

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

### КИАНИТОВЫЕ РУДЫ КЕЙВ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ СЫРЬЕВАЯ БАЗА РОССИИ

*Войтеховский Ю.Л.<sup>1</sup>, Гришин Н.Н.<sup>2</sup>, Нерадовский Ю.Н.<sup>1</sup>, Касиков А.Г.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН, г. Апатиты

В восточной части Кольского п-ова расположены крупнейшие в мире Кейвские месторождения высокоглиноземистого сырья – кианитовых руд, которые используются во многих отраслях промышленности: в черной и цветной металлургии, машиностроении, керамическом, абразивном и стекольном производстве. С различной степенью детальности в Кейвах разведано 29 месторождений кианита, из которых 6 с запасами около 3.4 млрд. т. Ресурсы кианитовых руд Кейвских месторождений до глубины 100 м по прогнозу составляют около 11.7 млрд. т [1, 2]. Среднее содержание кианита в рудах 31.9 %. Разработанная институтом “Механобр” и КФ АН СССР и проверенная в опытно-промышленных условиях на заводе “Сибэлектросталь” гравитационно-флотационно-магнитная схема обогащения крупноконкреционной кианитовой руды месторождения Новая Шуурурта обеспечивает получение кианитовых концентратов с содержанием 56-57%  $Al_2O_3$ , около 40%  $SiO_2$  и 0.6% оксидов железа [3]. Концентрат такого качества удовлетворяет характеристикам первого и высшего сортов коммерческой продукции. Кейвские месторождения имеют высокие экономические предпосылки для освоения [4], но их разработка сдерживается удаленностью и отсутствием инфраструктуры.

В настоящее время в Российской Федерации работают 11 алюминиевых заводов, но собственным сырьем они обеспечены на 35-40%. Основное сырьё – глинозем, сибирские алюминиевые заводы покупают в Австралии и перевозят его морским, а далее железнодорожным транспортом на 4-4.5 тыс. км. Это сопоставимо с перевозками из Мурманской области. Кейвские кианиты являются альтернативным видом сырья для создания крупномасштабного производства алюминия в России без привлечения бокситов и глинозема.

Разведанные запасы кианитовых руд в других странах составляют 450 млн. т. Производители концентратов: ЮАР, США, Индия, Франция, Бразилия, Швеция, Испания, Украина. В сумме они получают 700-750 тыс. т продукции в год. Большие запасы руды в кианитовых кварцитах с содержанием кианита 10-30% находятся в США, они же являются основным производителем кианита. Из стран бывшего СССР небольшое производство кианит-силлиманитового порошка есть на Украине.

Россия обладает уникальными запасами кианита, но промышленно освоенные месторождения и производство кианита отсутствуют. Вместе с тем, сохраняется дефицит огнеупорных материалов для различных отраслей промышленности. Перспективным направлением является использование кианита как заменителя дорогостоящего и дефицитного электрокорунда в технологиях производства противопригарных материалов для точного литья в авиационной промышленности. Российские потребители применяют дорогостоящие огнеупоры отечественного производства с использованием электрокорунда, карбида кремния и циркона [5].

По химическому составу кианит является самым высокоглиноземистым сырьем после бокситов, содержание  $Al_2O_3$  в нем составляет 63.2%, что почти в 2 раза выше, чем в используемых нефелине и алуните. Но его использование ограничивается в основном огнеупорной промышленностью (около 90%), в незначительных количествах он потребляется в стекле, санитарной и технической керамике, противопригарных красках и пастах. Это обусловлено способностью кианита к муллитобразованию при нагревании. В перспективе потребление кианита в производстве огнеупоров ежегодно будет расти. Ожидается, что при этом 40% кианита будет использоваться в производстве железа и стали, 30% – в металлургии других металлов, 20% – в стекольной и керамической промышленности 10% – в прочих отраслях. Современные технологии позволяют сделать кианит основным сырьем для производства алюминия. Одним из важнейших направлений использования кианита считается получение высокоглиноземистых материалов и металлического алюминия электротермическими методами.

В 1980-90 гг. исследована переработка минерального и технического сырья карботермическим восстановлением каолиновых глин и кианита для разделения  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  [6, 7], обобщены результаты исследований по получению различных материалов, в том числе  $Al_2O_3$ , в карботермическом процессе восстановления. С учетом имеющихся сведений по условиям протекания процесса, авторами продолжено изучение карботермического восстановления кианита для разделения  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ . Работа проводилась с кианитовым концентратом Хизоваарского месторождения (масс. %:  $Al_2O_3$  51.97;  $SiO_2$  40.94;  $Fe_2O_3$  2.58), изученным ранее как огнеупорное сырьё [8]. Полученные данные согласуются

с предложенной ранее реакцией карботермического восстановления кианита, включающей предварительное образование из него муллита в процессе высокотемпературной обработки [9]:

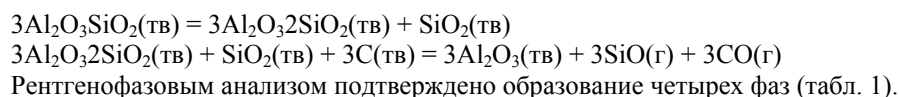


Таблица 1. Минеральный состав проб после восстановительного обжига и прокаливании по данным рентгенофазового анализа

Пробы	Содержание фаз, %			
	Корунд	Муллит	Кристобалит	Полевой шпат
1	60	25	10	5
2	50	35	8	5
3	70	18	7	5
4	67	20	8	5

В результате восстановительного обжига получен материал, который по содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  отвечает требованиям к высокоглиноземистым компонентам для производства огнеупоров марки МКП-72. Продукты проб 3 и 4 близки по химическому составу к высококремнистым маложелезистым бокситам и могут использоваться для дальнейшего получения металлургического глинозема [10]. Гранулометрический анализ материала (проба 3) позволил установить, что глинозем и окись кремния сосредоточены на 70% в частицах менее 50 мкм. Дальнейшие опыты разделения частиц в гидравлическом классификаторе и методом мокрой магнитной сепарации показали, что второй метод более эффективен для отделения примеси Fe и Si. В результате удалось повысить содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на 2%. Таким образом, результаты карботермического восстановления кианитового концентрата невысокого качества показали, что может быть получен основной сырьевой компонент для получения высокоглиноземистых огнеупоров марки МКП-72 или прекурсор для получения металлургического глинозема.

Опыты в других условиях (иная скорость роста температуры при обжиге, продолжительность выдержки при наивысшей температуре, величина добавки углеродистого восстановителя, вид разрыхляющей добавки) дали следующие результаты: из сырого кианитового концентрата получен материал с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  81-83%,  $\text{SiO}_2$  6-8%; из обожженного кианитового концентрата –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  84-86%,  $\text{SiO}_2$  6% и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  94-95%,  $\text{SiO}_2$  0.5-1.5%. Последний продукт можно рассматривать как прекурсор для получения металлического алюминия. В настоящее время авторами разработана схема получения силумина на основе восстановительного обжига кианитового концентрата в плазмотроне. Это позволяет эффективно и быстро переводить систему в состояние оптимальной реакционной способности и удалять примеси через газовую фазу. В качестве попутного сырья при добыче кианита могут извлекаться: сульфидный концентрат, рутил и ильменит, кварц, абразивные гранаты [11]. Большое значение может иметь ставролит [12], а также графит.

Учитывая изложенное, представляется целесообразным поставить вопрос о комплексном использовании кейвских сланцев как базового месторождения для крупномасштабного производства алюминия в России и крупного рудного объекта на золото, никель, кобальт, селен, а ставролитовых сланцев Кейв – как нового вида алюминиевого сырья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бельков И.В., Истомин А.В., Матвеев Б.А. Экономические предпосылки разработки открытым способом кианитовых руд месторождения Нова Шуурурга // Теория и практика работы карьеров Заполярья. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1974. С. 14-18.
2. Недра северо-запада Российской Федерации / Коровкин В.А., Турылева Л.В., Руденко Д.Г., Журавлева В.А., Ключникова Г.Н. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. 500 с.
3. Алексеев В.С. Обогащение кианитовых руд // Освоение минеральных богатств Кольского полуострова. Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1974. С. 191-211.
4. Федосеев В.А., Истомин А.В. Экономические предпосылки освоения новых месторождений и создания перерабатывающих производств на Кольском полуострове // Освоение минеральных богатств Кольского полуострова. Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1974. С. 225-256.
5. Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С. Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 230 с.
6. Швейкин Г.П., Переляев В.С. Переработка минерального и техногенного сырья карботермическим восстановлением // Изв. АН. Сер. хим. 1997. № 2. С. 233-245.
7. Голдин Б.А., Грасс В.Э., Рябков Ю.И. Вакуумная карботермическая переработка маложелезистых бокситов // Стекло и керамика. 1998. № 10. С. 25-27.

8. Кононов М.Е. Огнеупоры из минерального сырья Карело-Кольского региона. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 180 с.
9. Bechtold B.C., Culter I.B. Reaction of clay and carbon to form and separate  $Al_2O_3$  and SiC // J. Am. Ceram. Soc. 1980. N 5-6. P 71-275.
10. Глиноземный завод // Экономическая энциклопедия. Промышленность и строительство. М.: Изд-во Энциклопедия, 1962. С. 299-306.
11. Бельков И.В. Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 321с.
12. Войтеховский Ю.Л., Нерадовский Ю.Н. Кианитовые сланцы кейвской свиты – уникальные комплексные руды (Кольский п-ов) // Тр. III Межд. конф. «Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов». Сыктывкар, 25-27 сент. 2007 г. Сыктывкар: Геопринт, 2007.

## МИКРОТВЕРДОСТЬ ГРАНАТА

*Бубнова Т.П.*

Учреждение Российской академии наук Институт геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск

Широко распространено определение твердости минералов с использованием десятибальной шкалы Мооса. Этот метод позволяет проводить быструю диагностику минералов, но при этом твердость имеет относительные значения. Одной из величин, характеризующих количественную оценку твердости минерала, является микротвердость, определяемая методом Виккерса [1]. В отличие от показателя твердости по шкале Мооса (где относительная твердость определяется путем царапания эталонное поверхности испытываемого объекта), микротвердость, отражает способность того или иного материала сопротивляться постоянно вдавливаемой нагрузке. Сущность метода заключается во вдавлении в испытуемый материал правильной четырехгранной пирамиды (с углом 136 град. между противоположными гранями) на определенное время и измерении оставленного отпечатка. Микротвердость по Виккерсу вычисляется по формуле:

$$H = \frac{1.8544 \cdot 9.81 \cdot P}{d^2}, \text{ кгс/мм}^2$$

где: P – нагрузка, кгс;

$d^2$  – площадь поверхности полученного пирамидального отпечатка, мм<sup>2</sup>

Немаловажно, что метод Виккерса позволяет также проводить диагностику различных минералов, детальные исследования свойств отдельных монокристаллов (анизотропия твердости, хрупкость, микроразнональность). Одним из минералов, для которого проведен анализ показателей микротвердости с целью дальнейшего определения корреляции с физико-механическими показателями, является гранат. Массовые замеры микротвердости зерен граната на плоскополированных аншлифах выполнены по стандартной методике на приборе ПТМ-3.

Обобщающие результаты по замерам микротвердости граната ряда месторождений и проявлений гранатовых руд Карелии представлены в табл. 1. С целью статистического анализа значений микротвердости проведено вычисление математических характеристик, отражающих меру рассеяния значений случайной величины около среднего значения.

Разброс данных невелик, что отражает коэффициент вариации (V), имеющий значения в пределах 0,10-0,16. Показатели асимметрии (A) и эксцесса (E), находятся в пределах диапазона от -2 до +2, что указывает на незначительные отклонения от нормального распределения данных. То есть можно говорить об определенной достоверности выборки данных и вероятности попадания случайной величины в заданном интервале.