

11. Баранов А. Н. Исследования по выщелачиванию фтора из углеродсодержащих материалов производства алюминия / А. Н. Баранов, Е. В. Тимкина, А. А. Тютрин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 7. – С. 143–151.

12. Комарова Н. В. Руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель» / Н. В. Комарова, Я. С. Каменцев. – СПб. : ООО «Веда», 2006. – 212 с.

13. Ординарцева Н. П. Планирование эксперимента в измерениях / Н. П. Ординарцева // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79. – № 3. – С. 72–76.

УДК 669.7

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ БОКСИТОВ ЗАПАДНОЙ АФРИКИ

Беавоги Мари Констанс¹, Кырчиков А. В.²

¹Laboratoire de Recherche Appliquée en Géoscience et Environnement, Institut Supérieures Mines et Géologie de Boké, BP 84, Republic of Guinea

²Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия,

¹Laboratoire de Recherche Appliquée en Géoscience et Environnement, Institut Supérieures Mines et Géologie de Boké, BP 84, Republic of Guinea

Аннотация. Западная Африка известна своими богатыми месторождениями бокситов, расположенными в Гвинее, Сьерра-Леоне и Гане, и это лишь некоторые из них. В Африке большая часть запасов сосредоточена в Западной Африке, где сосредоточено около 86 % всех запасов Африки. Самые богатые месторождения бокситов находятся в Гвинейской Республике, где сосредоточено более четверти мировых запасов. В работе исследованы пять типов бокситов, включая один тип из месторождений Сьерра-Леоне и четыре различных месторождения Гвинеи. Химический и минералогический состав бокситов, определяющий их качество, сильно различается по этим месторождениям. Показано, что содержание Al_2O_3 находится в диапазоне 42–53 %, а содержание кремнезема – в диапазоне 2,4–4,2 %. Гиббит является преобладающим минералом, его содержание – 56,6–80 %. Бемит присутствует в некоторых типах образцов (4,6–6,2 %), для этих бокситов характерен такой минерал, как глиноземистый гетит, который сильно влияет на извлечение глинозема в процессе Байера.

Ключевые слова: боксит, минералы, химический состав, минералогический состав, месторождения.

Введение

В настоящее время, в связи с расширением эксплуатации сырья глиноземной промышленности, а также благодаря использованию различных технологий в процессе переработки, проблема физико-химической и минералогической характеристики остается и остается определяющей. Западная

Африка благодаря богатым месторождениям бокситов, расположенным в Республике Гвинея, Сьерра-Леоне, Гане, Мали продолжает снабжать крупнейшие глиноземные заводы мира. Минералы боксита имеют очень маленький размер (обычно 1–10 мкм) и преимущественно находятся в тесной ассоциации друг с другом [1–2].

С точки зрения структуры и тектоники, район исследования расположен в западной части Африканской платформы на Гвинейском щите. Самой крупной группой является Боке, месторождение бокситов, простирающееся на площади 142 км² с запасами 4,5 млрд тонн, из которых 1 млрд тонн с содержанием более 50 % глинозема. Толщина залежей составляет 7,1 м, а поверхностный слой не превышает 1,5 м. Химическое и минералогическое изучение этих огромных и богатых месторождений имеет большое значение и определяет методы и параметры переработки этих руд [3–4].

Как правило, глиноземная руда, в которой преобладают тригидраты (гиббсит или гидрагилит), легко выщелачивается при температуре около 108 °С, тогда как боксит, в котором преобладают моногидраты (бемит), требует температуры выше 200 °С и даже 250 °С. Для минимизации затрат на переработку предпочтительнее разрабатывать месторождение с преобладанием тригидрата. Качество боксита как алюминиевой руды сильно зависит от содержания глинозема и кремнезема: чем ниже содержание SiO₂ и выше содержание Al₂O₃, тем лучше качество [5–8].

Поэтому целью настоящей работы является химическое и минералогическое исследование образцов бокситов из Сьерра-Леоне и Гвинеи для того, чтобы с помощью соответствующих методов повысить значимость этих видов бокситов как важного сырья для крупных перерабатывающих предприятий.

Экспериментальные материалы и методы

Образцы в данном исследовании определены следующим образом: (SL-1) – бокситы Сьерра-Леоне, (GN-LMG) – Гвинея Low Mono Grade, (GN-SMG) – Гвинея Standard Metal Grade, (GN-BF) – Гвинея Bauxite Fria (GN-BDD) – Гвинея Dian Dian. Все четыре вида гвинейских бокситов добываются в регионе Боке. Образцы были взяты с участков Боке на месторождении Сангареди, оператором которого является Compagnie des Bauxites de Guinée, участков Фриа и Диан-Диан - Ruski Alumini, а образец Сьерра – с участка Порт-Локо, оператором которого является Sierra Mineral Holdings 1 Ltd (SMHL). Эти образцы берутся с поверхности почвы (на глубине от 0 до 2 м). На рис. 1 показан внешний вид бокситов. Собранные в поле образцы отправляются в химическую лабораторию, где их три раза подряд просеивают и высушивают при температуре 100–150 °С в течение примерно 2 часов, а затем измельчают в течение нескольких минут на дисковой мельнице. Полученный порошок снова просеивают, используя сито

с ячейками 0,1 мм. Полученный мелкий порошок гомогенизируют с помощью распределителя и помещают в пластиковую упаковку. Химический анализ проводили рентгеновским методом на коротковолновом рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL 9900 WS.



Рис. 1. Внешний вид различных бокситов

Результаты и обсуждение

Химический анализ

Результаты анализа представлены в табл. 1. Из этой таблицы видно, что образцы химически характеризуются: высокой потерей при прокаливании (24,5–27,8 %), высоким содержанием Al_2O_3 (42,1–52,51 %). Образец GN-SMG имеет более высокое содержание Al_2O_3 – 52,51 %, а также высокие потери при прокаливании. Наблюдается высокий процент содержания Fe_2O_3 в боксите Фриа (GN-BF), что объясняет темно-красную окраску боксита (рис. 1), довольно высокое содержание SiO_2 в бокситах SL-1 из Сьерра-Леоне. Содержание TiO_2 варьируется в пределах 1,9–2,75 %, что указывает на наличие анатаза или рутила.

Кремневый модуль всех представленных бокситов выше 8, а содержание глинозема во всех представленных образцах выше 40 %, что доказывает экономическую целесообразность переработки. Использование процесса Байера в технологии производства глинозема накладывает ограничения на качество бокситового сырья. Основным и проблемным компонентом, который сопровождает это сырье, является кремнезем, но согласно химическим данным (табл. 1) изученные виды бокситов обычно имеют низкое содержание кремнезема, за исключением бокситов Сьерра-Леоне, которые из-за повышенного содержания кремнезема подвергаются предварительной обработке, которая заключается в промывке бокситов проточной водой.

Результаты химического анализа образцов бокситов

Состав	Масс. %				
	SL-1	GN-LMG	GN-SMG	GN-BF	GN-BDD
П.П.П.	25,5	26,77	27,8	24,5	25,68
Al ₂ O ₃	42,1	48,34	52,51	44,0	46,64
Fe ₂ O ₃	23,8	19,48	13,81	27,2	22,26
SiO ₂	4,2	1,9	2,49	1,55	2,77
TiO ₂	1,9	2,2	2,75	2,6	2,44
P ₂ O ₅	0,131	0,139	0,153	0,16	0,001
MgO	0,094	0,104	0,105	0,001	0,001
V ₂ O ₅	0,076	0,078	0,095	0,12	0,001
ZrO ₂	0,02	0,069	0,071	0,001	0,001
Cr ₂ O ₃	0,063	0,056	0,076	0,001	0,001
SO ₃	0,058	0,037	0,017	0,001	0,001
K ₂ O	0,015	0,029	0,021	0,001	0,001
CeO ₂		0,01	0,012	0,001	0,001
CaO	0,15	0,01	0,019	0,001	0,001
MnO	0,018	0,008	0,012	0,001	0,001
Сумма	98,156	99,23	99,994	99,58	99,79

Минералогический анализ

Результаты, полученные при анализе XRD, представлены в табл. 2. Из таблицы видно, что рассматриваемые материалы состоят в основном из гиббсита (62,7–80,1 %), с которым связаны каолинит (1,5–8,1 %), гематит/гетит (1,5–21,2 %). Гетиты преобладают в бокситах Фриа по сравнению с другими, что свидетельствует о наличии значительного количества железа в этих типах бокситов. Анатаз (1,8–2,4 %) встречается только в гвинейских бокситах, а также в кварце (0,5–1,0 %) и бемите (1,1–6,2 %). Самый высокий процент гиббсита обнаружен в GN-LMG, но боксит GN-SMG содержит самый высокий процент Al₂O₃ (табл. 1), так как содержит более высокий процент бемита. Боксит SL-1 имеет высокий процент каолинита в своей структуре, что определяет высокое содержание кремнезема. Согласно результатам фазового анализа, алюминий (в гиббсите) находится в форме, легко растворимой в щелочи. Этот метод анализа не позволил определить изоморфное замещение железа и алюминия (алюмогетит). Их содержание определяется только стандартным выщелачиванием и анализом красного шлама. Минералы железа: гетит и гематит широко распространены в бокситах, и количественное определение рентгеновским методом этих минералов, взятых с глубин 0–14 м в месторождениях провинции Боке, показывает, что гетит постоянно преобладает над гематитом

(для бокситов Dian-Dian GN-BDD и Фриа GN-BF). Следует также отметить, что при переработке бокситов, содержащих большее количество бемита, таких как GN-SMG; GN-BDD и GN-LMG, образуется изоморфная смесь бемита и алюмогетита, что может быть причиной потерь щелочи и раствора алюмината натрия.

Т а б л и ц а 2

Результаты минералогического анализа образцов бокситов

Минерал		Масс в %.				
		SL-1	GN-LMG	GN-SMG	GN-BF	GN-BDD
Гетит	FeO(OH)	9,9	4,0	1,3	21,2	18,6
Гематит	Fe ₂ O ₃	5,3	4,9	4,7	10,4	8,4
Гиббсит	Al(OH) ₃	76,7	80,1	79,0	62,7	63,5
Гиббсит	TiO ₂	–	1,8	1,1	1,4	2,4
Кристаллит	SiO ₂	–	1,2	0,6	–	–
Бемит	AlO(OH)	–	1,1	6,2	0,3	2,1
Кварц	SiO ₂	–	1,0	0,8	0,7	0,5
Рутил	TiO ₂	–	–	0,7	1,1	–
Каолинит	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	8,1	5,2	6,1	1,5	4,8

Заключение

Содержание минералов варьируется как между месторождениями, так и в пределах вертикальных участков рудных тел, отражая различия в составе исходных пород. Состав руды Сангареди сильно отличается: она сильно обогащена глиноземными минералами (гиббсит и бемит), и в меньшей степени минералами железа. Эти различия обусловлены генезисом данного месторождения. Проведенные исследования показывают высокую степень кристалличности всех без исключения гвинейских бокситов, что позволяет рекомендовать методы рентгено-минералогического анализа для изучения их минерального состава. Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы: Бокситы из месторождений Западной Африки, в основном из Сьерра-Леоне и провинции Боке, представляют собой полиминеральные и полигенные образования, в которых гиббсит является главным компонентом, а гематит, гетит, бемит – вторичными. Примеси находятся в виде рутила, анатаза, каолинита, кварца и некоторых других. Эти типы бокситов образовались в почти одинаковых условиях и имеют примерно одинаковый минералогический и химический состав, поэтому, согласно анализу химического состава, их можно пере-

рабатывать при низкой температуре, как бокситы Фриа (108 °С), и при высокой температуре, как бокситы Сангареди для достижения максимального извлечения.

Библиографический список

1. Мамедов В. И. Геология Гвинейской Республики. Мин. горного дела и геологии Республики Гвинея; ООО «ГЕОПРОСПЕКТС»; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (факультет) Конакри / В. И. Мамедов, Ю. В. Буфеев, Ю. А. Никитин. – Москва : Акварель, 2010. – 320 с.

2. Калинина Л. П. Алюминиевое сырье Африки / Л. П. Калинина // Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт Африки Российской академии наук. – Москва. – URL: <https://www.inafran.ru/node/58> (дата обращения: 25.02.2022).

3. Крупнейшие запасы бокситов по странам мира 2019. Опубликовано Paul Manuel Godoy Hilario, 23 января 2020 г. – URL: <https://fr.statista.com/statistics/570891/pays-comptant-les-plus-grandes-reserves-de-bauxite-dans-le-monde/> (дата обращения: 25.02.2022).

4. Камара Усман Баба. Минералогия гвинейских бокситов по данным X-фазового анализа (на примере месторождений Сангареди и Дебеле) : спец. 04.00.20 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. ... кандидата геол.-минер. наук / Камара Усман Баба. – Москва, 1992. – 24 с. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000046755>(дата обращения: 25.02.2022). – Режим доступа: Электрон. б-ка дис. Рос. гос. б-ки.

5. Силла Ансуман Минералогия и генезис Средней и Нижней Гвинеи (на примере Диан-Диан, Фриа, Тугет, Киндия, Лосские острова): спец. 04.00.20 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. ... кандидата геол.-минер. наук / Силла Ансуман. – Москва, 1994. – 25 с. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000047519> (дата обращения: 25.02.2022). – Режим доступа: Электрон. б-ка дис. Рос. гос. б-ки.

6. Викторов Г. Геологическая классификация латеритных почв в Гвинее / Г. Викторов, А. Бортников, Б. Соу. – Боке : ISMGB ; Revue «Cristal». 2005.

7. Мамедов В. И. Этапы формирования уникальной бокситовой серии Сангареди (провинция Фута Джалон-Мандинго, Западная Африка) / В. И. Мамедов, А. А. Чаусов, А. И. Канищев // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 3. – С. 203–229.

8. Соу Бубакар. Условия формирования бокситовых месторождений в Гвинее. / Соу Бубакар // Конакри, Ревю «Политек». –1999. – Т. 1. – № 1– С. 203–229.

9. Логинова И. В. Получение новых продуктов на глиноземных заводах Урала / И. В. Логинова, С. В. Фомин // Цветные металлы. – 2000. – № 9. – С. 58–59.