

**МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ  
АПАТИТСОДЕРЖАЩИХ РУД РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА**

*Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В.*

Карельское отделение. Институт геологии Карельского научного центра РАН  
(kameneva@krc.karelia.ru),

**MINERALOGICAL-TECHNOLOGICAL INVESTIGATIONS TO  
CHOOSE THE SCHEME OF PROCESSING FOR APATITE-BEARING  
ORES OF DIFFERENT GENESIS**

*Kameneva E.E., Skamnitskaya L.S., Shchiptsov V.V.*

Karelian branch. Institute of Geology KRC RAS  
(kameneva@krc.karelia.ru)

Современный этап освоения недр связан с вовлечением в промышленное освоение руд новых и малых месторождений, в большинстве случаев характеризующихся сложным вещественным составом и трудной обогатимостью. Добыча и обогащение таких руд связаны с ростом затрат при снижении извлечения полезных компонентов, а получаемые минеральные концентраты не всегда отвечают техническим условиям и требованиям экологической безопасности.

Эта проблема касается апатитсодержащих руд – основного поставщика сырья для производства минеральных удобрений. В России основными поставщиками апатитового концентрата являются ОАО «Апатит» и ОАО «Ковдорский ГОК» (Мурманская область). Ввиду того, что запасы богатых апатитовых руд на севере России постепенно истощаются, возникает необходимость расширения минерально-сырьевой базы главным образом за счет бедных руд новых месторождений. В этой связи интерес представляют апатитсодержащие руды Карелии.

На территории Карелии известны три объекта, имеющие апатитовую минерализацию (таблица): участок Карбонатитовый Тикшеозерского массива, сложенный апатитоносными карбонатитами со средним содержанием пятиоксида фосфора 4,5 %, участок Восточный Тикшеозерского месторождения (apatит-пироксеновое проявление, содержание  $P_2O_5$  - 3,5%), Элисенварский массив (apatит-силикатные породы,  $P_2O_5$  - 3,6%).

Характеристика проявлений апатитовых руд в Карелии

Рудный массив	Тип руды	Минеральный состав	Содержание $P_2O_5$ , %	Запасы $P_2O_5$ , млн.т.
Тикше-Озерский	Апатитоносные карбонатиты	Апатит (1-17%), кальцит (50-70%), доломит (7-25%), биотит (1-9%), магнетит (1-4%), силикатные минералы (0,5-7%)	4,51	40,0
Восточный	Апатит-пироксенитовый	Апатит (8-9%), карбонаты (0,5-1,5%), титаномагнетит (11-22%), амфиболы (28-52%), титанит (1-3%), пироксен (19-28%), ильменит (1,8-5,1%)	3,50	7,0
Элисенваара	Апатит-силикатный (ладогалиты)	Апатит (3-15%), титанит (1-4%), циркон (0,01-0,15%), роговая обманка (0-45%), амфибол (0-35%), пироксен (0-15%), карбонат (0-0,55%)	3,62	10,0

Признанная в настоящее время геолого-промышленная классификация месторождений апатита основана на принципе их формационной принадлежности с учетом фактора комплексности. В соответствии с этой классификацией месторождения делятся на собственно апатитовые (апатит является главным компонентом) и комплексные апатитсодержащие. Последние, в свою очередь подразделяются на две группы: 1) апатит является одним из основных компонентов при комплексном использовании; 2) содержание  $P_2O_5$  в рудах менее 4% (убогие руды), апатит является попутным компонентом. Руды Карельских месторождений, таким образом, по содержанию апатита относятся к разряду убогих, и апатит из них может извлекаться только как попутный компонент (Минерагения..., 1994).

До последнего времени апатитсодержащие руды Карелии не рассматривались как промышленно значимые объекты и в технологическом отношении изучены явно недостаточно.

В Институте геологии Карельского научного центра РАН в 80-е годы прошлого столетия были проведены лабораторные исследования на обогатимость апатитовых карбонатитов участка Карбонатитовый Тикшеозерского месторождения, в результате которых была предложена технология комплексного обогащения и показана принципиальная возможность выделения, наряду в карбонатным продуктом, апатитового концентрата с содержанием 38%  $P_2O_5$  (Бархатов, Малинская, Дьяконова, 1990). Эти исследования носили поисковый характер и были выполнены в ограниченном лабораторном масштабе. Ввиду отсутствия в тот период

времени устойчивого спроса на основной вид продукции – карбонатный концентрат, дальнейшие работы в этом направлении были прекращены.

В настоящее время, учитывая актуальность проблемы расширения минерально-сырьевой базы апатита, в Институте геологии Карельского научного центра РАН исследования апатитсодержащих руд возобновлены. Целью нового этапа работ является изучение взаимосвязи вещественного состава и технологических свойств руд.

В результате минералого-технологического изучения апатитсодержащих руд Карелии установлено, что они различаются по минеральному, химическому составу, текстуре и структуре, физико-химическим и другим свойствам не только в разных месторождениях, но и в пределах одного рудного тела. Известные классификации в той или иной мере учитывают перечисленные признаки, но степень важности их в отношении оценки технологических свойств до сих пор остается недостаточно раскрытой.

Проведенными минералого-технологическими исследованиями апатитсодержащих руд установлено, что основное влияние на их технологические свойства оказывают три группы факторов: 1) характер петрогенной основы, 2) текстурно-структурные особенности, 3) состав и свойств рудообразующего апатита. В зависимости от этих факторов выбирается метод обогащения и последовательность технологических операций.

*Элсенваарское месторождение* щелочных пород образует вулканоплутонический комплекс (Райвимажский и Кайвомяжский массивы апатит-силикатных руд). Оба массива сложены магматическими породами двух фаций глубинности – гипабиссальной и диатермовой. Апатитоносные породы – невоиты и ладогалиты сформированы в раннюю фазу (Хазов, Попов, Бискэ, 1993).

Руды содержат (масс. %): апатит (3-15), титанит (1-4), циркон (0,1-45), амфибол (0-35), пироксен (0-15), карбонаты (0-0,55). Отмечаются существенные колебания в содержании основных рудообразующих минералов. Апатит относится к фторапатитам с высоким содержанием стронция.

Руды Райвимажского и Кайвомяжского массивов характеризуются значительным различием физико-химических свойств апатита и сопутствующих минералов, что является благоприятным фактором для их обогащения флотационным методом. Раскрытие основной части сростков достигается при крупности 0,2мм, однако около 10% сростков раскрываются при крупности 0,1 мм и менее. Зерна апатита в основной массе чистые, но встречаются зерна, пораженные микровключениями биотита, карбонатов, сфена. В отдельных пробах отмечаются зерна апатита, покрытые пленками. Содержание измененных зерен не превышает 3-5% в общей массе пробы и не может оказать существенного влияния на качество апатитового концентрата.

Проведена сравнительная оценка обогатимости руд по флотационной, магнито-флотационной и магнито-электрической схемам (Бархатов, Скамницкая, 1981). Наиболее рациональной является магнито-флотационная технология, позволяющая выделить из ладогалитов и невоитов высококачественный апатитовый и стронций-барийсодержащий полевошпатовый концентраты. На стадии крупного измельчения удается выделить концентрат мелкочешуйчатого биотита, который может найти применения при производстве строительных материалов, в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности. Технология предусматривает попутное выделение титанитового концентрата.

Полученный апатитовый концентрат содержит 38% пятиоксида фосфора.

*Тикшеозерское месторождение апатитовых карбонатитов* относится к апатит-титаномагнетит-ильменитовому типу в габброидах. Месторождение представлено в протоорогенной области Фенноскандинавского щита (щелочно-габброидный подтип), время его возникновения определяется поздним археем.

Апатит-карбонатные руды Тикшеозерского массива представлены (масс.%): апатитом (1-17), кальцитом (50-70), доломитом (7-25), биотитом (1-9), магнетитом (1-4), силикатными минералами (0,5-7).

Апатит выделяется в две генерации. Первая – апатит, сформированный в основную интрузивную фазу. Для него характерны как типоморфные (умеренно удлиненные кристаллы), так и округлые вытянутые зерна. Размер их составляет 1,2-1,6 мм и менее. Крупные зерна, как правило, сильно трещиноваты. Микротрещины залечиваются карбонатами или по ним развита сыпь меланократовых минералов. Часть зерен (независимо от размера) содержит микровключения слюд, амфибола, пирохлора. Чаще всего зерна апатита располагаются внутри карбоната, образуя цепочки или скопления с амфиболом, слюдой, магнетитом.

Вторая генерация апатита образована на стадии метасоматоза. Для этого апатита характерны короткостолбчатые или таблитчатые кристаллы или округлые зерна. Апатит располагается на границе зерен кальцита, а также в виде включений в слюдах и ассоциациях с амфиболом, слюдами, пироксеном (Щипцов, Цюнь, Желдаков, 1991).

Флотационные свойства разновидностей апатита Тикшеозерского месторождения достаточно высоки, и основная технологическая трудность заключается в его отделении от кальцита, обладающего близкими к апатиту физико-химическими и флотационными свойствами. Учитывая, что содержание кальцита в руде значительно выше, чем апатита, можно утверждать, что главным компонентом является карбонат. Освоение объекта возможно только комплексно с попутным извлечением апатита.

Технология обогащения этих руд предусматривает флотацию апатита по классической схеме и последующую флотацию кальцита из хвостов апатитового цикла. В результате лабораторных опытов получен

апатитовый концентрат, содержащий 38,8 % пятиоксида фосфора при извлечении 59,6 %

Таким образом, апатитсодержащие руды месторождений Карелии относятся к разряду убогих (по апатиту), но технологичных. Апатит можно рассматривать как попутный компонент. Освоение этих руд связано с первоочередным решением вопросов комплексного обогащения, определением направлений использования отдельных минеральных концентратов и поиском их потенциальных потребителей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ-Север (грант 05-05-97524С).

1. Минералогия и прогноз месторождений апатита. Сост. Р.М.Файзуллин. – М.: Недра, 1991. – 256с.

2. Бархатов А.В., Малинская И.С., Дьяконова О.Н. Особенности обогащения комплексных фосфатных руд Карелии // Комплексное освоение минеральных ресурсов севера и северо-запада СССР (Европейская часть). Петрозаводск, 1990.-С.107-113.

3. Хазов Р.А., Попов М.Г., Бискэ Н.С. Рифейский калиевый магматизм южной части Балтийского щита. – СПб.: Наука, 1993. – 216с.

4. Бархатов А.В., Скамницкая Л.С. Технологическая оценка обогатимости апатитовых руд Райвимаки-Кайвомякского массива (Западное Приладожье) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 1981, С.48-50.

5. Щитцов В.В., Цьонь О.В., Желдаков Ю.А. Распределение U-Th-Pb и редкометалльных элементов в апатитах Карелии // Минералогический журнал, 1991, Т.1, №14, С. 92-98.