

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ НЕТРАДИЦИОННОГО ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РФ

Отражены перспективы использования природных нетрадиционных видов огнеупорного сырья — высокоглиноземистых пород, содержащих минералы группы силлиманита, дистена и андалузита, а также алунитов, анортозитов, цирконийсодержащих пород. По предварительным качественным и количественным характеристикам эти виды сырья удовлетворяют требованиям к качеству огнеупорного сырья.

Ключевые слова: нетрадиционное огнеупорное сырье, высокоглиноземистые породы, алунит, анортозит, цирконийсодержащее сырье, Дальний Восток.

В настоящее время мировая тенденция в производстве огнеупоров направлена на создание и применение изделий с высокими технологическими характеристиками. В металлургии планируется полностью исключить мартеновское производство и доводить выплавку стали в конвертерах и электропечах, что предъявляет повышенные требования к созданию высокотемпературной (>1650 °C) огнеупорной продукции. Предприятия черной и цветной металлургии, машиностроения, электротехнической, химической и других отраслей, потребляющие огнеупоры, испытывают острый дефицит в высококачественном глиноземистом сырье, содержащем более 45 % Al_2O_3 . В общем плане огнеупорное сырье прессуют из порошков крупностью до 3 мм под давлением 60–120 МПа и обжигают при температурах до 1500–1750 °C и выше, обеспечивающих превращение исходных минералов в новообразования [4, 5].

Альтернативными видами огнеупорного сырья для современной металлургии могут являться неметаллы, содержащие такие высокоглиноземистые минералы, как кианит, андалузит, силлиманит, нефелин, алунит, диаспор, а также цирконий (см. таблицу). Этим видам сырья в настоящее время уделяется повышенное внимание. В зарубежных странах высокоглиноземистые виды сырья добываются достаточно интенсивно. По данным за 1930–2002 гг., объем годового производства сырья к 1970 г. уве-

личился более чем в 23 раза, а с 1970 к 2003 г. еще возрос в 2 раза. Основными продуцентами являются ЮАР, США, Франция, Индия, а также Китай, Австралия. Мировой спрос на дефицитное высокоглиноземистое сырье возрастает, что подтверждается, в частности, межконтинентальными перевозками его на значительные расстояния (например, андалузит из ЮАР в США и Западную Европу, из Индии в Германию и Японию и т. д.). В ЮАР запасы алюмосиликатных руд (андалузит- и силлиманитсодержащих) оцениваются в 50 млн т.

В России доля производимых высокоглиноземистых огнеупоров составляет всего 2,5 %, а основным сырьем остается дефицитный и дорогостоящий технический глинозем, получаемый из маложелезистых бокситов и импортируемый в основном из Китая. По экономическим прогнозам, мировая потребность, в частности, в кианитовом концентрате для огнеупорной отрасли к 2010 г. при благоприятном развитии металлургии может достигнуть 125–150 тыс. т

Главные глиноземсодержащие минералы

Минерал	Химическая формула	Содержание глинозема, %
Корунд	Al_2O_3	100
Диаспор, бёмит	$Al_2O_3 \cdot H_2O$	85,0
Гиббсит (гидрагиллит)	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	65,4
Андалузит, силлиманит	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	63,0
Каолинит	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	39,5
Алунит	$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$	37–45
Анортит	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	36,7



Г. Ф. Склярова
E-mail: sklyarova@igd.khv.ru

(в настоящее время 25–50 тыс. т) при возрастании цен на обожженный кианит до порядка 300 долл./т.

По ресурсам высокоглиноземистых минералов Россия занимает одно из первых мест в мире. К настоящему времени разведаны крупные запасы кианита (~600 млн т), территориально распределенные преимущественно в Северо-Западном регионе (Мурманская обл.), в меньших количествах — силлиманита в Восточно-Сибирском регионе, в Бурятии. Кроме разведанных месторождений проявления высокоглиноземистых пород известны и в других регионах — на Урале, в Красноярском крае, в Восточном Саяне, большей частью недостаточно изученные и практически не оцененные. Добыча и производство высокоглиноземистого сырья не производятся. В обзорной работе ЦНИИгеолнеруда [3] о перспективах и развитии нетрадиционных видов высокоглиноземистого сырья по регионам России Дальний Восток не охвачен. Вместе с тем Дальневосточным институтом минерального сырья на протяжении более 20 лет (1970–1992 гг.) при участии автора настоящей статьи проводились тематические и поисковые работы, выявившие и оценившие на территории Дальневосточного экономического района широкомасштабное развитие высокоглиноземистых пород различных минеральных видов. На территории Дальневосточного региона зафиксированы порядка ста месторождений и проявлений высокоглиноземистых пород, по химико-минеральному составу отнесенных к группе алюмосиликатных огнеупоров, включающей андалузит-, силлиманитсодержащие сланцы, алунитовые вторичные кварциты, нефелиновые сиениты, анортозиты, фарфоровые камни.

АНДАЛУЗИТ- И СИЛЛИМАНИТСОДЕРЖАЩИЕ СЛАНЦЫ

Андалузит, дистен и силлиманит являются полиморфными модификациями одинакового химического состава ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$), представляющими высококачественное высокоглиноземистое сырье. Для его электротермической переработки ВАМИ установлен состав концентратов, содержащих Al_2O_3 не менее 57 %, SiO_2 не более 37,5 %, Fe_2O_3 1,5 %, TiO_2 0,5 %, $(Na_2O + K_2O)$ 0,7 %, $(CaO + MgO)$ 0,6 %.

Андалузитовое сырье. По условиям образования на Дальнем Востоке выделяются андалузитсодержащие проявления двух типов: контактово-метаморфический и гидротермально-метасоматический.

Контактово-метаморфический тип андалузитовой минерализации локально проявлен на

контактах осадочных пород с различными интрузиями. Проявление *Гора Андалузитовая* и *Случайная* (в бассейне р. Ольдой) в Амурской обл. приурочено к двум останцам кровли (изолированные возвышенности, сохранившиеся от процессов денудации) в экзоконтактных частях интрузий одноименных гор, расположенных в непосредственной близости друг от друга. Их образование связано с воздействием нижнемеловых интрузий на алевролитопесчанниковые образования. Площадь выхода андалузитовых роговиков 1350×850 м², мощность до 40 м. Содержание андалузитовых разноориентированных длинностолбчатых агрегатов в темно-серых и черных роговиках, аргиллитах составляет 10–50 %. Прогнозные запасы порядка 57,75 млн т. *Бирское* проявление (правобережье р. Биры, вблизи с. Лондоко) представлено слюдисто-андалузитовыми сланцами, содержащими андалузит (размер кристаллов от долей миллиметра до 3–4 мм) в количестве до 40–50 %. Параметры залежи в изученной части 240×900 м.

Гидротермально-метасоматический тип андалузитовых проявлений принадлежит к формации вторичных кварцитов и связан с андалузитовой, андалузит-серицитовой и андалузит-корундовой их фациями. *Джаоринское* проявление вскрыто буровыми скважинами в экзоконтактной зоне гранодиоритов в пределах массива вторичных кварцитов. Вскрытая мощность андалузитсодержащих кварцитов достигает 34 м. Содержание андалузита в породах достигает 30–35 %. Более высокое содержание андалузита (до 50–60 %) фиксировалось в бассейне р. Мамын в *Полуночкинском* и *Елнинском* проявлениях, а также вблизи пос. Мариинского (*Хмуринское* проявление), где в экзоконтакте крупной интрузии гранитов выделяется полоса гидротермально измененных порфиринов протяженностью 3 км и шириной 300–600 м, представленных андалузитовыми, андалузит-серицитовыми, иногда с корундом, кварцитами. Кроме того, прогнозные ресурсы определены также по ряду андалузитовых проявлений (*Альтаирское*, *Октябрьское*, *Правдукукское*, *Моготское*), находящихся в аналогичных геологических условиях. Суммарные прогнозные ресурсы андалузитсодержащих руд на территории Дальнего Востока ориентировочно определены в количестве 8145 млн т.

Дистен-силлиманитовое сырье. Дистен-силлиманитовые проявления относятся к регионально-метаморфическому типу и образуются за счет метаморфизма высокоглиноземистых первичных осадочных пород. Их проявления отмечаются в разрезах отложе-

ний на Алданском щите, в Становой области, Хингано-Буреинском и Ханкайском массивах, большей частью слабо изученных и не оцененных. Чимчанское месторождение и ряд проявлений дистенсодержащих пород установлены в бассейне среднего течения реки Гиллой. Площадь месторождения сложена в основном биотитовыми гнейсами, в составе которых выявлены линзовидные тела гранат-дистен-ставролитовых и гранат-дистен-ставролит-пиррофиллитовых гнейсов мощностью до 10 м прослеженной протяженностью до 3,5 км. Тела дистенсодержащих пород представлены часто переслаивающимися маломощными полосами (2–3 см) и гнездообразными скоплениями (0,5 × 0,3 м) крупнокристаллического дистена (до 0,5 см). Кроме того, гнездовые скопления крупнокристаллического дистена отмечаются в приконтактных частях кварцевых жил, пересекающих гнейсовый комплекс пород. Среднее содержание дистена по месторождению в рудных залежах составляет 20 %. Прогнозные ресурсы определены в количестве 432 тыс. т. *Веселовское* проявление: в линзах (400 × 1000 м) дистен-гранат-биотитовых гнейсов содержится в среднем 21 % дистена. Проявления силлиманит-дистеновых руд (*Лучинское, Некригское, Утанахское*) в составе архейских и нижнепротерозойских образований по мощности рудных пачек достигают 20–100 м протяженностью до 2 км. Содержание высокоглиноземистых минералов составляет 20–80 %. Кроме того, прогнозные ресурсы дистен-силлиманитовых руд определены по 13 проявлениям, находящимся в аналогичных условиях.

Суммарные ресурсы дистен-силлиманитового сырья определены в количестве 812,572 млн т. Для сравнения масштабов развития высокоглиноземистых образований в ЮАР, экспортирующей андалузиты: корунд-силлиманитовые тела в гранат-биотитовых сланцах системы Кейс содержат 4 млн т высокоглиноземистого сырья (месторождения Пелла, Кунабиб), кварц-силлиманитовые сланцы Намакваленда — 2,5 млн т руды с 20–30 % силлиманита (Камисберх). В роговиках и сланцах этой же серии (Восточный Трансвааль) разведаны 1,5 млн т андалузитового сырья, содержащего 8 % андалузита (месторождения Ансли, Стретам и др.).

АЛУНИТЫ

Алуниды — гидротермально-метасоматические образования, содержащие минерал алунид $K_3NaAl_3[(SO_4)_2(OH)_6]$. Теоретический состав алуниды, %: Al_2O_3 36,93, SO_3 38,66, K_2O 11,37,

H_2O 13,04. Присутствие в химическом составе алуниды в значительном количестве оксидов алюминия и калия, а также серы определяют этот вид сырья как комплексный с возможностью получения глинозема (алюминия), серной кислоты, сернокислого алюминия (коагулянта), сульфата калия (бесхлорное калийное удобрение) и других порядка 40 промпродуктов практического назначения.

Дальний Восток — единственный в России район уникального развития алуниды, в пределах которого выявлено более 100 алунидысодержащих месторождений и проявлений. Наиболее широко алунидыносность развита в Хабаровском крае в пределах вулканических зон Нижне-Амурской части Сихотэ-Алиньского вулканического пояса (Гряда Каменистая, Искинское, Шелеховское, Половинное и др.), в Охотском районе в пределах Ульяновской металлогенической зоны (Наледное), в пределах полуострова Камчатка (Малетойваямское, Половинное) и в других районах [4]. Генетически алунидыпроявления связаны с вулканогенно-метасоматическими образованиями (вторичными кварцитами) мелового, неогенового и современного возраста. Авторские запасы и прогнозные ресурсы месторождений алунидывых руд относятся к разряду крупных (от более 60 млн т до 5 млрд т) со средним содержанием алуниды порядка 30 % и более. К наиболее перспективным для дальнейшего освоения относятся Шелеховское (Комсомольский район) и Буриндинское (Амурская обл., ДВЖД — разъезд Буринда) месторождения. Суммарные запасы по разведанным семи месторождениям 1374 млн т, по семи проявлениям с установленными параметрами 1184 млн т.

Опыт промышленного использования алунидывого сырья в глиноземном производстве накоплен в процессе работы на Гянджинском глиноземном комбинате, перерабатывающем алуниды Загликского месторождения (Азербайджан). По расчетам себестоимости получаемого глинозема алунидывые руды более конкурентоспособны, чем привозные гвинейские бокситы. Технологические исследования ведущих институтов страны (ВАМИ, Механобр, Гипроруда, ДВИМС и др.) проводились в разные годы с целью определения способов обогащения алунидысодержащих пород месторождений Дальнего Востока, получения из них промпродуктов, наиболее востребованными из которых для народного хозяйства являются глинозем, коагулянты для очистки воды и отходов производства, калийные удобрения, квасцы, серная кислота и др.

Среди распространенных способов обогащения наиболее эффективным и универсаль-

ным является флотационный, основанный на различии в поверхностных свойствах минералов алунита и его попутных постоянных спутников в руде — кварца, опала, каолинита, диккита и др. В качестве наиболее распространенных флотореагентов-собираателей применяют мыло дистиллированного таллового масла, окисленный рисайкл, а регуляторов среды — жидкое стекло, синтан (битумно-синтетический материал) и др.

Разработанные способы переработки алунитового сырья в основном подразделяются на два вида — кислотные и щелочные. Среди щелочных способов известно много разновидностей, из которых в промышленном масштабе реализован восстановительно-гидрохимический. Большую перспективу может иметь разработанный в последние годы в ВАМИ гидрохимический способ переработки невосстановленного сырого алунита совместно с нефелиновым сиенитом или сынныритовым концентратом. Заслуживает внимания новая технология комплексной переработки серно-алунитовых руд (Малетойваямское месторождение, Камчатка) методом термического восстановления, разработанным на кафедре химической технологии Львовского политехнического института совместно с ВНИИПИСера. Сернокислотный способ по сравнению со щелочным обладает преимуществом высокого извлечения полезных компонентов, небольшим количеством реагентов; к его недостаткам относятся необходимость использования кислотостойкого оборудования, двукратная термообработка, приводящая к высокому расходу топлива, отрицательное воздействие на экологию за счет улетучивания серы в атмосферу.

Промышленное получение алюминия из алунитовых руд технологически сложное, энергоемкое производство, требующее больших затрат на создание промышленно-производственной базы. Этот вопрос для Дальнего Востока может решаться лишь на федеральном уровне в отдаленной перспективе. Алунитовые руды, кроме сложных технологических схем полной комплексной переработки с получением глинозема, по упрощенным технологиям могут служить сырьем для получения дефицитных сульфатов алюминия и квасцов, в которые будет связываться весь глинозем, а также сульфатов калия. При этих способах руда используется в крупнодробленом виде, не подвергаясь энергоемкому процессу тонкого дробления, без предварительного обогащения [3].

В Дальневосточном институте минерального сырья проводили испытания по обогащению алунитовых руд Искинского месторождения

с использованием вместо дорогостоящей олеиновой кислоты дешевого гудронного флотореагента (ГФР), производимого на местном Уссурийском масложирокомбинате. Гудронный флотореагент состоит из жирового гудрона (кубового остатка от дистилляции жирных кислот, технического жира, жировых отходов), асидола или окисленного петролатума, омыленных натриевой щелочью. Технологические показатели ГФР: жировое гидран-кислотное с числом 40–50 мг КОН, число омыления 140–180 мг КОН, нафтенные кислоты (осидол) по ГОСТ 13301, едкий натр технологический по ГОСТ 2263, петролатум окисленный по МРТУ 12 Н № 64–63. Обогащению с применением ГФР подвергалась технологическая проба алунитовых руд Искинского месторождения массой 50 кг со средним содержанием алунита 30,3%. Реагент-собираатель подавали во флотации в виде 5%-ного раствора. Измельчение руды мокрое до получения 92% фракции мельче 0,074 мм. Соду в виде 10%-ного раствора подавали отдельно в измельченную руду и во флотацию. Расход ГФР 500 г/т, длительность флотации 10 мин. При pH 9,5 извлечение составило 91% с содержанием алунита в пенном продукте 52,84%. Суммарный пенный продукт перечистки и флотации содержит 61,59% алунита при извлечении 92,69%. В опытах по флотации алунита по принципу непрерывного процесса с учетом пенного продукта перечистой флотации и камерного продукта контрольной флотации был получен концентрат, содержащий 72–74% алунита с извлечением 93–94%. Несмотря на большой расход ГФР (500 г/т) по сравнению с количеством олеиновой кислоты (300 г/т), применение ГФР вместо олеиновой кислоты может дать экономию в расчете на 1 т руды более чем в 20 раз, учитывая значительно более низкую его стоимость.

По результатам опытных исследований технологических проб по обогащению алунитовых руд Шелеховского месторождения в лаборатории Тульского отделения ЦНИГРИ были получены концентраты с содержанием алунита 65–70% при извлечении 86–91%, пригодные для получения глинозема по щелочной и кислотной схемам. Кроме того, в алунитовых концентратах определены золото в количестве 0,4–0,7 г/т и серебро 2,8–3,1 г/т, в хвостах соответственно — 0,9–1,1 и 3,8–4,4 г/т. Для извлечения благородных металлов подготовленную для флотации измельченную руду подвергли цианированию. При расходе цианистого калия 0,64 кг/т, извести 3,7 кг/т при длительности цианирования 8 ч было извлечено 98% золота и порядка 63–83% серебра. Кучный метод

цианирования позволяет в один прием обрабатывать несколько миллионов тонн руды и, соответственно, позволяет, в принципе, извлекать из руд и эти металлы.

По степени изученности, географическому положению, состоянию инфраструктуры к наиболее перспективным для освоения относятся следующие месторождения алунитов: Шелеховское (0,5–1,1 млрд т), расположенное в экономически освоенном Комсомольском районе, Буриндинское месторождение (200 млн т) в Амурской обл. у разъезда Буринда, а также Нижнеамурские месторождения (Круглый Камень, Гряда Каменистая и др.).

Диаспоровая минерализация (HAlO_2) образует иногда автономные проявления в составе вторичных кварцитов, алунитовых кварцитов. Общие ресурсы диаспорового сырья гидротермально-метасоматического типа на Дальнем Востоке предварительно оценены в 430 млн т руды с разным содержанием диаспора — от нескольких процентов до 80–90 %. Диаспориты нередко в виде мощных (до 20 м) рудных тел (с содержанием глинозема 29–90 %) генетически связываются со вторичными кварцитами, широко развитыми в пределах вулканических зон. Состав диаспор-диккитовых кварцитов: кварц (10–70 %), диаспор (10–30 %). Известны примеры промышленного использования мелких месторождений диаспора в Японии (остров Гото, 35 тыс. т диаспора), из диаспоровых кварцитов Акташского месторождения (10 %, 778 тыс. т) получены высококачественные диаспоровые концентраты (61–64 % глинозема), пригодные для получения алюминия и высокоглиноземистых огнеупоров. Диаспоровая минеральная фация наиболее изучена и оценена в составе алунитового месторождения Гряда Каменистая (запасы диаспора 28,2 млн т при среднем содержании в руде 16,2 %). В Институте минерального сырья, г. Симферополь, выполнены 2 технологические пробы под руководством П. И. Андреева. Химический состав пробы, %: SiO_2 75,1, TiO_2 0,41, Al_2O_3 14,7, Fe_2O_3 3,2, CaO 0,1, сумма щелочей 0,11, SO_3 0,17, $\Delta m_{\text{прк}}$ 5. Диаспор в породе крупный — более 0,6 мм. По гравитационно-магнитным или флотационным схемам обогащения и разделением в тяжелых средах ($2,9 \text{ г/см}^3$) можно получить концентрат с содержанием Al_2O_3 35–45 %, но при низком извлечении 50–83 % (что, вероятно, объясняется связью части глинозема с каолинитом). Извлекаемость глинозема щелочным автоклавным способом при 260°C из диаспор-кварцевого концентрата составляет 96 %. Диаспориты — более качественное и рентабельное сырье по сравнению с алунитовым,

а по запасам диаспоритовая залежь месторождения Гряда Каменистая равноценна запасам глинозема в таком крупном месторождении алунитов, как Искинское.

Изобретение В. Г. Моисеенко, В. С. Римкевич (пат. 2171226) относится к цветной металлургии и может быть использовано для получения глинозема, пригодного для электролитического восстановления алюминия из различных видов глиноземсодержащего сырья. Способ получения глинозема позволяет использовать в качестве сырья широкий спектр недорогих материалов: каолиновых глин и концентратов, дистен-силлиманит-андалузитовых пород и концентратов, анортозитов, нефелиновых сиенитов, высококремнистых бокситов и др. Сырье смешивают с гидродифторидом или фторидом аммония в массовом соотношении 1 : 2,5 – 1 : 3,3, смесь нагревают до $170\text{--}210^\circ\text{C}$, выдерживают в нагретом состоянии до полного фторирования всех порообразующих компонентов с образованием порошкообразного спека, из которого после возгонки в окислительной среде с продувкой водяным паром при температуре не ниже 400°C гексафторсиликата, гексафтортитаната и фторида аммония получают глинозем в качестве нелетучего остатка.

АНОРТОЗИТЫ

Анортозитовое сырье — магматические породы, состоящие из основных плагиоклазов, в разновидностях которых содержание глинозема может достигать 30 % и более. Как глиноземистое сырье практический интерес представляют наиболее основные разности состава плагиоклазов — лабрадоры и битовниты, характеризующиеся высоким содержанием глинозема и CaO .

Анортозиты на Дальнем Востоке пользуются широким распространением (сотни квадратных километров) в пределах южной окраины Алданского щита, в Становой складчатой области и локализованы вдоль разломов глубинного залегания в виде массивов автономного типа (Каларский, Лантарский, Геранский, Сехтагский, Чогарский, Кавактинский и др.). По содержанию глинозема, кремнезема и оксида кальция анортозиты близки к месторождениям Норвегии и США, которые обрабатывались для получения глинозема. ВАМИ выполнены технологические испытания по комплексной переработке канадских анортозитов (глинозема 27 %), в результате чего было установлено, что они могут быть переработаны на глинозем способом спекания анортозитов с известняками и содой.

Международные монополии, использующие для производства глинозема (алюминия, огнеупоров) импортные дорогостоящие бокситы, проводят большой комплекс технологических и геологических исследований анортозитов и других небокситовых источников глинозема для их использования в качестве алюминиевого и других видов глиноземного сырья. В частности, в штате Вайоминг, США, функционировал завод по переработке анортозитов с попутным получением цемента. Для этой цели Геологической службой США учтены запасы анортозитов с содержанием глинозема 25–30 %.

Для технологических испытаний в Иркутском филиале ВАМИ в западном Приохотье в пределах Лантарского массива была отобрана проба из лабрадоритов массой 200 кг. Химический состав пробы, %: SiO_2 53,7, Al_2O_3 28,1, CaO 11,3, Na_2O 4,6, Fe_2O_3 1,3. Породы аналогичного состава распространены на площади шириной 6 и длиной 10 км. Методом спекания лабрадорита с известняком при 1250 °С с 30-мин выдержкой был получен спек легкорастворимых алюминатов щелочей и нерастворимого двухкальциевого силиката $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ пористостью 57 % с извлечением Al_2O_3 до 91,9 %; сумма щелочей 78–79 %. Выщелачивание спеков проведено по двухстадийной схеме. Лабрадориты удовлетворяют почти всем требованиям, предъявляемым к нефелиновому сырью: Al_2O_3 более 21 %, SiO_2 менее 57 %, ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) менее 5 %; лишь содержание щелочей в них более низкое. Более высокое содержание CaO благоприятно для сырья на алюминий, так как потребуются меньшая добавка известняка в шихту. Результаты анализа свидетельствуют о принципиальной возможности получения глинозема.

Таким образом, технологии переработки анортозитов практически разработаны. Они принципиально не отличаются от схем переработки нефелиновых пород, применяемых на действующих предприятиях, предусматривающих полную утилизацию сырья с получением кроме глинозема высокосортного портландцемента, соды, поташа, а также ряда редких элементов — галлия, рубидия, цезия. Лабрадориты — комплексное сырье. Рентабельная работа предприятий возможна при условии местной реализации цемента, выход которого составляет 10–14 т на 1 т глинозема. Ресурсы анортозитового сырья для строительства крупного предприятия по производству глинозема более чем достаточны (800 млрд т). Массивы лабрадоритов расположены в сравнительно благоприятных экономико-географических условиях — близ морского побережья или желез-

ных дорог. Анортозиты на ближайшее будущее могут рассматриваться как неисчерпаемый источник глиноземного сырья.

КАМЕНЬ ФАРФОРОВЫЙ

Под фарфоровыми камнями понимают гидротермально измененные кислые, реже средние вулканические породы, которые могут быть использованы без предварительного обогащения в качестве компонента фарфоровых масс. Основные породообразующие минералы: кварц, каолинит, диксит, пиррофиллит, мусковит, ортоклаз, санидин, микроклин, альбит. Обобщенный химический состав, %: SiO_2 60–81, Al_2O_3 9–19, TiO_2 0,1–0,9, Fe_2O_3 0,11–0,83, K_2O 0,1–4,0, Na_2O 0,15–6,5, H_2O 1,3–5,0. По содержанию суммы щелочей сырье подразделяют на бесщелочное (<0,6 %), умеренной щелочности (0,6–3,0 %), щелочное (>3 %). Наиболее ценными являются высококальциевые разновидности фарфоровых камней. По физико-механическим свойствам фарфоровые камни подразделяются на твердые (интенсивно окварцованные) и мягкие (обогащенные глинистыми минералами).

Промышленная переработка сырья включает дробление и измельчение, иногда отмучивание и отбеливание. Подготовленный материал для керамических изделий обжигают. По температуре обжига выделяют два сорта: высокотемпературный (1380–1410 °С) и низкотемпературный (1330–1350 °С). Основные требования промышленности к качеству фарфорового камня: мелкозернистость и однородность строения, выдержанность химического состава, низкое содержание хромофоров (Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 и др.) и, как следствие, белый цвет спека, повышенное содержание щелочей и высокий калиевый модуль. Основное применение фарфоровых камней — производство фарфора и глазури, а также в качестве огнеупорного сырья и сырья для изготовления санитарно-технических изделий. Месторождения фарфорового камня крайне редки. Они известны в Японии, Китае, Корее, Канаде. На Дальнем Востоке выявлены месторождения фарфорового камня в Приморском крае (Гусевское, Сергеевское) и в Еврейской АО (проявления *Малый Хинган* и *Бомбинское*).

На Мало-Хинганских проявлениях в качестве сырья для фарфоровых камней представляются меловые вулканогенные породы кислого состава — липариты и дациты (пос. Малый Хинган), вторичные кварциты (поселение Бомбинское), образованные по субвулканическим риолитам позднего мела. Бомбинское проявление расположено в 1 км восточнее

с. Бирофельд и представляет останцовую сопку (гора Бомба) изометричной формы, возвышающуюся над равниной на 95 м, с диаметром по основанию 61 км. Вторичные кварциты сложены кварцем (до 70 %), каолинитом (25–35 %) с небольшими примесями пирита, пирротина, касситерита, эпидота. Химический состав вторичных кварцитов, %: кремнезем 72,5–81,8 (в среднем 73,2), глинозем 11,7–19,5 (в зонах катаклаза до 37,8), FeO 0,08–7,11 (0,5).

Запасы фарфорового камня Бомбинского проявления определены по категории С₂ в количестве 552 тыс. т, прогнозные ресурсы около 20 тыс. т. Технологические испытания фарфорового камня Бомбинского проявления проводились в лаборатории Владивостокского фарфорового завода. Из представленных проб, предварительно обожженных, были составлены рецепты фарфоровых масс, в которых кроме кварцитов (до 30 %) использовали пегматиты с Кольского полуострова (22 %), каолины с Украины и Амурской обл. (14 %), огнеупорные украинские светложгущиеся глины (26 %). Механическая прочность образцов из опытных масс после сушки и первого обжига при 800 °С указывает на технологичность масс при промышленном производстве. Механическая прочность всех образцов после второго обжига при 1380 °С удовлетворяет требованиям, предъявляемым к твердому фарфору. Содержание красящих оксидов выше 2,5 % несколько снижает белизну образцов из опытных масс, но по стандартам остается в допустимых пределах. Керамические свойства фарфоровых масс: влажность 19,6–19,8 %, усадка после обжига при 1380 °С 7,37–7,57 %, белизна глазурованных образцов 61,5–64,6 %. По заключению проведенных испытаний вторичные кварциты Бомбинского проявления пригодны для производства хозяйственного фарфора. Кроме того, на Владивостокском заводе испытания фарфорового камня горы Бомба произведены также в технологических массах со светложгущими глинами месторождения Дорожное (Архаринский район, Амурская обл.). В результате было получено заключение, что вторичные кварциты с глинами месторождения Дорожное также пригодны для производства хозяйственного фарфора, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 28390 «Изделия фарфоровые. Технические условия».

ЦИРКОНИЕВОЕ СЫРЬЕ

Основными потребителями циркониевого сырья (~85 %) являются металлургия, производство стекла, огнеупоров, керамики, литейное

производство. Цирконий — очень тугоплавкий (температура плавления 1852 °С), химически стойкий, вязкий, упругий и твердый металл. В подавляющем большинстве (85–90 % потребляемого циркониевого сырья) в различных сферах производства используется не металлический цирконий, а его природные соединения — цирконовые (60–67 % ZrO₂) и бадделейтовые концентраты.

Одной из наиболее емких областей применения цирконовых концентратов (21–35 %) является производство плавящихся огнеупоров для стекловаренных печей и других плавильных производств. Цирконовые огнеупоры изготавливают из концентрата или из смеси его с глиной, прессуя и обжигая их при 1500–1550 °С. Эти огнеупоры остаются стойкими при 1900–2000 °С. Цирконовые огнеупоры в виде стаканов, обмазочных масс, противопожарных смазок применяют в высокотемпературных печах различного назначения, в виде тиглей для плавки тугоплавких металлов, при изготовлении жаропрочных деталей реакторов, в сталеразливочных ковшах для спецсталей, при непрерывной разливке стали и пр. В Японии и Франции основной объем (60–70 %) цирконовых концентратов идет на изготовление огнеупоров, что связано с развитием технологии непрерывной разливки стали и с потребностями стекловаренного производства.

Запасы циркония в развитых странах на 1997 г. составляли около 53 млн т. В связи с повышенным спросом, совершенствованием способов добычи и переработки рентабельными для отработки в настоящее время являются россыпи с содержанием тяжелых минералов 3–5 % (в 50–60-е гг. XX века 20–50 %). Производство цирконовых концентратов в мире (Австралия, ЮАР, США) в 1995 г. составляло 900 тыс. т. Цены цирконового концентрата на огнеупорный сорт на мировом рынке на конец 2005 г. составляли 550–700 долл./т [1, 3]. Россия по объему запасов циркона составляет порядка 8,5 % мировых. Госбалансом учтено 13 месторождений. Прогнозные ресурсы (из которых 93,5 % приходится на комплексные россыпи, 6,5 % — на коренные месторождения) весьма значительны и сосредоточены в основном в Западной Сибири и европейской части страны. Перспективы получения добычи циркония связаны с оценкой в основном комплексных титано-циркониевых россыпей, рентабельность отработки которых может быть повышена при комплексном использовании добываемого сырья. Потребности России в цирконовом концентрате составляют порядка 20 тыс. т в год [3]. Единственный производитель в стране — Ков-

дорский ГОК, выпускающий от 3 до 5 тыс. в год бадделеитового концентрата.

На территории Дальнего Востока в 80–90-х годах XX века в результате геолого-геофизических исследований Дальгеолкома и Дальгеофизики было открыто, изучено и оценено Алгаминское месторождение цирконобадделеитовых руд, детальные сведения по которому отражены в монографии «Новый геолого-промышленный тип циркониевого оруденения» [1]. Месторождение расположено на севере Аяно-Майского района Хабаровского края в пределах Ингилийской перспективной площади, включающей, кроме того, более 30 рудопроявлений циркония и гафния, заслуживающих детального изучения. Ближайший населенный пункт — пос. Нелькан. Связь с месторождением осуществляется вертолетами, высокопроходимым транспортом, по автодороге Аян – Нелькан и по реке Мае. В геолого-тектоническом отношении циркониевое оруденение локализовано в мраморизованных доломитах (мощностью 40–50 м) юдомской свиты вендского возраста, насыщенных кварц-кальцитовыми секрестиями, прожилками, и приурочено к краевой части Омнинской морфоструктуры. Рудные субогласные пластовые залежи мощностью от 0,4 до 8 м характеризуются повышенным содержанием ZrO_2 — до 12 %, в отдельных интервалах до 22–52 %, а также повышенной радиоактивностью (до 500 мкР/ч), развитием карстово-эрозионных структур. Отмечается ассоциация оруденения с магматитами ультраосновного — щелочного состава Ингилийского массива, характеризующимися повышенным содержанием циркония.

Цирконийсодержащие руды представлены рыхлыми рудами, представляющими собой инфлювий в закарстованных доломитовых мраморах, и твердыми рудами — окарстованными окремненными доломитами, в которых развиты секущие и послойные прожилки, жеоды, колломорфные образования кварца, кальцита, лимонита, содержащие минералы циркония — циркон, бадделеит, гельциркон и др. Количество циркониевых минералов колеблется в широких пределах, достигая 3,0–20,0 %. По результатам минералого-технологических исследований рядовых цирконийсодержащих руд, проведенных в ДВИМСе (г. Хабаровск), в Механобр-Аналите (Санкт-Петербург) и в других лабораториях, установлена возможность обогащения руд гравитационным способом с суммарным извлечением в комплексный концентрат 65–76 % при выходе 34–40 % со средним содержанием ZrO_2 в концентрате от 4 до 21 % и с возможностью последующей переработки черного концентрата по схемам химико-металлургического передела. По результатам опытных испытаний УкрНИИО цирконовые концентраты алгаминских руд могут быть использованы для изготовления огнеупорной керамики, огнеупорных цементов и других промпродуктов. Разведанные запасы ZrO_2 по месторождению Алгама определены по категориям в количестве 73150 т, общие прогнозные ресурсы — 214 т. Согласно выполненным технико-экономическим расчетам горнорудной компании «ГЕОРОС» отработка месторождения может быть рентабельной с окупаемостью вложенных средств в течение двух лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Буряк, В. А.** Новый геолого-промышленный тип циркониевого оруденения / В. А. Буряк, В. Я. Беспалов [и др.]. — Хабаровск, 1999.
2. **Кашкай, М. А.** Алуниты, их генезис и использование / М. А. Кашкай. — М.: Недра, 1970.
3. **Склярова, Г. Ф.** Металлогения анортозитов Дальнего Востока на глинозем-титано-фосфатное оруденение / Г. Ф. Склярова // Отечественная геология. — 2012. — № 3.
4. **Шевелев, А. И.** Нетрадиционные виды минерального сырья для производства огнеупоров / А. И. Шевелев, В. С. Тохтасьев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2006. — № 5.
5. **Энтин, В. И.** Состояние и перспективы развития производства на огнеупорных предприятиях России / В. И. Энтин // Новые огнеупоры. — 2005. — № 7. ■

Получено 19.09.13
© Г. Ф. Склярова, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



www.indian-ceramics.com

9-я международная выставка «Керамика Индии»

26–28 февраля 2014 г.

г. Ахмедабад, Индия