

УДК 666.3/.7

**Бобкова Нинель Мироновна**

доктор технических наук, профессор,  
Белорусский государственный  
технологический университет,  
220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13 а  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**Дятлова Евгения Михайловна**

кандидат технических наук, доцент,  
Белорусский государственный  
технологический университет  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**Баранцева Светлана Евгеньевна**

кандидат технических наук, доцент,  
Белорусский государственный  
технологический университет  
e-mail: [svetbar@tut.by](mailto:svetbar@tut.by)

**Трусова Екатерина Евгеньевна**

кандидат технических наук, доцент,  
Белорусский государственный  
технологический университет  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**Сергиевич Ольга Александровна**

кандидат технических наук,  
научный сотрудник,  
Белорусский государственный  
технологический университет  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ  
ПРИМЕНЕНИЕ ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД  
И КАОЛИНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
В СИЛИКАТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ***Аннотация:*

Приведены результаты изучения возможности получения различных силикатных материалов: пеностекла, стекол, стеклокристаллических материалов (петроситаллов и каменного литья) и пористых заполнителей для легких бетонов на основе гранитоидных пород, а также керамических и огнеупорных материалов на основе природных и обогащенных каолинов Республики Беларусь.

Существенным преимуществом гранитоидных пород являются незначительные колебания химического состава благодаря существенному усреднению при неоднократном промежуточном дроблении, а содержание оксидов кремния, алюминия, магния, железа и щелочных металлов обуславливает их использование в качестве сырьевой основы для получения силикатных материалов многоцелевого назначения.

Каолины обладают уникальным комплексом свойств (высокая белизна, огнеупорность, дисперсность, химическая инертность к кислотным и щелочным растворам, механическая прочность

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.087

**Bobkova Ninel M.**

Doctor of Engineering, Professor,  
Belarusian State Technological University,  
220050, Minsk, Sverdlova, 13a  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**Dyatlova Evgenia M.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Belarusian State Technological University  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**Barantseva Svetlana E.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Belarusian State Technological University,  
e-mail: [svetbar@tut.by](mailto:svetbar@tut.by)

**Trusova Ekaterina E.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Belarusian State Technological University  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**Sergievich Olga A.**

Candidate of Technical Sciences,  
Research Worker,  
Belarusian State Technological University,  
e-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**MULTIFUNCTIONAL APPLICATION  
OF GRANITOID ROCKS AND KAOLINS  
OF THE REPUBLIC OF BELARUS  
IN THE SILICATE INDUSTRY***Abstract:*

The paper presents the results of studying the possibility of obtaining various silicate materials – foam glass, glasses, vitrocrySTALLINE materials (petrositals and stone casting) and porous fillers for lightweight concretes based on granitoid rocks, as well as ceramics and refractory materials based on natural and enriched kaolins of the Republic of Belarus are presented.

A significant advantage of granitoid rocks is minor variations in chemical composition due to the substantial averaging with repeated intermediate crushing, whereas the content of oxides of silicon, aluminum, magnesium, iron and alkali allows for their use as a raw material basis for the production of silicate materials of multi-purpose use.

Kaolins possess a unique complex of properties (high whiteness, fire-proofness, dispersity, chemical inertness to acidic and alkaline solutions, mechanical strength in air-dry state), which determines their multi-purpose application not only in the ceramic industry, but also in a number of other industries: such as food, paper, medical, cosmetic, rubber ones,

в воздушно-сухом состоянии), определяющим его многогранное использование не только в керамической отрасли, но и ряде других отраслей: пищевой, бумажной, медицинской, косметической, резиновой и т. д. Каолиновое сырье отечественного месторождения «Ситница», восточная часть которого является вскрышной породой гранитоидов, отличается наличием в минеральном составе помимо каолинита кварцевой и полевошпатовой части.

Комплекс показателей физико-химических свойств синтезированных материалов является подтверждением не только целесообразности использования гранитоидных пород и каолинов в качестве компонентов сырьевых композиций, но и критерия улучшения экологической обстановки территорий, прилегающих к горноперерабатывающим предприятиям.

Близость месторождений гранитоидных и каолиновых пород в западной части Микашевичско-Житковичского горста обеспечит доступность этого сырья и минимальные затраты при их совместной транспортировке производителю.

*Ключевые слова:* гранитоидные породы, каолин, стекла, стеклокристаллические материалы, керамика, огнеупоры, каменное литье, пеностекло, пористый наполнитель

*etc. The kaolinic raw material of the Sitnitsa deposit, the eastern part of which is an overburden of granitoids, is distinguished by the presence of a quartz and feldspar quartz part in the mineral composition. A set of indicators of the physico-chemical properties of synthesized materials offers a proof not only of the advisability of using granitoid rocks and kaolins as components of raw material compositions, but also of the improvement of ecological environment within the areas adjacent to mining and processing enterprises.*

*The proximity of deposits of granitoid and kaolin reserves in the western part of the Mikashevichsko-Zhitkovichsky horst provides access to these resources and minimal costs, when they are jointly transported to the manufacturer.*

*Keywords:* granitoid rocks, kaolin, glasses, vitrocrystalline materials, ceramics, refractories, stone casting, foam glass, porous filler.

### Введение

В районах интенсивного развития горного производства особенно остро стоит проблема постоянно увеличивающихся объемов отвалообразований, негативно влияющих на экологическую обстановку близлежащих регионов.

Микашевичское месторождение строительного камня Республики Беларусь (Лунинецкий район Брестской области) разрабатывается РУПП «Гранит», которое специализируется на производстве дорожного щебня. Балансовые запасы сырья по промышленным категориям составляют 319 706 тыс. м<sup>3</sup>, по категории С<sub>2</sub> – 147 220 тыс. м<sup>3</sup>. Проектная мощность предприятия 10,1 млн. м<sup>3</sup>/год. Месторождение разрабатывается карьерным способом, горнотехнические условия благоприятные, глубина карьера составляет 130 м. Камень добывается этапами, раздробленные техникой участки образуют мощные горизонты по периметру. Возраст пород нижнепротерозойский, они представлены диоритами, гниитами и гранодиоритами; в подчиненном количестве встречаются жильные разности: диоритовые порфириты, керсаниты, аплиты и пегматиты [1].

Основными минералами гранитоидных пород являются плагиоклазы, кварц, полевой шпат, роговая обманка, микроклин, амфибол. К вторичным минералам относятся эпидот, серицит, хлорит; к акцессорным – сфен, апатит, магнетит, пирит.

Восточная часть месторождения каолина «Ситница» (Лунинецкий район Брестской области) разведана детально и находится в пределах карьера строительного камня «Ситницкое», который готовится к разработке. Каолин представлен корой выветривания гнейсов и гранитогнейсов нижнего архея в виде залежи общей площадью разведанных промышленных запасов 253 тыс. м<sup>2</sup>. Мощность каолинов, залегающих под песчано-глинистыми отложениями на глубине 12,0 – 23,4 м, составляет 2,0 – 9,1 м (средняя – 3,6 м). Полезное ископаемое месторождения «Ситница» относится к маложелезистой разности каолинов с повышенным количеством механических примесей. Предварительной разведкой определены запасы в 2,53 млн. т по категориям С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> [1].

По петрографо-минералогическим исследованиям первичный каолин «Ситница» представляет собой глинистую породу серого цвета с крупными включениями зерен кварца и полевого шпата. Минералогическими анализами обнаружены ильменит, пирит, магнетит, силлиманит, андалузит, гранат, лейкоксен. Глинистая составляющая, помимо криптоточечного каолинита в качестве примеси, содержит гидрослюда (иллит, гидромусковит).

Таким образом, возникает необходимость практического использования гранитоидных и каолиновых пород для нужд отечественной промышленной отрасли. При производстве дорожного щебня образуется около 25 % некондиционного продукта – гранитных отсеков и циклонной пыли. Для расширения сферы его использования были проведены комплексные экспериментально-технологические работы по синтезу силикатных материалов различного назначения и выявлению зависимости свойств синтезируемых материалов от химического и минерало-петрографического состава пород.

Существенным преимуществом гранитоидных отсеков являются относительно небольшие колебания химического состава благодаря существенному усреднению при их неоднократном промежуточном дроблении. Согласно [2], усредненные составы различных проб гранитных отсеков представлены, мас. %: SiO<sub>2</sub> 60,3–63,4; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15,2–15,25; CaO 4,0–4,3; MgO 2,75–3,0; Na<sub>2</sub>O 2,45–2,4; K<sub>2</sub>O 3,4–4,4; (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO) 5,8–8,6; MnO 0,19; TiO<sub>2</sub> 0,9. Содержание оксидов кремния, алюминия, магния, железа и щелочных металлов является обоснованным критерием использования гранитоидных пород в качестве сырьевой основы для получения различных силикатных материалов [3, 4, 5].

Комплексные исследования химико-минеральных, структурных, термических и технологических свойств природного каолина месторождения «Ситница» показали, что по большинству характеристик он не соответствует требованиям ГОСТ 21286–82 «Каолин обогащенный для керамических изделий». Установлено, что гидравлическое обогащение ситовым способом первичного каолина «Ситница» обеспечивает максимальный выход кондиционного каолина до 32,5 мас. %, а сочетание гидравлической обработки с биологическим или химическим обогащением позволит обеспечить получение каолинового продукта с наибольшим содержанием в нем каолинита и минимальным – железосодержащих примесей [6, 7, 8].

#### *Изложение рассматриваемых вопросов*

В настоящей работе гранитоидные отсеки были использованы в качестве основного компонента сырьевых композиций для получения пеностекла, сортового и строительного стекла, стеклокристаллических материалов – петроситалла и каменного литья, а природный и обогащенный гидравлическим ситовым способом каолин «Ситница» – в качестве исходной составляющей для синтеза некоторых видов огнеупорных материалов и керамических плиток для полов. Это, в свою очередь, обеспечит расширение минерально-сырьевой базы отрасли строительных материалов Республики Беларусь.

При синтезе пеностекла в системе компонентов «гранитоиды – кварцевый песок – мел – сода» синтезированы стекла, содержащие в шихте 50–70 мас. % гранитоидов, и определено оптимальное количество дополнительно вводимых оксида натрия и кварцевого песка для обеспечения необходимых вязкостных характеристик и процесса вспенивания.

На основе изучения основных физико-химических свойств установлено, что наиболее перспективными для получения пеностекла являются составы, содержащие 50–60 мас. % гранитоидов. Установлено, что состав стекла оказывает существенное влияние на температуру, соответствующую значению логарифма вязкости, равному 4. Экспериментально установлено оптимальное количество вспенивателя (1,7 и 2 %), в качестве которого использовался молотый уголь (кокс).

На примере стекла с наилучшей вспенивающей способностью изучена роль поверхностно-активных добавок ( $\text{WO}_3$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), вводимых в количестве до 0,25 % сверх 100 %. Установлено, что процесс вспенивания наиболее активно стимулируется оксидом хрома, при этом формируется однородная пористая структура. Установлено, что оптимальное количество оксида хрома, которое оказывает наиболее благоприятное влияние на процессы вспенивания, составляет 0,05 – 0,25 %, при этом температура формирования пористой структуры снижается на 50 °С по сравнению с использованием других ПАВ.

Стекло оптимального состава, содержащее 0,05 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , с наилучшими показателями физико-механических и термических характеристик, синтезировано из шихты, содержащей 60 мас. ч. гранитоидных отсевов, и имеет химический состав, мас. %: 53,0  $\text{SiO}_2$ ; 9,15  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 1,7  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 12,4  $\text{CaO}$ ; 1,64  $\text{MgO}$ ; 1,8  $\text{FeO}$ ; 17,1  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 2,1  $\text{K}_2\text{O}$ ; 0,05  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (сверх 100 %). Температура его вспенивания составляет 780 – 825 °С; время вспенивания – 25 мин; коэффициент вспенивания – 4–5. Пеностекло характеризуется следующими показателями основных свойств: объемная масса – 157–160  $\text{кг/м}^3$ ; коэффициент теплопроводности при 25 °С – 0,097, при 125 °С – 0,118  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; механическая прочность при сжатии – 1,55 – 1,6 МПа.

Вышеуказанные характеристики свидетельствуют о конкурентоспособности разработанного пеностекла с известными аналогами и другими пористыми материалами.

В качестве основы для синтеза стеклокристаллических материалов были использованы сырьевые композиции для получения исходного стекла из одних гранитоидных отсевов, стекла с корректировкой щелочным компонентом для улучшения технологических характеристик расплава стекла и его свойств (для сортового и художественного), а также сырьевой композиции для получения стеклокристаллических материалов, которая обеспечивает формирование при термической обработке пироксеновой кристаллической фазы типа алюмодиоксида и алюмоавгита [3, 4].

Составы экспериментальных сырьевых композиций на основе гранитоидных отсевов для получения стекол и стеклокристаллических материалов приведены в табл. 1.

Стекла синтезировались при температуре 1450 °С с выдержкой в течение 1 ч, затем выливались на металлическую плиту (стекло СГ и ССГ), а из стекла СК получали стеклокристаллические материалы различными технологическими приемами.

Таблица 1

Составы экспериментальных сырьевых композиций

Компоненты	Содержание в массовых частях		
	Состав СГ	Состав ССГ	Состав СК
Гранитоидные отсевы	100,0	95,0	95,0
Кальцинированная сода	–	8,6	8,6
Мел	–	–	9,3
Оксид магния	–	–	5,0
Оксид хрома	–	–	1,0

Примечание. СГ – стекло из гранитоидных отсевов; ССГ – стекло из гранитоидных отсевов, дополненное щелочным компонентом; СК – стекло для стеклокристаллических материалов.

В результате синтеза стекол, составы сырьевых композиций которых приведены в табл. 1, получено технологичное черное стекло ССГ, которое может быть рекомендовано в качестве сортового, архитектурно-строительного и художественного. Следует отметить, что стекло СГ, синтезированное из одних гранитоидных пород, имеет участки непровара, неоднородностей и не может быть отнесено к технологичному. Повышение температуры его синтеза является энергетически невыгодным.

На основе стекла СК с использованием в составе шихты до 95 мас.ч. гранитоидных отсеков с небольшой подшихтовкой и введением стимулятора кристаллизации – оксида хрома в количестве 1,0 мас.ч. – получено три вида стеклокристаллических материалов, отличающихся технологическими методами изготовления:

– петроситалл по классической ситалловой технологии из сваренного и отожженного стекла с его последующей одностадийной термической обработкой «снизу» до 850 °С с выдержкой в течение 1 ч;

– петроситалл методом термопластического прессования литейной массы, приготовленной из тонкомолотого порошка стекла (удельная поверхность 5000 – 6000 см<sup>2</sup>/г), пластификатора – парафина с добавкой в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ) олеиновой кислоты; термическая обработка состояла из стадий удаления пластифицирующей связки (180 – 500 °С), кристаллизации и спекания при температуре 1050 °С;

– каменное литье методом кристаллизации горячих отливок «сверху» при температуре 770 – 800 °С с выдержкой в течение 30 мин.

Во всех случаях охлаждение осуществлялось инерционно.

Информация, изученная с помощью метода дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), позволила оценить высокую активность процесса формирования пироксеновой кристаллической фазы в интервале 800 – 900 °С, что хорошо видно на кривой ДСК, приведенной на рис. 1.

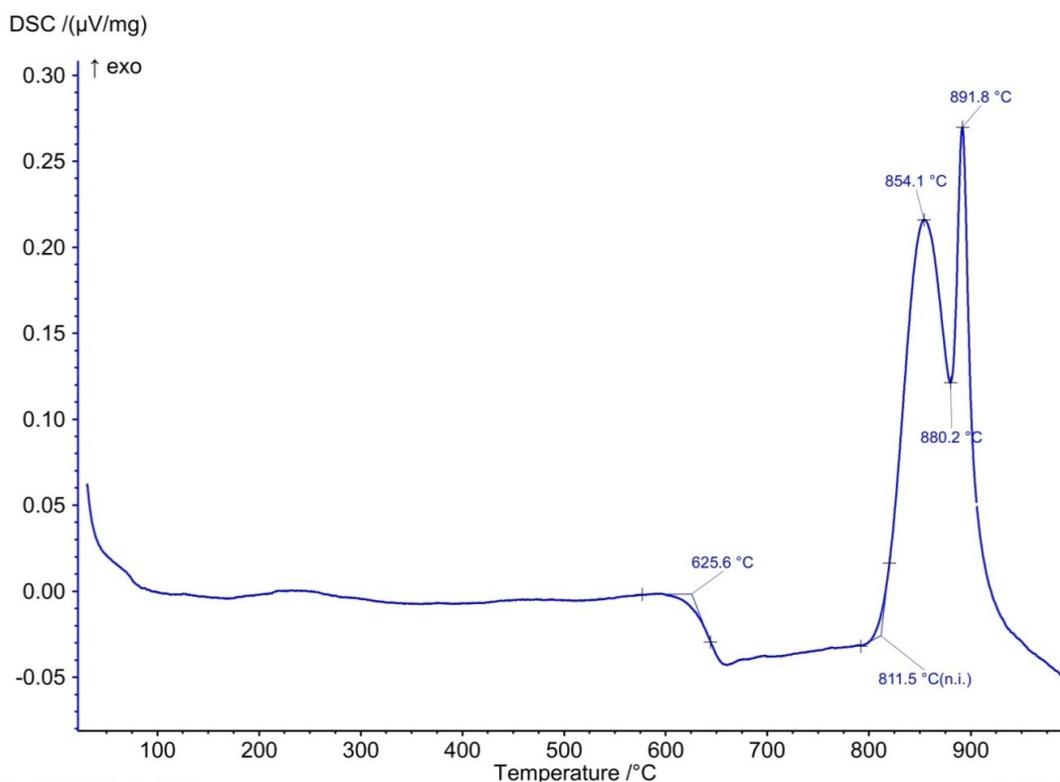


Рис. 1 – Кривая ДСК стеклокристаллического материала

Вышеописанные стеклокристаллические материалы, полученные на основе гранитоидов, имеют идентичный фазовый состав, представленный пироксеновым твердым раствором типа  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ , обеспечивающим высокие показатели физико-химических свойств, особенно кислотостойкости (99,8 %) и износостойкости (потери при истирании составляют 0,023 г/см<sup>2</sup>). Структура образцов стеклокристаллических материалов плотная, однородная и отличается только размерами кристаллов: у каменного литья они составляют 10 – 50 мкм; у петроситалла, полученного по классической ситалловой технологии, – 1,0 – 1,5 мкм; у стеклокристаллического материала, полученного термопластическим прессованием, – менее 1 мкм.

Комплекс показателей физико-химических свойств разработанных петроситаллов и каменного литья предполагает возможность их использования в качестве элементов оборудования и конструкционных деталей, работающих при комбинированном воздействии агрессивных сред и трения различной природы. Получение изделий из ситалла методом термопластического прессования по порошковой технологии обеспечит возможность изготовления малогабаритных деталей сложной конфигурации с различной геометрией поверхности для использования в условиях повышенного трения скольжения.

Особый интерес представляют пористые заполнители для легких бетонов, получаемые практически из одной породы с небольшой корректировкой и добавлением порообразователя [9]. Получение таких материалов связано с изготовлением сырцовых гранул и их поризации при обжиге, что позволяет обеспечить объемную плотность заполнителя  $300 - 650 \text{ кг/м}^3$ .

Установлено, что изменения агрегатного состояния, происходящие при термообработке гранитоидной породы, характеризуется следующими температурными интервалами:  $1100 - 1150 \text{ }^\circ\text{C}$  – образование плотного спека с небольшим количеством стекловидной фазы;  $1150 - 1170 \text{ }^\circ\text{C}$  – неполное оплавление спека;  $1170 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$  – признаки интенсивного образования жидкой фазы;  $1200 - 1250 \text{ }^\circ\text{C}$  – расплав. Наиболее важным является интервал плавления, определяющий температуру обжига и поризации материала.

Согласно данным ДСК, приведенным на рис. 2, в области температур экзоэффекта  $495 - 550 \text{ }^\circ\text{C}$  происходит фазовый переход метастабильной формы  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (маггемита) в стабильную  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (гематит). При  $573 \text{ }^\circ\text{C}$  отмечается слабый эндоэффект, обусловленный фазовым переходом кварца из  $\beta\text{-}$  в  $\alpha\text{-}$  форму. Следующий эндоэффект в интервале  $1160 - 1240 \text{ }^\circ\text{C}$  соответствует изменению пиропластического состояния образца за счет образования жидкой фазы при нагревании, поэтому этот интервал температуры является критерием выбора температурных параметров обжига.

DSC /( $\mu\text{V}/\text{mg}$ )

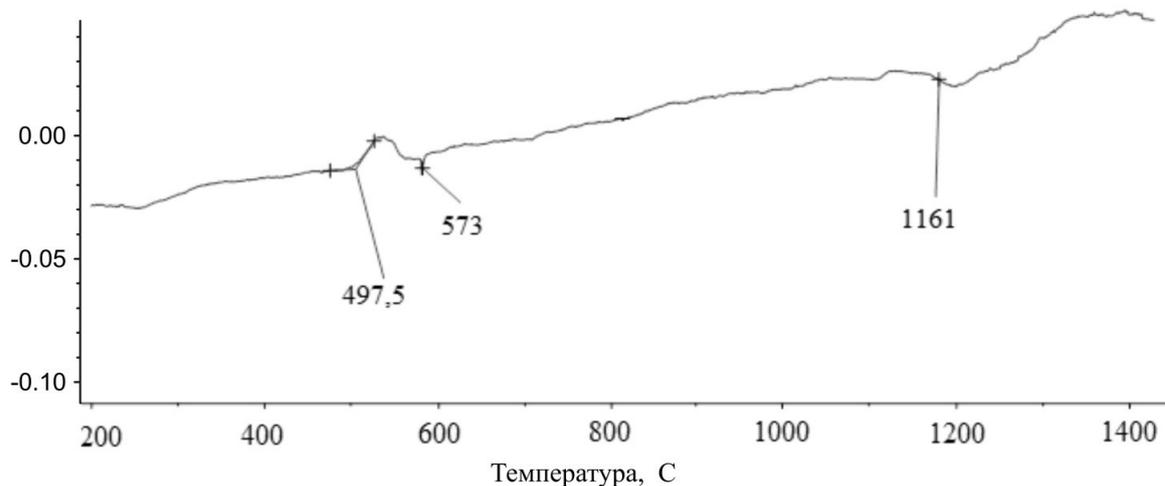


Рис. 2 – Кривая ДСК гранитоидных отсеков

Гранитоидные отсеки являются крайне непластичным компонентом, поэтому при формировании гранул для сохранения их целостности, особенно после сушки и в момент транспортировки в обжиговые агрегаты, необходимо обеспечить достаточную прочность, что достигалось применением связующих и пластифицирующих добавок.

Таким образом, качественный состав сырьевой композиции представлен гранитоидными отсеками определенного фракционного состава, порообразователем, пластифицирующей и связующей добавками. Для получения пластичной массы, способной гранулироваться, использовалась вода в количествах, подобранных экспериментально.

Стадия обжига является наиболее важной и ответственной, обеспечивающей процессы порообразования, формирования структуры будущего теплоизоляционного заполнителя и необходимые физико-химические свойства, в частности, насыпную объемную плотность, теплопроводность, прочность при сжатии, водопоглощение и заданный коэффициент вспучивания. Были апробированы различные режимы обжига во взаимосвязи с определением критериальных свойств, изучена структура пористых материалов, на основании которых выбраны оптимальные температурно-временные параметры термической обработки.

В результате проведенных экспериментов по подбору температурно-временных параметров режима обжига рекомендовано проведение комплексной термообработки в одном тепловом агрегате, включающей стадии сушки при 100 °С, плавного подъема температуры до 600 °С, быстрого подъема температуры обжига до 1180 – 1190 °С, последующего быстрого охлаждения до 800 °С, а затем инерционного охлаждения до комнатной температуры.

В результате проведенных исследований синтезирован теплоизоляционный пористый заполнитель на основе гранитоидных отсеков, имеющий показатели физико-химических свойств, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

**Показатели свойств пористого заполнителя, полученного  
на основе гранитоидных отсеков**

Свойства	Показатели
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	490–500
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	350–400
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,089
Механическая прочность при сжатии, МПа	2,5
Водопоглощение, %	7–9
Коэффициент вспучивания	3,5–4,0

Для установления возможности изготовления образцов блоков типа «Термокомфорт» нами по разработанной технологии была изготовлена партия пористого заполнителя фракции 4 – 10 мм, которая применяется для легких бетонов такого типа. На предприятии ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» в лабораторных условиях по существующему заводскому рецепту были изготовлены образцы блоков (70×70×70) мм, показатели плотности, теплопроводности и водопоглощения которых соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

Установлена и экспериментально подтверждена возможность использования природного и обогащенного каолина месторождения «Ситница» в качестве компонента сырьевых композиций для получения алюмосиликатных огнеупорных материалов [10]. Показано, что оптимальными показателями свойств обладают образцы, обожженные при температуре 1250 °С и полученные из керамических масс с применением природного и обогащенного каолина «Ситница» в количестве 30 и 40 мас. %, соответственно, а также с использованием глины «Гранитик-Веско» и алюмосиликатного шамота фракции 0 - 2 мм непрерывного зернового состава. Основные показатели свойств разработанных огнеупорных материалов приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Свойства разработанных огнеупорных материалов**

Наименование показателей	С природным каолином		С обогащенным каолином		Требования ГОСТ 28874–2004					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Низкоглиноземистые полукислые Группа LF 10		Шамотные Группа FC 30		Шамотные Группа FC 35	
Содержание определяющих химических компонентов, мас. %	31,79	60,59	36,00	56,10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
					(10–28)	менее 85	(28–35)	–	(28–45)	–
Огнеупорность, °С	Более 1580		Более 1580		Огнеупорные 1580–1770					
Пористость открытая, %	15,9		14,0		Уплотненные больше или равно (16–20)				Плотные больше (10–16)	
Механическая прочность при сжатии, МПа	42,2		74,6		Не регламентируется					
ТКЛР, ·10 <sup>-6</sup> , К <sup>-1</sup>	4,85		4,36		Не регламентируется					
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,65		0,79		Не регламентируется					
Область применения	Для различных тепловых агрегатов (общего назначения)				Для различных тепловых агрегатов (общего назначения)				Для определенных тепловых агрегатов и устройств	

Наличие кристаллических фаз – муллита, кварца и кристобалита – свидетельствует об идентичности качественного фазового состава исследуемых материалов и минерального состава шамотных огнеупоров, причем при использовании обогащенного каолина «Ситница» на дифрактограмме наблюдается увеличение интенсивности дифракционных максимумов муллита за счет повышенного содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Ход высокотемпературных дилатометрических кривых огнеупорных материалов, изготовленных с использованием природного и обогащенного каолина «Ситница» (рис. 3), имеет практически одинаковый характер с небольшим смещением кривой огнеупорного материала с обогащенным каолином в высокотемпературную область, что обусловлено большим содержанием в его составе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Структура огнеупорного материала поликристаллическая и мелкозернистая. При использовании обогащенного каолина с максимальным количеством каолиновых фракций менее 0,063 мм она становится более однородной вследствие интенсификации процесса спекания керамических масс.

Проведенная апробация разработанных полукислых низкоглиноземистых и шамотных огнеупорных изделий с отработкой технологических параметров их изготовления в условиях ОАО «Гомельстекло» подтвердила возможность получения алюмосиликатных огнеупоров с показателями физико-механических свойств, соответствующих требованиям ГОСТ 28874–2004 и ГОСТ 390–96. Разработанные огнеупорные материалы могут использоваться для различных тепловых агрегатов и устройств общего назначения, при этом стоимость изделий с использованием каолинового сырья месторождения «Ситница» может быть снижена в 1,5 раза.

С применением в качестве компонента сырьевой композиции природного каолина месторождения «Ситница» разработаны составы для получения керамических плиток для полов, которые включали огнеупорную глину марок «Керамик-Веско» и ДНПК, каолин

Глуховецкий КС-1, полевой шпат и кварцевый песок. Определены основные показатели керамических шликеров (влажность – 37,0 – 39,3 %, текучесть – 9 – 12 с, остаток на сите № 0063 – 1,0 – 3,0 %) и грансостав пресс-порошков (фракция 1 – 0,5 мм – 26 – 33,7 %, менее 0,25 мм – 44 – 60,2 %).

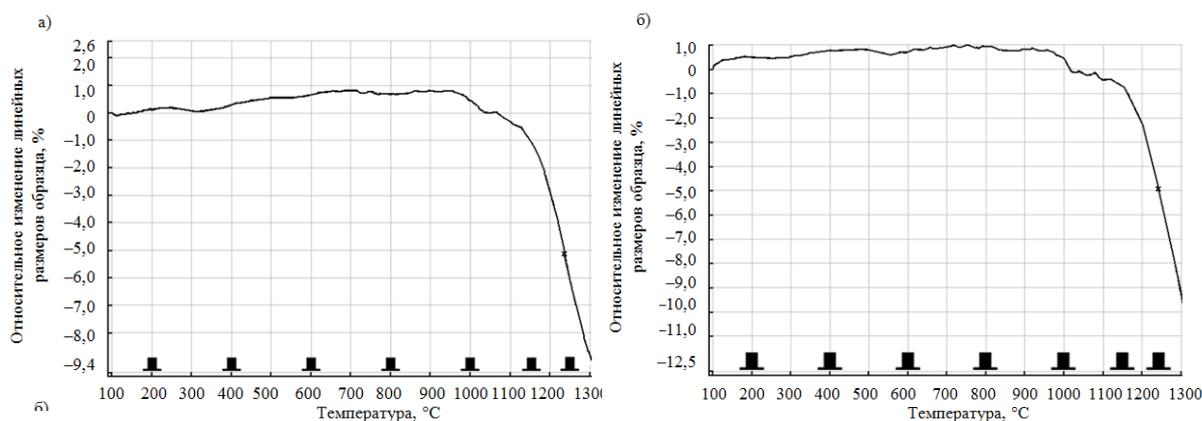


Рис. 3 – Дилатометрические кривые опытных образцов  
Индекс составов масс: а – № 4; б – К-2

Исследование основных эксплуатационных свойств керамических плиток для полов, синтезированных при температурах обжига 1160 и 1200 °С, позволило установить оптимальное количество природного каолина «Ситница», составляющее 10 – 15 %. Положительные результаты дала полная замена украинского каолина-сырца Жежелевского месторождения на природный каолин «Ситница» в составах керамических масс, обеспечивающая получение плиток для полов со следующими показателями свойств при температуре обжига 1200 °С: водопоглощение – 0,25 %, механическая прочность при изгибе – 41,7 МПа, что отвечает требованиям соответствующих стандартов на керамические плитки для полов типа грес. Основными кристаллическими фазами материала являются кварц, микроклин, альбит и муллит.

В условиях ОАО «Керамин» из разработанных составов сырьевых композиций выпущена партия керамических глазурованных плиток для полов размером (300×300×7) мм, соответствующих требованиям ГОСТ 6787–2001 и СТБ EN 14411–2009. При полной замене украинского каолина Жежелевского месторождения годовой объем потребления которого составляет 5 тыс. т, необогащенным каолином месторождения «Ситница» экономический эффект составит около 100 тыс. долларов США.

#### Заключение

Целесообразность и перспективность использования гранитоидных отсеков для производства пеностекла, стекол различного назначения, стеклокристаллических материалов и теплоизоляционного пористого заполнителя, а также каолина «Ситница» для получения алюмосиликатных шамотных и полуокислых огнеупоров и керамических плиток для полов вполне оправданна и подтверждена результатами проведенных исследований. Масштабная организация их производства будет способствовать не только расширению минерально-сырьевой базы Республики Беларусь, но и улучшению экологической ситуации в регионах, связанных с добычей и переработкой горных пород.

#### Литература

1. Полезные ископаемые Беларуси: К 75-летию Белорус. науч.-исслед. геолого-разведоч. ин-та / Редкол. : П.З. Хомич и др. – Минск: «Адукацыя і выхаванне», 2002. – С. 320 – 327.
2. Химические анализы горных пород кристаллического фундамента Белоруссии: справочник / А.М. Пап, Н.В. Аксаментова, А.А. Архипова, И.В. Найденков. – Минск: Наука и техника, 1988. – 243 с.

3. Жунина Л.А. Пироксеновые ситаллы / Л.А. Жунина, М.И. Кузьменков, В.Н. Яглов. – Минск: БГТУ, 1974. – 224 с.
4. Экспериментальная и техническая петрология / Е.Н. Граменицкий и др. – М.: Научный мир, 2000. – С. 111 – 144.
5. Fernanda G. Dias. Assessment of the fluxing potential of igneous rocks in the traditional ceramics industry / Fernanda G. Dias [et al.] // Ceramics International. – 2017.– № 43.– P. 16149 – 16158.
6. Галабурда А.Ф. Производство каолина / А.Ф. Галабурда, Л.И. Шрайман. – М.: Госстройиздат, 1958. – 192 с.
7. Белый метакаолин: факторы, влияющие на окраску, и методы оценки / Р.А. Платова и др. // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 55 – 60.
8. Воробьев Н.И. Обогащение полезных ископаемых: пособие / Н.И. Воробьев, Д.М. Новик. – Минск: Белорус. гос. технол. ун-т, 2008. – 172 с.
9. Пат. 2497780 Российская Федерация, МПК С04В38/02. Сырьевая смесь для получения пористого заполнителя / В.А. Отмахов, С.Г. Прокудин, М.И. Колотай. – № 0002497780, заявл. 18.06.2012, опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31.
10. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок: справочник: в 2 кн. / сост.: И.Д. Кашеев и др.; под ред. И.Д. Кашеева. – М.: Интернет инжиниринг, 2000. – Кн. 1: Производство огнеупоров. – 662 с