[*].

Бокситы Иксинского месторождения, или бокситовые породы, однообразны. Они окрашены в светлые тона и значительно уплотнены или сцементированы. На месторождении выделены по структурным признакам и размеру частиц обломочные, пелитовые, оолито-бобовые литотипы. Оолито-бобовые и пелитовые породы распространены в центральной и восточной частях Беловодской залежи и залегают в кровле толщи. Наиболее распространены пелитоморфные разновидности. Обломочные породы состоят из полностью глинизированных обломков пород основного состава разного размера (от 0,01 до 20 мм), заключенных в плотном каменистом или сухаристом цементе. Обломочные бокситы слагают обычно нижнюю часть бокситоносной толщи в центральных более глубоких частях впадины. Реже встречаются песчаниковидные сильно пористые светлые бокситовые породы.

Перечисленные литологические разновидности бокситовых пород в равной мере распространяются и на глинистые, небокситовые. Все они представлены плотными, каменистыми и сухаристыми разностями[**].

Характерной чертой бокситов Иксинского месторождения является отсутствие типичных литологических особенностей, отражающих качество породы, за исключением песчаниковидных бокситов. В пределах каждой разновидности пород бокситоносной толщи сортовые бокситы выделяются по результатам химического анализа.

Кондиционные бокситы обычно залегают в средней части залежи и заключают в себе тела некондиционных глинистых пород с разным содержанием свободного глинозема.

Минеральный состав бокситов всех залежей Иксинского месторождения довольно постоянен и отличается лишь количественными соотношениями основных минералов глинозема: каолинита 39,5 %, бемита 84,97 %, гиббсита 65,4 %. Выделяются следующие минеральные типы бокситов: бемит-каолинитовые, гиббсит-каолинит-бемитовые, гиббсит-каолинитовые, бемит-гиббсит-каолинитовые, каолинит-гиббситовые. Бокситы Беловодской разрабатываемой залежи – гиббсит-бемит-каолинитовые.

Минералы железа представлены, в основном, алюмогетитом и гематитом. Из минералов кремнезема в небольшом количестве встречаются полевые шпаты, кварц, аморфный кремнезем, амфиболы, анальцим, цеолиты. Минералы титана встречаются в форме тонкодисперсного анатаза и в виде более крупных кристаллов ильменита, рутила. Из минералов хрома обнаружены хромшпинелиды. Из акцессорных минералов в бокситах присутствуют турмалин, ставролит, эпидот, гранат, циркон, апатит, пирит, марказит. В небольшом количестве встречаются гипс, карбонаты, органическое вещество в виде углефицированных растительных остатков.

В технологическом отношении бокситы данного месторождения вследствие структурных и текстурных особенностей являются низкосортными. Исследуемые бокситы относятся к некондиционным, труднообогатимым объектам и характеризуются исключительно тонкой вкрапленностью алюминийсодержащих минералов (гидраргилита – $Al(OH)_3$); бемита – $Al(OH)$; каолинита – $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ и др.). Кроме того, основные бокситообразующие минералы отлича-

[*] Обогащение бокситов / М.Л.Волова, В.П.Кузнецов, В.Е.Лифиренко и др. М., 1978.

Beneficiation of bauxites / M.L.Volova, V.P.Kusnezow, V.E.Lifirenko et al. Moscow, 1978.

[**] Обогащение бокситов / М.А.Эйгелес, В.П.Кузнецов, И.И.Поздняк. М., 1970.

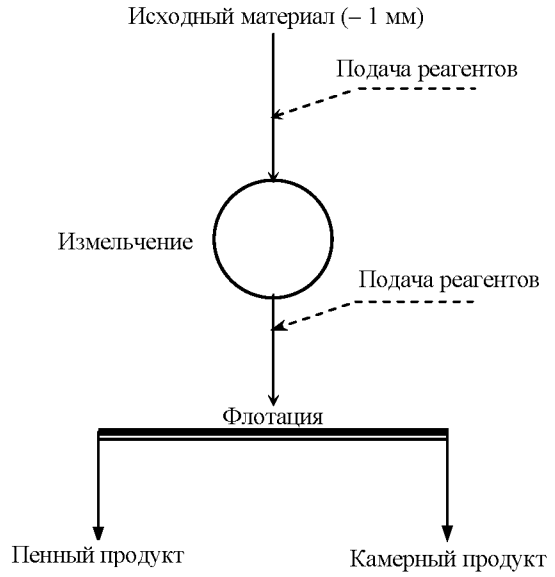
Beneficiation of bauxites / M.A.Eigeles, V.P. Kusnezow, I.I. Posdnyak et al. Moscow, 1970.

ются близостью поверхностных свойств, вследствие значительного их ожелезнения, что в значительной степени затрудняет селективное разделение минералов, слагающих малоизученные бемитовые бокситы Северо-Онежского месторождения.

Определение обогатимости бокситов Северо-Онежского месторождения проводилось методами прямой флотации. Известно, что во многих бемитсодержащих породах включения бемита имеют субмикроскопический характер с преобладающей крупностью частиц менее 1 мкм. Это дает основание предположить, что получение положительных результатов селективного разделения алюминийсодержащих минералов любыми механическими способами весьма проблематично.

Каолинит-бемитовые бокситы Северо-Онежских месторождения требуют специальных методов механического диспергирования для подготовки их к обогащению по крупности. Для получения положительных результатов необходимо предварительное, более глубокое диспергирование материала с максимально возможной дезагрегацией алюминийсодержащих минералов и тонкозернистого каолинита.

Опыты по флотации бокситов Северо-Онежского месторождения проводились в открытых циклах на навесках массой 100 г. Каждая навеска измельчалась мокрым способом в лабораторной шаровой мельнице в течение 10 мин до требуемой для процесса Байера крупности – 0,1 мм и помещалась во флотокамеру механического типа объемом 500 см. Содержание твердого в пульпе 17 %, что исключает возможность заливания флотокамеры. Флотация проводилась с добавками в пульпу гексаметфосфата натрия (ГМФ) как сильного комплексообразователя ионов многовалентных металлов (Fe, Al, C, Mg), что способствует диспергированию пульпы.



Технологическая схема проведения опытов

Прямая флотация алюминийсодержащих минералов жирнокислотными собирателями (олеат натрия) проводилась в присутствии комплексообразующих фосфорных солей в щелочной среде с добавками соды и щелочи в мельницу с расходами от 1000 до 1400 г/т. Расходы собирателей варьировали от 300 до 700 г/т, а комплексообразователя – от 400 до 800 г/т. Опыты проводились на необесшламленном продукте с добавками во флотокамеру для депрессии глинистых шламов крахмала. Во всех опытах в качестве пенообразователя применяли сосновое масло (50 г/т). Для исследования кинетики прямой флотации был проведен опыт (NaOH в мельницу 1400 г/т, ГМФ – 600 г/т, Ol-Na – 600 г/т) с фракционным съемом пены через каждую минуту (общее время флотации до получения практически пустой пены 5 мин) и пониженном расходе воздуха с подачей в камеру в качестве пенообразователя реагента oreprer компании «Cytec chemicals» с расходом 50 г/т. Визуальные наблюдения показывают, что при данных условиях и режимах флотации камерный продукт отличается от всех остальных по крупности и состоит из темноцветных минеральных зерен. (см.рисунок)

Сравнительный анализ результатов флотации с применением додециламина показывает, что данный собиратель обладает сильными пенообразующими свойствами, а переход на более эффективный вспениватель oreprer компании «Cytec chemicals» увеличивает выход пенного продукта с 28 до 42,5 %, при этом кремниевый модуль μ_{Si} в камерном продукте падает с 4,4 до 2,9. Уменьшение времени измельчения до 3 мин, а также флотация калиброванных по

крупности классов –100+50 и –50+0 мкм не привели к желаемым результатам.

В качестве коллекторов для проведения опытов прямой флотации были испытаны олеат натрия Ol-Na, неонол и ряд реагентов компании «Cytec chemicals» Aeromine 3030 – промотор для прямой флотации каолинита и Aero 704 – промотор для прямой флотации диаспора и кальцита.

На рудах Северо-Онежского месторождения с большими расходами собирателя выход пенного продукта достигает почти 50 %, а кремниевый модуль μ_{Si} повышается до 4,92. Однако в целом различие в кремниевых модулях в продуктах разделения (пенный и камерный) незначительно и не превышает 0,6. Кроме того, были проведены опыты на пробах руд Северо-Онежского месторождения с подачей в мельницу ударной соды Na_2CO_3 с расходами 140 г/л и предварительным мокрым рассевом измельченной навески на ситах 100 и 50 мкм с последующей флотацией каждого класса крупности. Кроме того, были поставлены опыты прямой флотации с применением олеата натрия в присутствии гидролизованного полиакриламида (ГПАА) при очень незначительных концентрациях последнего – от 1 до 2 мг/л. При незначительном повышении расхода ГПАА сверх оптимального наблюдается полное пеногашение (независимо от увеличения концентрации такого сильного пенообразователя как oreprer) и прекращение процесса флотации. Для приготовления ГПАА был использован 1 %-ный водный раствор промышленного ПАА, который в присутствии NaOH выдерживался в течение 3 ч при температуре 60-80 °С.

Результаты опытов с применением неонола в качестве собирателя показали, что добавки ГПАА резко увеличивают выход пенного продукта с 10 % (опыт, в котором ГПАА отсутствует) до 40 % (опыт с добавками двух капель 0,06 % раствора ГПАА), при этом в этих случаях селективного разделения минералов, слагающих бокситы Северо-Онежского месторождения, не наблюдается. Не дали положительных результатов и опыты флотации отдельных классов крупности –100+50 и –50+0 мкм.

Таким образом, наилучшие результаты могут быть получены при флотации с использованием умягченной воды. Добавка и расход пенообразователя зависит от кислотности среды. В щелочных средах при pH > 7 можно исключить подачу вспенивателя. В качестве модификатора среды можно использовать соду.