

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бельков И.В.* Кианитовые сланцы свиты кейв. Геологическое строение, кристаллические сланцы и кианитовые руды. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 322 с.
2. *Бельков И.В.* Кианитовые месторождения // Минеральные месторождения Кольского полуострова. Л.: Наука, 1981. С. 163-177.
3. *Богданова В.С. и др.* Отчет по отбору технологической пробы крупно-конкреционных кианитовых руд месторождения Н. Шуурурта. Апатиты, 1969. Фонды ФГУП.
4. *Алексеев В.С.* Обогащение кианитовых руд // Освоение минеральных богатств Кольского полуострова. Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1974. С. 191-211.
5. *Алексеев В.С.* Теория и практика обогащения кианитовых руд. Л.: Наука, 1976. 199 с.

## АЛЮМИНИЕВОЕ СЫРЬЕ, НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ГЛУБОКОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

*Вахрушев А.В., Котова О.Б.*

Учреждение Российской академии наук Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар

Алюминиевое производство в России одно из ведущих в мире, но, несмотря на это, собственного глиноземного сырья все-таки не хватает, а запасы бокситов в основном низкого качества. Из-за большого дефицита бокситового сырья Россия импортирует большие объемы из Австралии, Казахстана и других стран. Анализ сырьевых ресурсов бокситорудных районов Российской Федерации показал, что месторождения Тиманского региона (Республика Коми) являются реальным перспективным потенциалом сырьевой базы алюминиевой промышленности страны.

В Республике Коми выделяются два бокситоносных района среднедевонского и нижнекаменноугольного возрастов. Первый – это **Среднетиманский бокситорудный район**, представленный шестью месторождениями, включая Ворыквинскую группу: Вежаю-Ворыквинское, Восточное, Верхнешугорское месторождения этой группы разведаны и доведены до промышленного освоения. Второй – это **Южнотиманский бокситорудный район**, представленный бокситами осадочного происхождения. Средний минеральный состав бокситов в главных залежах южнотиманских месторождений приведен в работах [1, 2]. Основные разведанные и уточненные запасы бокситов представлены тремя промышленными месторождениями – Тимшерское, Пузлинское и Кедвинское. Уточненные запасы бокситов по категориям С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub> составляют 60% от разведанных запасов Ворыквинской группы месторождений.

Основные запасы бокситов Среднего Тимана сосредоточены на Вежаю-Ворыквинском месторождении. Бокситы месторождения характеризуются различным качеством. Около 80% руд пригодны для переработки по способу Байера, 20% составляют спекательные руды. Основные рудообразующие минералы бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения представлены бемитом, гематитом, шамозитом, каолинитом, примеси составляют гидрослюда, кварц, рутил.

В результате геологического картирования месторождения выявляется, что выделяемые три типа руд не имеют четкой геометризации. Типы руд различаются по литолого-минералогическим показателям [3]. Необходимо подчеркнуть, что первый тип (гематит-бемитовый, красноцветные бокситы) составляет 77,7%, второй тип (гематит-шамозит-бемитовый, пестроцветные бокситы) – 19%, третий тип (каолинит-шамозит-бемитовый, пелитоморфные обеленные и красноцветные бокситы) – 3,3%.

Среднетиманский бокситовый рудник (СТБР) как горнодобывающее предприятие был введен в действие ОАО “Боксит Тимана” в 1998 г. на основе сырьевой базы месторождения бокситов Ворыквинской группы. Эти бокситы по качественным характеристикам подразделяются на сорта: глиноземные, маложелезистые, абразивные, а по способам переработки делятся на байеровские и спекательные.

Бокситы глиноземистых сортов являются основным объектом добычных работ и направляются на переработку на Уральский, Бокситогорский и другие алюминиевые заводы России. Кроме того, бокситы поставляются на абразивные заводы.

Добыча руды на СТБР осуществляется как с применением традиционного буровзрывательного способа, так и с применением добычного комбайна фирмы Man Takraf, обеспечивающего тонкослоевую выемку руды, что позволяет вести селективную отработку руды. Из-за ограниченности запасов алюминиевого сырья необходима его глубокая комплексная переработка и рациональное использование. Уже при послонной выемке белоцветные бокситы худшего качества, как и низкожелезистые глинисто-глиноземистые породы и каолины извлекаются отдельно и могут быть использованы для производства цемента, минеральных сорбентов, коагулянтов и в других отраслях промышленности. Качество оперативно контролируется в экспертной лаборатории рудника с использованием современных экспресс-анализаторов и компьютерной техники.

Ресурсный потенциал бокситов Тиманского региона выявлен еще не в полной мере. Он может быть увеличен в результате доизучения месторождений (например, Светлинского) и прилегающих площадей, а также открытия новых.

Промышленное освоение бокситов месторождений Южнотиманской группы откладывается в силу ряда причин, в том числе из-за повышенной сернистости значительной части рудных запасов. Возрастающая потребность в алюминиевом сырье при истощении сырьевой базы приводит к поискам новых источников. В последние десятилетия резко возрос интерес к нетрадиционным видам алюминиевого сырья и освоению месторождений нового типа, к категории которых можно отнести проблемные алюминиевые руды с низким содержанием Al, железистые и т.п., включая техногенные образования и отходы, а также достаточно интенсивно вовлекается в переработку тонкодисперсная составляющая алюминиевых руд [4].

Вовлечение в промышленную переработку нетрадиционного сырья требует создания эффективных экологически чистых технологий передела, позволяющих максимально извлекать все минералы и компоненты руд и пород, а также использовать их технологические и потребительские свойства. Одновременно происходит развитие обогатительных технологий, вовлечение в переработку бедных и проблемных бокситовых руд. За рубежом и в России успешно развиваются поисковые работы по перспективным направлениям применения тонкодисперсного бокситорудного сырья, в т.ч. и на наноразмерном уровне. Разрабатываются и внедряются наукоемкие технологии производства новых технических материалов. Сотрудниками Института химии Коми НЦ УрО РАН показана перспективность использования белоцветных маложелезистых бокситов (МЖБ) Среднего Тимана в производстве бронезащитной керамики и других керамических изделий с заданными проводниковыми свойствами [5].

Технологические исследования бокситов Тимана проводились на протяжении многих лет различными организациями, в их числе ВИМС, Механобр, ПечорНИПИнефть и др. Ими ставились задачи по определению кремниевого модуля бокситов и возможности переработки их методами Байера, Байера-спекания, разработке методов обогащения – флотация, обжиг, утилизация красных шламов и др. К составной части комплексной переработки алюминиевого сырья относится обессеривание бокситов. Одним из применяемых на практике способов обессеривания бокситов являются различные технологии обжига. В Институте геологии Коми НЦ УрО РАН Б.А.Осташенко с группой сотрудников был предложен другой возможный способ частичного обессеривания бокситов – это гравитационный способ разделения серосодержащих минералов (пирит, марказит) и минералов глинозема (бемит, гиббсит) и каолинита, основанный на разности в удельных весах указанных минералов. Наиболее популярными остаются различные методы обжига бокситов, в т.ч. в так называемом “кипящем слое” с подачей в реакционную зону кислорода. Другой способ удаления серы из сульфидсодержащих бокситов известен как кучное выщелачивание [6]. По мнению авторов, этот способ обессеривания бокситов более экологически безопасен.

Для удаления избыточного количества железа могут применяться различные способы: химические, флотационные, магнито-сепарационные. Наиболее эффективными являются химические различные методы химического способа. В одной из работ [7] отмечено, что 94% оксидов железа удалялось при использовании соляной кислоты. Однако в условиях крупномасштабного производства такой метод неприемлем из-за экологической безопасности. В то же время широкой популярностью пользуются физические методы обогащения с применением высокоградиентных магнитных сепараторов. Степень извлечения железа, например, в каолинах составляет до 50%. Использование таких сепараторов может не только улучшить технологические показатели глиноземного производства, но и значительно увеличить сырьевой потенциал низкожелезистых бокситов Среднетиманского бокситорудного района.

Комплексный подход к бокситовому сырью, включающий методы предварительного обогащения (флотация), обжиг, утилизацию красных шламов, переработку бокситов с получением чугуна и строительных материалов (цемента), позволяет значительно снизить его себестоимость. Анализ химического состава показал, что содержание примесей между марками глинозема, полученного из боксита Средне-Тиманского месторождения, отличается незначительно и не превышает требований ГОСТа 30558-98. Однако по физическим свойствам ни одна рассматриваемая марка глинозема не удовлетворяет требованиям зарубежных стандартов. Для рентабельного производства алюминия из сырья с низким содержанием полезного компонента должны использоваться недорогие технологии обогащения руды. Для решения проблем этого плана необходимо применение современной инструментальной базы для более глубокого изучения физико-химических характеристик алюминиевого сырья и выявления влияния их на технологические показатели при производстве алюминия, включая глинозем тонких фракций (-45 мкм и меньше).

Одним из перспективных неразрушающих методов исследования является рентгенодифракционный метод. Метод рентгеновской рефлектометрии (РР) позволяет решать некоторые специфические задачи, недоступные для других методов. Например, выявлять и изучать наноструктурные образования в природных алюмосиликатных комплексах, которые можно рассматривать в качестве нетрадиционных видов сырья для получения алюминия. Этот метод позволяет с высокой точностью оценить физические и геометрические свойства исследуемых объектов, измерить диаметр пор и наноструктур.

В основе РР лежит измерение отражательной способности в интервале малых углов скольжения (вблизи полного внешнего отражения – ПВО). Наибольшее развитие получил интегральный метод, с помощью которого можно определить такие параметры, как плотность материала, среднеквадратичную высоту шероховатости поверхности и толщину пленки, нанесенной на гладкую поверхность. Также широко используются исследования поверхности на основе дифференциальных кривых РР. Угловое распределение коэффициента отражения определяется диэлектрической постоянной вещества и характеристиками поверхности.

Разработан надежный метод не только изучения физико-химических свойств тонкодисперсной составляющей, но и отслеживания структурных изменений тонкодисперсной составляющей алюминиевых руд. Предложена методика исследования приповерхностных слоев алюмосиликатных комплексов методом РР для оценки с высокой точностью их физических и геометрических свойств, а также тонких пленок, наносимых различными способами на алюмосиликатные подложки, измерения диаметра пор и нанотрубок в малой нанометровой области [4]. Получена следующая зависимость распределения интенсивности от угла сканирования. Для определения пористости используется соотношение теоретических и экспериментальных значений углов ПВО.

$$\theta_{\text{эксп}} = \theta_{\text{теор}}(1-P)^{1/2} \quad (1)$$

Методика необходима для контроля качества физико-химических (например, сорбционных) свойств и (или) при создании из техногенных отходов бокситовых производств новых веществ (сорбентов, катализаторов, строительных материалов). Например, обжиговым способом получают активированный боксит с высокой адсорбционной емкостью, используемый в качестве сорбентов в различных отраслях производства, в том числе для обесцвечивания нефтепродуктов, удаления из них серы и получения высокоактивированного бензина [6].

В частности, полученные данные по методике рефлектограммы позволили произвести оценку диаметра пор анализатора, которая составляет 5 нм и хорошо согласуется с данными других исследователей [8]. Используя соотношение теоретического и экспериментального значений углов полного внешнего отражения, стало возможным определить пористость по формуле (1). Она получилась равной 17%. Кроме того, были оценены параметры нанотрубок анатаза, которые согласуются с данными полученными другими методами [8]. Следует отметить, что анализитомсодержащие породы имеют значительное распространение на Тимане (содержание анализитом достигает 80%) и могут быть рассмотрены как перспективное сырье на бедные алюминиевые руды. Так, например, в работе предложены методы направленного модифицирования их физико-химических свойств и изменения параметров структуры слагающих минералов на примере кислотного, термического, акустического методов воздействия, что можно принимать за основу для разработки эффективных технологических процессов, включая получение алюминиевого сырья [9].

В процессе исследования нами были изучены шлифы, пробы бокситов Среднего Тимана (Вежаю-Ворыквинского месторождения). В дальнейшем планируется аналогичное изучение объектов Южного Тимана. **Основными методами** исследования были определены: рентгеновский фазовый анализ (работы выполнены в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН и ВИМСе) и Мессбауэровская спектроскопия (МИСиС, аналитик В. Коровушкин), петрографический анализ (ВИМС аналитик С.Е.Сорокина). Почему были выбраны именно эти методы? В результате литературного обзора предыдущих исследований было выяснено, что определение достоверной концентрации гетита в бокситах не всегда может быть получено такими классическими методами, как термография и ИК-спектроскопия, так как в диагностической области могут присутствовать эндоэффекты и полосы поглощения других минералов в пробах. В то же время сопоставление данных количественного определения гетита показало, что дифрактометрическим методом регистрируется общее количество гетита, а методом ядерного гамма резонанса количество тонкодисперсного и раскристаллизованного гетита в отдельности. Сходимость результатов метода хорошая. Сопоставление данных рентгеновской дифрактометрии и Мессбауэровской спектроскопии позволяет определить содержание гематита, величину изоморфного замещения в гетите и гематите, количество ионов двух и трехвалентного железа, их неэквивалентные кристаллографические позиции и перестройку структуры. Рентгеновская дифрактометрия по литературным данным применялась для качественного и количественного анализа содержания минералов в породах, для получения среднестатистических сведений о дальнем порядке расположения ионов в кристаллической решетке. Данные рентгеновского анализа сопоставлялись с петрографическим анализом шлифов образцов.

Получены следующие данные по минеральному составу: главные: бемит – 37%, гематит – 23%; второстепенные: гетит – 2%, анатаз – 1,5%, рутил – 1,5%, диаспор – 1%, шамозит – 1%, возможно наличие вудхаузеита до 1%, для точного определения его наличия требуются дополнительные исследования. По данным петрографического анализа: основная ткань руды на 40% сложена микрокристаллическими агрегатами бемита, диаспора, анатаза, рутила и шамозита (фазы определены с помощью рентгенографического фазового анализа), которые совместно с конкрециями и пустотами выщелачивания образуют оолитовые выделения. Оолиты секутся гематит-гетитовыми (фазы определены с помощью рентгенографического фазового анализа) прожилками (мощностью около 1,5 мм), также местами имеющие форму конкреций. Бемит-диаспор-шамозит-анатаз-рутиловые агрегаты имеют обломочную структуру и содержат включения беспорядочно расположенных зерен, со средним размером до 0,07 мм. Порода в нескольких местах сечется «сухими» трещинами с максимальной мощностью 0,4 мм.

Для Вежаю-Ворыквинского месторождения был проведен гранулометрический анализ проб дробленных до 1 мм по методике отработанной в лаборатории геологии кайнозоя (аналитик Т.М. Тимошенко). Выявлены некоторые особенности распределения вещества в зависимости от гранулометрического состава (табл.).

Таблица. Гранулометрический состав бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения

Размер частиц, мм	1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,03	0,03-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
%	5,1	14,1	25,6	18,2	17,3	0,2	1,0	3,7	8,9	5,9

**В заключение** необходимо подчеркнуть, что на Тимане существует два разных минералогических типа бокситов – каолинит-гипсбитовый бессернистый и каолинит-бемитовый сернистый. При существующих технологиях бокситы первого типа могут вводиться в технологические схемы без предварительной подготовки, тогда как большая часть бокситов второго типа в вышеуказанных отраслях производства возможна лишь после удаления серы по ГОСТу. Разрабатываемые новые методы и подходы позволят более эффективно использовать алюминиевое сырье при глубокой комплексной переработке и расширить сферы потребления как самого сырья, так и утилизацию отходов.

*Работа выполняется в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН в рамках программы ОНЗ-3 проекта “Развитие научных основ эффективных технологий глубокой и комплексной переработки труднообогатимых руд и углей” 09-Т-5-1012 в тесном сотрудничестве с ООО «Боксит Тимана», часть исследований выполнена в «ВИМСе» и МИСиСе.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев В.В.* Минерально-сырьевая база алюминиевой промышленности России: состояние и перспективы. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1999. 66 с.
2. *Беляев В.В.* Маложелезистые белочетные бокситы: распространение, состав, промышленное использование // Научные достижения – практике. Вып. 126. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2009. 44 с.
3. *Демина В.Н.* Бокситовые месторождения Среднего Тимана // В сб.: Генетическая классификация и типы бокситовых месторождений СССР. М., Наука, 1974.
4. *Вахрушев А.В., Любинский И.Ф., Котова О.Б.* Новые методы и средства комплексной переработки алюминиевого сырья Республики Коми // Материалы XV Геологического съезда РК: Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России. Сыктывкар: Геопринт, 2009. С. 349-351.
5. *Голдин Б.А., Секушин Н.А., Рябков Ю.И.* Электропроводящая керамика на основе маложелезистых бокситов Среднего Тимана. Сыктывкар, 1992. 13 с.
6. *Кучное выщелачивание благородных металлов.* М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 647 с.
7. Север: наука и перспективы инновационного развития / Отв. ред. В.Н. Лаженцев. Сыктывкар, 2006. 400 с.
8. *Котова О.Б., Понарядов А.В., Вахрушев А.В., Шушков Д.А.* Адсорбционные процессы и рентгенометрия минеральных наносистем // Материалы Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2008. С. 50–51.
9. *Котова О.Б., Шушков Д.А.* Анализимсодержащие породы Тимана как потенциальный источник получения алюминиевого сырья // Материалы второго российского семинара по технологической минералогии: Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья. Петрозаводск: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 21–24.
10. Девон в минерально-сырьевом потенциале Тимано-Североуральского региона / Н. П. Юшкин, И. Н. Бурцев, Б. А. Остащенко, Н. А. Малышев, В. В. Беляев. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 40 с.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД В СЕРПЕНТИНИТАХ (НА ПРИМЕРЕ ПЕЧЕНГИ)

*Ракаев А.И.<sup>1</sup>, Нерадовский Ю.Н.<sup>2</sup>, Черноусенко Е.В.<sup>1</sup>, Морозова Т.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Горный институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Геологический институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты

#### **Введение**

Вкрапленные руды в серпентинизированных перидотитах являются основным сырьем для перерабатывающих предприятий Печенгского района. Интенсивное освоение медно-никелевых руд Печенги привело в настоящее время к необходимости разработки более бедных руд, в которых значительно изменяются технологические свойства. Вместо традиционных хорошо изученных вкрапленных и брекчиевидных руд [1, 2], в качестве альтернативных в Печенгском рудном районе рассматриваются и тонковкрапленные руды в серпентинизированных перидотитах [3]. Руды такого типа распространены во многих массивах серпентинитов в Печенгском рудном поле [4]. Целью настоящих исследований являлось изучение вещественного состава и технологических свойств таких руд одного из массивов центральной части Печенгского рудного поля [5].

Печенгское рудное поле сложено туфогенно-осадочными и вулканогенно-осадочными породами четвертой (Пильгварвинской) толщи печенгской серии и прорывающими их интрузиями ультраосновных-основных пород, относящихся к габбро-пироксенит-перидотитовой (верлитовой) формации. Сульфидные медно-никелевые руды приурочены к ультраосновным породам, представленным в основном серпентинитами. В рудном поле установлено более 300 массивов