

Литература

1. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/>.
2. Кременецкий А.А. Вклад редких металлов в повышение инвестиционной привлекательности центров экономического развития России [Текст] / А.А. Кременецкий, Н.А. Архипова // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 3 – 8.
3. Сердюк С. С. и др. Красноярский кластер-стратегический приоритет развития редкометалльной промышленности России // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2015. – Т. 8. – №. 7.
4. Kuzmin V. I. et al. Combined approaches for comprehensive processing of rare earth metal ores //Hydrometallurgy. – 2012. – Т. 129. – С. 1-6.
5. Sadri F., Nazari A. M., Ghahreman A. A review on the cracking, baking and leaching processes of rare earth element concentrates //Journal of rare earths. – 2017. – Т. 35. – №. 8. – С. 739-752.
6. Садыхов Г. Б. и др. Исследования по восстановительному обжигу ниобий-редкоземельных руд Чукотского месторождения с получением фосфористого чугуна и ниобий-редкоземельного шлака //Металлы. – 2020. – №. 3. – С. 3-13.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ НЕЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЙ КЕРАМИКИ**

**Акимов И.М.**

Научный руководитель – доцент Н.А. Митина

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**Введение.** Традиционная алюмосиликатная керамика на основе муллита  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  широко применяется в различных областях науки и техники. Однако в настоящее время активно ведутся исследования по получению технической керамики с более высокими эксплуатационными характеристиками в связи с ростом требований к материалам узлов различных приборов. Одной из перспективных альтернатив муллитовой керамике является керамика на основе анортита  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  (CAS). Для улучшения свойств анортитовых материалов в технологии керамики широко применяется их допирование BaO, что способствует образованию в процессе синтеза второй кристаллической фазы цельзиана  $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  (BAS) [2].

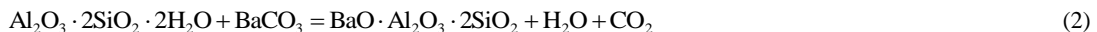
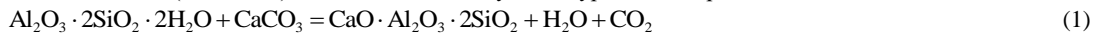
В настоящее время технология получения анортитцельзиановой керамики основывается на синтезе материала из чистых оксидов. У данного технологического решения имеется ряд недостатков: высокие температуры синтеза и спекания получаемого материала (1400 – 1450 °С), узкий интервал спекшегося состояния. Активно исследуется технология получения анортитцельзиановой керамики с расширенным интервалом спекшегося состояния при более низких температурах. Она основывается на получении анортитцельзиановых материалов на основе доступного минерального сырья: глин, каолинов и карбонатных кальцийсодержащих пород [5]. Но у материалов, полученных на основе природного сырья, существует ряд недостатков: высокая закрытая пористость, ухудшающая прочностные характеристики материалов [6]; содержащиеся в минеральном сырье оксиды щелочных металлов снижают электроизоляционные свойства получаемой анортитцельзиановой керамики. Традиционно для решения проблем высокой закрытой пористости в состав получаемой керамики вводят спекающие добавки, либо применяют спековые технологии [4].

Анортитцельзиановая керамика, синтезированная на основе минерального сырья, может быть использована в качестве конструкционного материала в легкой промышленности для изготовления установочных изделий [3]: нитеводители для волокна, фильеры для протяжки различных нитей из расплава, стальной и алюминиевой проволоки, фрикционные кольца, диски и др.; в связи с тем, что анортит имеет относительно невысокую плотность (2,73 г/см<sup>3</sup>), керамику на его основе можно использовать для получения легковесных трассеров, используемых в технологии обогащения алмазов [1].

**Цель работы.** Установление закономерностей, протекающих при синтезе анортитцельзиановой керамики на основе природных сырьевых материалов с применением спековой технологии.

**Методика проведения работы.** В качестве сырьевых материалов использовались Кировоградский каолин, технический мел МТД-2, карбонат бария марки ЧДА. Вместо некоторой части каолина вводилась глина НК-5, снижающая температуру спекания материала [2].

Расчет составов (таблица 1) велся по соответствующим уравнениям реакций:



**Таблица 1**

**Компонентные составы исследуемых шихт**

Шифр	Содержание компонента, % мас.			
	Каолин	Технический мел	Карбонат бария	Глина НК-5
An100	72,06	27,94	0,00	10,00
An95	71,1	26,19	2,72	10,00
An90	70,16	24,48	5,36	10,00
An80	68,35	21,20	10,45	10,00

Была выбрана двухстадийная технология получения материала: на первой стадии был получен спек, в котором завершились химические реакции образования анортита и цельзиана, а также образовалось необходимое количество стеклофазы. Для определения оптимальной температуры получения промежуточного спека методом полусухого прессования (относительная влажность пресс-порошка – 10 %, давление прессования – 19 МПа) были сформованы образцы-диски, которые обжигались при температурах 1200, 1300 и 1350 °С, после чего методом гидростатического взвешивания определялись их водопоглощение и средняя плотность. Состав полученных спеков определялся с помощью рентгенофазового анализа.

Таблица 2

Составы опытных шихт

Шифр	Массовые доли, %		
	Спек	Черный пигмент	Оксид бора
П	92,5	7,5	0,0
ПБ	90,0	7,5	2,5

Далее спек измельчался до величины удельной поверхности 9000 – 9500 см<sup>2</sup>/г. В качестве компонентов стеклообразователей в спекы вводился черный пигмент системы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·CoO·Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а также оксид бора (таблица 2). Из полученных порошков путем полусухого прессования формовались образцы-диски, образцы-балочки, образцы-цилиндры (временная связка – 5 % раствор ПВС, относительное содержание связки – 10 %, давление прессования – 20 МПа). Полученные образцы обжигались при температурах 1300, 1350 и 1400 °С. Для образцов-дисков водопоглощение и средняя плотность определялись методом гидростатического взвешивания. Для образцов-балочек определялся предел прочности при трехточечном изгибе. Для образцов-цилиндров определялась износостойкость. Износостойкость косвенно определялась по потерям массы образцов при перемешивании их в течение 10 часов в фарфоровом барабане в суспензии из карбида кремния.

**Результаты.** Для предварительной оценки температуры образования анортита был проведен термический анализ смеси из каолина и карбоната кальция в мольном отношении 1:1 для получения CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>. По его результатам были определены основные стадии синтеза анортита из минерального сырья: первоначально происходит разложение каолинита до метакаолинита (реакция 3), далее происходит разложение технического мела (реакция 4), после при температурах около 1000 °С происходит кристаллизация продуктов разложения каолинита. Следовательно, получение анортита начинается при температурах свыше 1000 °С. Согласно результатам РФА, процесс синтеза анортита и цельзиана завершен уже при температуре 1200 °С. Дальнейшее повышение температуры не сказывается на фазовом составе получаемых материалов. Оптимальная температура синтеза спека – 1300 °С (таблица 3).



Таблица 3

Характеристики спеков

Температура обжига, °С	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>				Водопоглощение, %			
	An100	An95	An90	An80	An100	An95	An90	An80
1200	2,07	2,06	2,05	2,08	7,0	8,0	10,2	12,0
1300	2,19	2,07	2,04	2,07	6,2	7,7	10,3	10,2
1350	2,26	2,14	2,10	2,16	2,5	5,2	9,0	7,4

Во время окончательного обжига для образцов серии П при температуре, равной 1350 °С, достигаются практически нулевые значения водопоглощения и открытой пористости, а также максимальные значения средней плотности и огневой усадки. На основании этого можно сказать, что температура спекания получаемых материалов – 1350 °С. Аналогичная ситуация наблюдается для образцов серии ПБ при температуре 1300 °С. При повышении температуры для данных материалов наблюдается пережог. Снижение температуры спекания для образцов серии ПБ по сравнению с образцами серии П объясняется тем, что у составов серии ПБ образуется большее количество расплава.

Таблица 4

Механико-прочностные характеристики

Состав	Температура обжига, °С	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на изгиб, МПа	Потери массы образцов, %
An95П	1350	2,74	97,9	3,37
An100П	1350	2,66	97,8	2,75
An95ПБ	1300	2,69	85,2	2,83
An90ПБ	1300	2,70	76,4	1,30

При введении стеклообразующей добавки (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в состав материалов (серия ПБ) износостойкость их увеличивается в связи с образованием более гладкой поверхности образцов [3] с меньшим количеством открытых пор (таблица 4). Снижение прочностных характеристик материалов серии ПБ по сравнению с материалами серии П связано с изменением характера разрушения материалов: образцы с борными добавками в основном разрушаются по границе раздела стеклофаза-кристаллическая фаза, а не по межкристаллической границе.

Литература

1. Коннова, Н.И. Построение сепарационных характеристик процесса тяжелосреднего обогащения с использованием метода трассерного контроля [Текст] / Н.И. Коннова, С.В. Килин, П.В. Елизарьев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 11. – С. 58 – 63.
2. Формирование стеклофазы в анортитовой керамике / Б.А. Кухтин, Е.П. Головин, Н.В. Федоров и др. // Химия и химическая технология. – 2007. – т. 50 – Вып. 6. – С. 79 – 81.
3. Сергиевич О. А. Керамические материалы с повышенной износостойкостью для машиностроительной и легкой промышленности / О.А. Сергиевич, И.А. Алексеенко, Е.А. Артемьев // Труды Кольского научного центра РАН. – 2017. – № 8. – С. 167 – 172.
4. Влияние способа получения радиопрозрачной керамики на основе системы  $\text{SrO} \cdot \text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  на ее свойства / Е.В. Чефранов, Е.Ю. Федоренко, Р.В. Кривобок и др. // Сборник научных трудов ОАО «УкрНИИ Огнеупоров им. А.С. Бережного». – 2017. – № 117. – С. 167 – 175.
5. Mergen A. Low-temperature fabrication of anorthite ceramics from kaolinite and calcium carbonate with boron oxide addition / A. Mergen, Z. Aslanoglu // Ceramics International. – 2003. – Vol. 29. – P. 667 – 670.
6. The Effect of Sintering Temperature on the Structure and Properties of Calcium Hexaluminate/anorthite Ceramics / Y. Tian, Y. Qiu, Y. Chai et al. // Science of Sintering. – 2013. – Vol. 45. – P. 141 – 147.

**ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛА**

**Ахмаджонов А.А., Усманов Х.Л.**

Научный руководитель – профессор З.Р. Кадырова  
*Институт общей и неорганической химии, Академия наук Республики Узбекистан,  
г. Ташкент, Узбекистан*

Для производства различных строительных материалов в основном используют сырьевые материалы, которые в больших объемах добывают из карьеров, нанося непоправимый урон окружающей среде. Одним из самых распространенных и используемых с давних времен человеком в строительстве природным материалом, являются различные кварцевые пески. [1].

Известно, что материалы и изделия из стекла в своем составе содержат множество соединений широко распространенные в земной коре. Одним из основных сырьевых компонентов, из которого состоит стекло это кремнезем  $\text{SiO}_2$ , который является основой различных песков. Кроме того, в состав стекла вводят различные щелочные оксиды, такие как  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , также различные оксиды, придающие цветовую окраску и добавки для улучшения физико-технических его свойств. Поэтому различные изделия, сделанные из стекломатериала, в том числе и тарные можно называть силикатными.

На сегодняшний день увеличение производства стекла и стекломатериалов является актуальной задачей промышленности, так как производство стекломатериалов претерпевает интенсивное развитие вследствие интенсивного роста автомобильной промышленности, строительства гражданских и промышленных сооружений, и дефицита тарного стекла.

Так как кварцевый песок является основным компонентом стекло материалов, его качество строго регламентируется требованиями ГОСТ 22551-2019. Согласно требованиям стандарта в песке, используемом в качестве сырьевого компонента в производстве стекломатериала, содержание кремнезема должно составлять в пределах 95,0-99,8%. Также для высоких марок стекломатериала лимитируется и его фракционный состав. Следует отметить, что строго лимитируется и содержание оксидов  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и другие соединения, отрицательно влияющие на свойства стекло материала.

В различных исследованиях показано, что в природных кварцевых песках содержание может достигать до 99,8 %, однако такое содержание в природе встречаются редко. Обычно в большинстве случаев пески, используемые в стекольной промышленности, подвергаются обогащению. В производстве для этой цели в основном используют методы отмывки, флотации или оттирки в сочетании с магнитной сепарацией [2]. Так называемые кварцевые пески в отличие от других видов песка, состоят в основном из минерала кварца и являются мономинеральными, что придает ему статус ценного промышленного сырья. Примеси хотя и в незначительном количестве не позволяют получить стекло с высокой степенью прозрачности.

В процессе исследований проведены химические анализы использованных кварцевых песков различных месторождений, которые приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

*Вещественный состав кварцевых песков Республики Узбекистан*

Наименование кварцевых песков различных месторождений	Содержание, масс. %						
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$
Томдинское	95,9	0,486	0,0438	0,236	0,0493	0,22	0,15
Джеройское	97,96	0,52	0,15	0,18	0,15	0,11	0,12
Керменинское	91,77	3,73	0,36		1,44	0,29	0,16
Чиялинское	77,68	11,34	0,93	1,56	4,45	2,52	0,28