

С. Е. Баранцева¹, Ю. А. Климош¹, Н. Н. Гундилович¹, А. И. Позняк²,
А. А. Толкачикова³, Л. Н. Таран³

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

²Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

³Научно-практический центр по геологии, Минск, Беларусь

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАБАЗОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА БЕЛАРУСИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Приведены результаты исследования вмещающих диабазовых пород Диабазового редкоземельно-бериллиевого месторождения Республики Беларусь с целью определения их пригодности для получения силикатных материалов и изделий различного назначения. Полученные сведения позволили разработать сырьевые композиции и оптимизировать технологические параметры получения стекол, минеральных волокон, ситаллов, каменного литья, керамического кирпича и плиток, а также пористых заполнителей. Установлены закономерности структуро- и фазообразования при высокотемпературной обработке сырьевых композиций силикатных материалов с использованием диабазов. Результаты работы позволяют выявить особенности получения силикатных материалов с требуемыми показателями физико-химических свойств, содержащих диабаз в качестве основного компонента сырьевых композиций, что позволит расширить минерально-сырьевую базу Беларуси и улучшить экологическую обстановку на горнодобывающих предприятиях.

Ключевые слова: диабаз, температура начала плавления, термическая обработка, стекла, стеклокристаллические материалы, керамика, теплоизоляционные пористые материалы

Для цитирования. Перспективы использования диабазов кристаллического фундамента Беларуси для получения силикатных материалов / С. Е. Баранцева [и др.] // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2020. – Т. 56, № 1. С. 114–124. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-1-114-128>

Svetlana E. Barantseva¹, Yuri A. Klimosh¹, Nikolay N. Gundilovich¹, Anna I. Pazniak²,
Alla A. Tolkachikova³, Lyudmila N. Taran³

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

²National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russia

³State Enterprise “NPC Geology”, Minsk, Belarus

PROSPECTS FOR THE USE OF DIABASES OF THE CRYSTAL BASE OF BELARUS TO OBTAIN SILICATE MATERIALS

Abstract. The paper presents the study results of diabases of rare-earth and beryllium-containing deposit of the Republic of Belarus in order to determine their suitability for the production of silicate materials and products for various purposes. The data obtained allowed developing raw compositions and optimizing the technological parameters to produce glass, mineral fibers, glass ceramics, stone casting, ceramic bricks and tiles, as well as porous aggregates. The regularities of structure and phase formation during high-temperature treatment of raw compositions of silicate materials using diabases are established. The results of the work allow us to establish the features of the production of silicate materials containing diabase as main raw material of compositions, to increase mineral and raw-materials base of Belarus and to improve the environmental situation in mining enterprises.

Keywords: diabase, sintering temperature, heat treatment, glass, glass-ceramic materials, ceramics, heat-insulating materials

For citation. Barantseva S. E., Klimosh Yu. A., Gundilovich N. N., Pazniak A. I., Tolkachikova A. A., Taran L. N. Prospects for the use of diabases of the crystal base of Belarus to obtain silicate materials // *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2020, vol. 56, no. 1, pp. 114–128 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-1-114-124>

Введение. Решение проблемы создания безотходных технологических процессов переработки горных пород является в настоящее время актуальной задачей, поскольку вносит весомый вклад в расширение минерально-сырьевой базы республики и улучшение экологической ситуации прилегающих к горноперерабатывающим предприятиям территорий за счет утилизации образующихся некондиционных отходов дробления.

Потенциально перспективными для получения силикатных материалов различного назначения являются вмещающие диабазовые породы редкоземельно-бериллиевого Диабазового месторождения, которые при возможной промышленной его разработке будут уходить в некондиционные отвалы. Месторождение расположено на юге Беларуси в пределах Житковичского горста Осницко-Микашевичского вулcano-плутонического пояса. Диабазы и габбро-диабазы слагают дайки различной мощности, из которых детально изучена самая крупная (Нагорновская), простирающаяся с небольшими перерывами на 20 км мощностью 250 м, и могут использоваться в качестве как основного, так и долевого компонента сырьевых композиций для получения силикатных материалов [1].

В настоящее время накоплен значительный опыт применения различных горных пород в качестве сырьевых компонентов при производстве силикатных материалов – стекол [2], стеклокристаллических материалов (петроситаллов) и каменного литья [3, 4], минеральных волокон [5].

Диабаз является палеотипным аналогом основных магматических горных пород (базальта и долерита), он близок к ним по минеральному и химическому составу, в который входят кварц, апатит, роговая обманка, а также серпентин, лимонит, кальцит [6, 7]. Твердый, прочный, плотный, исключительно долговечный природный материал отличается малым изменением температурного коэффициента линейного расширения, что объясняет высокий спрос на него со стороны строительных организаций. Каждое месторождение диабаза имеет своеобразные цветовые характеристики камня, однако в большинстве случаев порода характеризуется зелеными оттенками, а диабазы густой черной окраски являются особенно востребованными.

Результаты исследования по получению силикатных материалов с использованием гранитоидных пород кристаллического фундамента Республики Беларусь представлены в работах [8, 9]. Диабазовые породы не изучались, так как их добыча в промышленном масштабе не производится, однако месторождение является потенциально перспективным.

Цель исследования – разработка рецептуры сырьевых композиций силикатных материалов на основе и с использованием диабазовой породы, определение технологических параметров их получения для создания теоретических основ направленного структуро- и фазообразования.

Объектом исследования являются сырьевые композиции, содержащие пробу магматической горной породы – диабаза Диабазового месторождения нагорновского комплекса юга Беларуси. Исследование, включающее изучение минерального и химического состава пробы диабазовой породы, определение температурных интервалов изменения ее агрегатного состояния при термообработке, проведение комплексных экспериментально-технологических исследований по получению силикатных материалов различного назначения, определение комплекса физико-химических свойств и эксплуатационно-технических характеристик, позволили разработать рецептуру сырьевых композиций материалов.

Методы исследования. Стекла синтезировались из шихт, приготовленных в соответствии с разработанной рецептурой при температуре 1450 ± 10 °С и выдержке в течение 1 ч, выработывались отливом на металлическую плиту и в металлические формы, вытягиванием из расплава, затем отжигались при температуре 560 ± 10 °С. В случае получения стеклокристаллического материала – петроситалла, отожженные и охлажденные образцы стекол подвергались термической обработке при постепенном подъеме температуры до 840 ± 10 °С, а при получении каменного литья отформованные образцы стекла сразу после отливки и приобретения затвердевшего состояния в интервале температуры 700–750 °С помещали для кристаллизации в нагретую до 830–850 °С электрическую печь.

Для изготовления теплоизоляционного пористого материала приготовление массы проводили поэтапно путем тщательного смешивания в сухом состоянии тонкомолотой диабазовой породы и порообразователя (карбида кремния), затем добавляли пластификатор, связующее и воду, формовали сырцовые гранулы, которые подсушивались, а затем поступали на термическую обработку по режиму, обеспечивающему заданный коэффициент вспучивания и объемную плотность.

При синтезе керамических материалов сырьевые компоненты дозировались в определенных соотношениях, готовилась керамическая масса, затем образцы формовались методом полусухого прессования и проходили стадию однократного обжига при температуре 1200 ± 10 °С.

Процессы при нагревании или охлаждении исследуемых образцов диабазы и сырьевых композиций, связанные с изменением агрегатного состояния, фазового состава и структуры, фиксировались с использованием дифференциально-сканирующего калориметра DSC 404 F3 Pegasus (NETZSCH, Германия) в интервале температур 30–1200 °С и среде аргона (Ar).

Микроструктуру и химический оксидный состав образцов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония). Изображения получены с реальной поверхности скола образца при увеличении в 1000 раз. Фазовый состав образцов определяли с помощью рентгеновского дифрактометра Miniflex 600 (Rigaku, Япония) в диапазоне углов 5–70°.

Результаты и их обсуждение. В связи с тем что технология получения силикатных материалов связана с высокотемпературными процессами (варка стекол, кристаллизация, обжиг) изучено поведение исходной пробы диабазовой породы при нагревании в температурном интервале 400–1300 °С. Это позволило проследить изменение агрегатного состояния порошкообразного (размер частиц 0,25–0,5 мм) образца, определить температуры появления жидкой стекловидной фазы и образования спеков, размягчения, начала плавления породы и расплавообразования.

Усредненный химический состав технологической пробы диабазы, мас. %: SiO₂ – 45,54; TiO₂ – 0,82; Al₂O₃ – 14,84; (Fe₂O₃ + FeO) – 15,02; CaO – 5,55; MgO – 9,43; K₂O – 0,96; Na₂O – 3,71; P₂O₅ – 0,20; MnO – 0,42; SO₃ – менее 0,1; ппп – 4,23.

Определено, что переход Fe₂O₃ из γ-формы (маггемит) в α-форму (гематит) происходит в области 415–550 °С, о чем свидетельствует интенсивное изменение цвета пробы от светло-серого до коричнево-бежевого. Оценку усадки, связанной с образованием жидкой фазы, проводили по изменению высоты пробы в тигле. Характерно, что при температуре 1170–1180 °С мениск остается выпуклым, а затем при переходе в расплав при температуре 1200–1215 °С становится вогнутым.

Особенности изменения агрегатного состояния изучаемой диабазовой породы могут быть условно представлены следующими основными наиболее характерными температурными интервалами: 300–1050 °С – порошкообразная проба не претерпевает изменений; 1050–1140 °С – постепенное уплотнение порошка; 1140–1180 °С – интенсивное уплотнение пробы, образование спека за счет появления небольшого количества жидкой фазы и резкое изменение цвета от терракотового до черно-коричневого; 1200 °С – оплавление и упрочнение спека с увеличением количества жидкой фазы; 1200–1300 °С – полное плавление и интенсивное нарастание количества стеклообразной жидкой фазы. Определены температура начала плавления породы, составляющая 1170–1180 °С; интервал перехода в расплав – 1270–1300 °С, при этом в нем замечено присут-

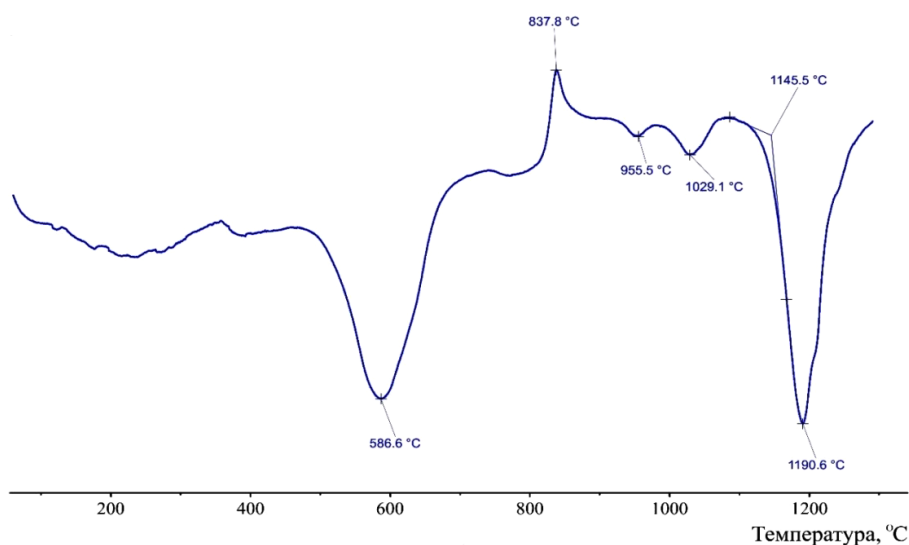


Рис. 1. Кривая ДСК исходной пробы диабазы

Fig. 1. DSC curve of the fresh diabase sample

ствие небольшого количества непрореагировавших конгломератов, по всей вероятности, реликтового происхождения.

Дифференциальная сканирующая калориметрия образца диабазовой породы при нагревании от 20 до 1300 °С при скорости подъема температуры 10 °С/мин (рис. 1) подтвердила, что начало плавления диабаз происходит при температуре около 1150 °С с минимумом при 1190 °С, что согласуется с результатами многопозиционной термической обработки породы, описанной выше.

Наличие ряда термоэффектов на кривой ДСК в области температур 800–1100 °С связано со сложностью минерального состава породы и структурными превращениями различных минералов при нагревании [10], что требует проведения дополнительных исследований. Определение температуры плавления диабаз обуславливает правильность выбора режимов термической обработки при получении стекол, стеклокристаллических, керамических и пористых теплоизоляционных материалов.

Стекла, стеклокристаллические материалы (петроситаллы), каменное литье. Составы экспериментальных сырьевых композиций для стекол, стеклокристаллических материалов и каменного литья приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Составы экспериментальных сырьевых композиций

Table. 1. The compositions of the experimental raw compositions

Номер состава	Компоненты сырьевых композиций, мас. ч				
	индекс	диабаз	мел	кальцинированная сода	Cr ₂ O ₃
1	Д	100	–		–
2	Д1	100	–	6,0	–
3	ДХ	100	–		1,0
5	ДС	90	9,73	9,6	1,0

Вязкость расплавов горных пород является определяющим свойством, позволяющим судить об их пригодности для получения качественных стекол и минеральных волокон. Технологические характеристики и рассчитанные значения вязкости расплава стекла «Д» при различных температурах, в частности при 1250, 1300 и 1350 °С, равные 58,95; 28,07 и 9,86 Па·с соответственно [11], свидетельствуют о возможности использования диабазового стекла для вышеуказанных целей.

Технологические характеристики стекол оценивали по способности отливаться, формоваться и вытягиваться в однородные без непровара и узелков нити. Характерно, что цвет стекол в массе черный, в тонком сколе темно-коричнево-зеленоватый, что обусловлено присутствием значительного количества оксидов железа, а в стекле для стеклокристаллического материала – присутствием оксида хрома. Наиболее перспективным по технологическим характеристикам является стекло состава «Д», а для получения стеклокристаллического материала и каменного литья – стекло «ДС» (табл. 1). Стекло «Д» по предварительным данным может являться основой для получения непрерывных и штапельных минеральных волокон и может быть рекомендовано для апробации на соответствующих предприятиях, выпускающих эту продукцию. Стекло «Д1» (табл. 1) может использоваться в качестве марблита, который представляет непрозрачное однотонное черное стекло с огненно-полированной лицевой поверхностью. В промышленных условиях его изготавливают методом непрерывного проката и применяют в качестве строительного архитектурно-художественного, для облицовки фасадов зданий, внутренней отделки помещений и др. Оно может также использоваться для изготовления декоративных изделий (ваз, пепельниц, блюд, канцелярских наборов и др.).

Для получения пироксеновых петроситаллов и каменного литья с заданным фазовым составом, высокими показателями износостойкости и химической устойчивости стимулированная кристаллизация обеспечивается оксидом хрома (Cr₂O₃), известного своей эффективностью для получения пироксеновых ситаллов, шлакоситаллов и каменного литья [12, 13].

По химическому составу и определению кристаллохимического параметра $R = O/Si$, значения которого для цепочечных минералов находятся в пределах 2,8–3,4, стекла способны при

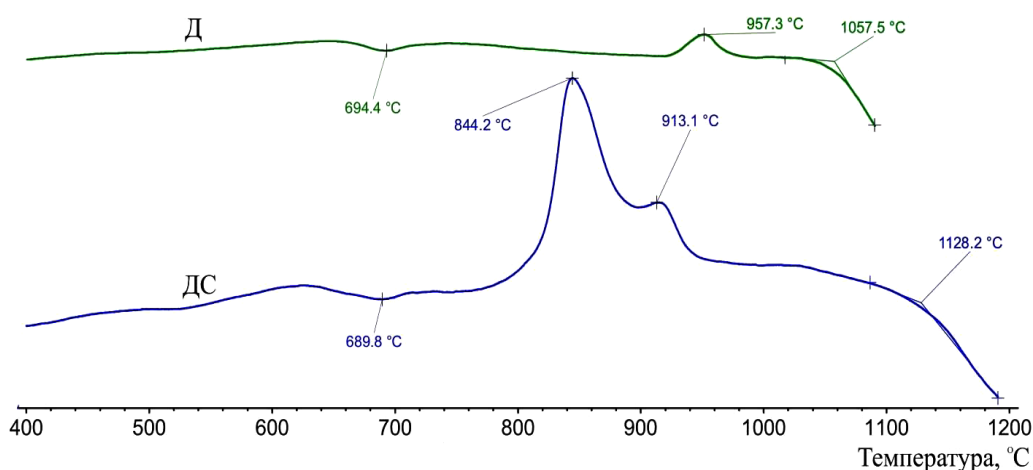


Рис. 2. Кривые ДСК экспериментальных стекол «Д» и «ДС»

Fig. 2. DSC curves of experimental glasses «D» and «DS»

создании определенных условий термической обработки кристаллизоваться с образованием пироксенов и пироксеноидов, у которых тип кремнекислородного радикала представлен дискретными сдвоенными тетраэдрами $[\text{Si}_2\text{O}_8]$ и непрерывными $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ в одном направлении [14].

Для конкретизации температурно-временных параметров термической обработки и оценки физико-химических процессов нами проведена дифференциально-сканирующая калориметрия стекол «Д» и «ДС» (табл. 1), кривые которых приведены на рис. 2. Полученная методом ДСК информация позволила определить температурные интервалы термической обработки стекла, обеспечивающие объемную кристаллизацию образцов при получении стеклокристаллических материалов. Так, на кривой стекла «Д» (рис. 2) не отмечено процессов, связанных с кристаллизацией. Эндозффекты соответствуют только изменению пиропластического состояния стекла, в частности размягчению (685–695 °C) и началу плавления (1050–1130 °C). Поэтому оно может представлять практический интерес только для получения стекол и минеральных волокон.

Напротив, стекло «ДС» активно кристаллизуется в интервале 800–900 °C с максимумом экзотермического эффекта при 850 °C, соответствующим формированию пироксенового твердого раствора и может служить основой для получения петроситаллов и каменного литья.

При получении петроситалла из исследуемых образцов объемно кристаллизуется стекло «ДС» (далее «ДС-С»), формируя ситалловую однородную, мелкокристаллическую структуру с минимальным количеством стекловидной фазы, оцениваемым матовостью скола темно-серого цвета с зеленым оттенком. При получении каменного литья из исследуемых отформованных образцов объемно кристаллизуется также только стекло «ДС» (далее «ДС-КЛ»), образуя плотную камнеподобную структуру с матовым сколом темно-болотного цвета и золотистым блеском на поверхности.

Структура образцов, полученных как по ситалловой, так и по камнелитейной технологии, приведенная на рис. 3, свидетельствует о достаточно полной кристаллизации и по сферолито-подобному характеру идентична детально изученной структуре стеклокристаллических пироксеновых ситаллов [12, 13].

Фазовый состав образцов подтвердил справедливость проектирования составов стеклокристаллических материалов по определенным критериям [12, 13], обеспечивающим формирование пироксеновых фаз и их твердых растворов на основе авгита $(\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6)$, стимулированных образующимися на первом этапе хромшпинелидами $(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$, кристаллы которых располагаются в центре сферолито-подобных кристаллических образований (рис. 3) при получении как петроситалла, так и каменного литья на основе состава стекла «ДС». Основные технологические характеристики и физико-химические свойства полученных материалов приведены в табл. 2.

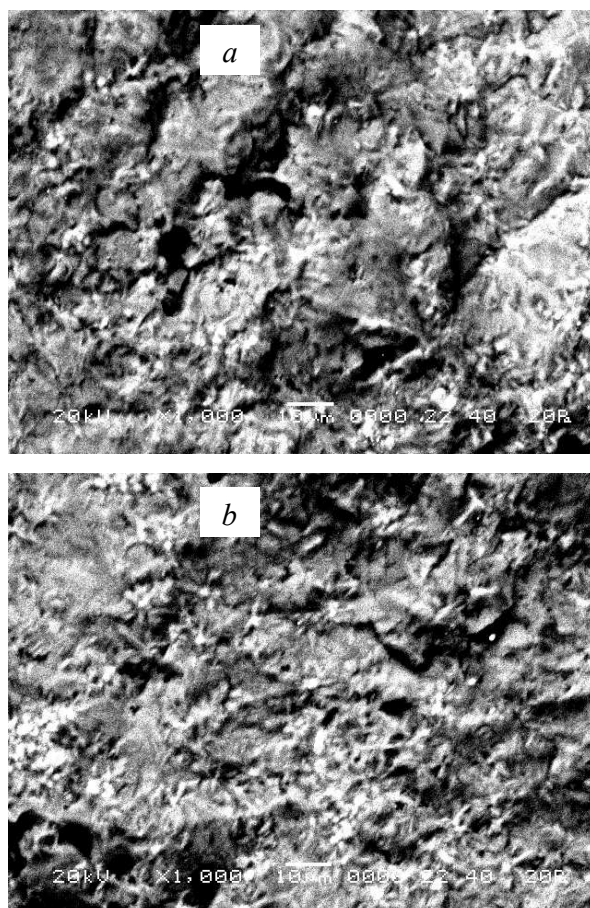


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение поверхности скола образцов петроситалла «ДС-С» (a) и каменного литья «ДС-КЛ» (b)

Fig. 3. Electron-microscopic image of the cleaved surface of glass-ceramics sample “DS-S” (a) and stone casting sample «DS-CL» (b)

Таблица 2. Технологические параметры получения, характеристики и свойства стекла «Д» и стекла «ДС» для петроситалла и каменного литья

Table. 2. Technological characteristics and properties of glass “D” and glass “DS” for production of petrosital and stone casting

Технологические характеристики и свойства	Индекс составов экспериментальных стекол	
	Д	ДС
Технологические параметры:		
температура варки, °С	1420–1430	1420–1430
температура выработки, °С	1210–1230	1210–1230
склонность к кристаллизации	Отсутствует	Интенсивная
выработочная вязкость	Удовлетворительная	Удовлетворительная
температура отжига, °С	580–610	580–610
продолжительность, мин	45–60	45–60
интервал размягчения, °С	660–690	700–720
Условия ситаллизации стекла:		Кристаллизуется
температура обработки, °С	Не кристаллизуется	840±10
скорость подъема температуры, °С/ч		250
Свойства:		
плотность, кг/м ³	2,6–2,7	3,0–3,2
микротвердость, МПа	6800	7500–7600
износостойкость, г/см ²	Не определено	0,01–0,02
кислотостойкость, %	67,5	99,3–99,8
щелочестойкость, %	95,3	96,2–97,0

Таким образом, выявлена зависимость свойств, структуры стеклокристаллических материалов и вида формируемых кристаллических фаз от химического и минерального состава диабазовой породы и сырьевых композиций (табл. 1).

Пористые теплоизоляционные и керамические материалы. При получении пористого теплоизоляционного материала сырьевые композиции были представлены системой компонентов «диабаз–глина–карбид кремния–карбоксилметилцеллюлоза–вода». Вышеуказанная система является вполне доступной, не содержит дефицитных компонентов, а с учетом использования в качестве основы некондиционных отходов дробления при добыче пород можно сделать вывод о ее экономической и экологической целесообразности.

При приготовлении массы для обеспечения порообразования в сырьевую композицию вводили карбид кремния (SiC) в количестве 0,5; 1,0 и 1,5 мас.%. Выбор карбида кремния в качестве порообразующего компонента обусловлен тем, что при высоких температурах (1000–1200 °С) в парогазовой фазе происходит разложение карбида с образованием газообразного продукта, способствующего увеличению удельного объема пор в структуре теплоизоляционного материала. Экспериментально установлено, что содержание карбида кремния (массовая доля 0,5 %) обеспечивает необходимые характеристики (объемная и насыпная плотность, коэффициент вспучивания, водопоглощение) исследуемых образцов. Анализ зависимости указанных свойств от температуры обжига позволил подтвердить, что выбранный интервал температур (1190–1210 °С) является наиболее оптимальным для получения материала с требуемыми свойствами. При более низкой температуре обжига гранулы недостаточно вспучивались, а при более высокой наблюдалось резкое увеличение размеров пор и снижение их прочности. Кроме этого, поверхность гранул и пор сильно остекловывалась из-за увеличения количества жидкой фазы, что приводило к резкому уменьшению водопоглощения. Основные свойства разработанного пористого заполнителя на основе диабаза приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Свойства пористого заполнителя востребованных фракций

T a b l e. 3. Properties of the porous aggregate of the relevant fractions

Свойства	Фракция 4–10 мм	Фракция 14–16 мм
Объемная масса, кг/м ³	450–470	400–450
Насыпная масса, кг/м ³	250–260	180–200
Теплопроводность, Вт/м·К	0,08–0,09	0,110–0,112
Механическая прочность при сжатии, МПа	2,5–2,6	2,1–2,2
Водопоглощение, %	14,6–15,5	14,6–15,5
Коэффициент вспучивания	2,8–3,0	2,9–3,1
Температура обжига, °С	1210±5	1210±5

Разработанный пористый материал может использоваться многофункционально, а именно в качестве заполнителя легких бетонов, изготовления блоков «Термокомфорт», а также самостоятельного засыпного материала для теплоизоляции стен, потолков в гражданском строительстве.

В соответствии с поставленной целью проводилась разработка составов масс для изготовления керамического кирпича на основе глины месторождения «Гайдуковка», которая является основным сырьевым компонентом на ОАО «Радошковичский керамический завод» и ОАО «Керамин», выпускающими полнотелый и пустотелый керамический кирпич. Изучена возможность замены кварцевого песка и гранитоидных отсеков, используемых в качестве отощающих добавок, на диабаз, который по своему химическому составу может использоваться в керамических массах и придавать изделиям равномерную объемную окраску. Содержание диабаза варьировали от 10 до 25 % с шагом 5 %. В качестве базового нами использован двухкомпонентный состав сырьевой композиции, мас.%: глина Гайдуковка – 78, гранитоидные отсеки – 22.

В результате проведенных исследований в диапазоне температуры обжига 980–1050 °С получены керамические материалы удовлетворительного качества, характеризующиеся достаточно плотной структурой без признаков пережога, деформации и образования черной сердцевинки. Независимо от содержания диабаза они характеризовались практически одинаковой цветовой гаммой бежевых тонов. Увеличение максимальной температуры обжига до 1050 °С способствует усилению интенсивности окраски керамического кирпича, что обусловлено проявлением красящего действия оксида железа (Fe_2O_3), содержащегося в достаточном количестве как в глине, так и в диабазе, а также его активным переходом в расплав.

Физико-химические свойства экспериментальных образцов показали, что в температурном интервале обжига 980–1050 °С их уровень вне зависимости от содержания диабаза (10–25 %) находится в пределах среднестатистической погрешности. Так, общая линейная усадка составляет 4,7–5,7 %; водопоглощение – 14,9–15,1 %; механическая прочность при изгибе – 11,3–12,3 МПа; морозостойкость – 45–50 циклов. Согласно данным рентгенофазового анализа, основными кристаллическими фазами в образцах керамического кирпича являются α -кварц (α - SiO_2), анортит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) и гематит (α - Fe_2O_3). На основании экспериментальных исследований можно рекомендовать содержание диабаза в массах в количестве 20–25 %, что позволит использовать значительное количество отходов при разработке месторождения.

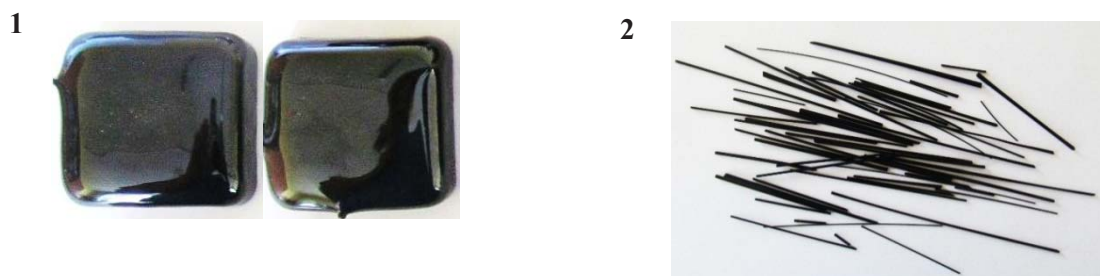
При изготовлении плиток для настила полов и внутренней облицовки стен с заданными показателями физико-химических свойств, с повышенной долей использования отечественного природного минерального сырья основными критериальными свойствами для оценки пригодности керамических плиток и соответствия требованиям нормативно-технической документации являются водопоглощение и плотность. В качестве базовых для изучения влияния диабаза были использованы традиционные сырьевые композиции керамических плиток для полов и внутренней облицовки стен, содержащие, мас. %: глина ДНПК – 34, каолин мокрого обогащения – 22, кварцевый песок – 7, кварц-полевошпатная смесь – 34, полевошпат – 3 и глина ДНПК – 34, кварцевый песок – 8, доломит – 14, гранотсевы – 30 соответственно. Исходя из экспериментальных данных определения показателей свойств (табл. 4), можно рекомендовать для получения плиток для настила полов составы с содержанием диабазовой породы 8–11 мас. %, для внутренней облицовки стен – 11–13 мас. %.

Таблица 4. Показатели свойств образцов керамических плиток

Table 4. Indicators of the properties of ceramic tile samples

Свойства	Для настила полов (температура обжига 1200±10 °С)						
	Содержание диабаза, мас. %						
	–	2	4	6	9	11	13
Водопоглощение, %	0,5	0,53	0,52	0,53	0,38	0,33	0,37
Плотность, г/см ³	2,37	2,38	2,37	2,39	2,40	2,40	2,41
Свойства	Для внутренней облицовки стен (температура обжига 1100±10 °С)						
	Содержание диабаза, мас. %						
	–	3	6	9	11	13	
Водопоглощение, %	23,83	22,70	22,45	22,05	21,81	21,67	
Плотность, г/см ³	1,67	1,70	1,70	1,72	1,70	1,72	

Таким образом, экспериментально-технологические исследования по использованию диабазовой породы подтвердили возможность получения стекол, износостойких стеклокристаллических материалов (петроситаллов), каменного литья, а также керамических – теплоизоляционных пористых, кирпича, плиток для внутренней облицовки стен и настила полов. При этом сырьевые композиции могут приготавливаться как на основе диабазов, так и с долевым использованием их в составе сырьевых композиций. Опытные образцы разработанных материалов показаны на рис. 4.



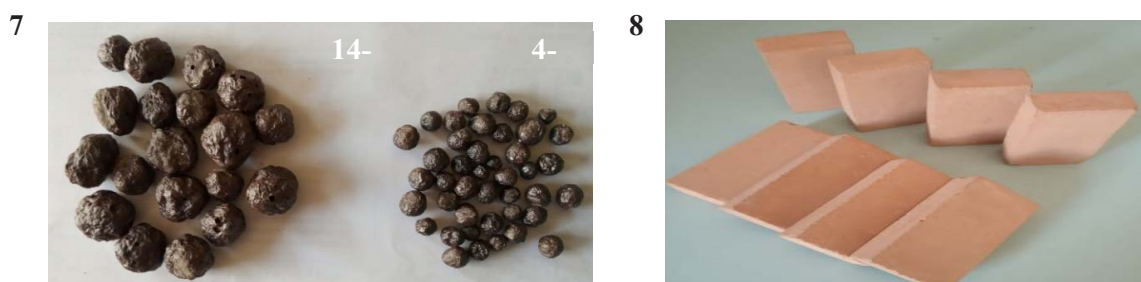
Образцы стекла Д, полученные отшливкой (1) и вытягиванием из расплава (2)



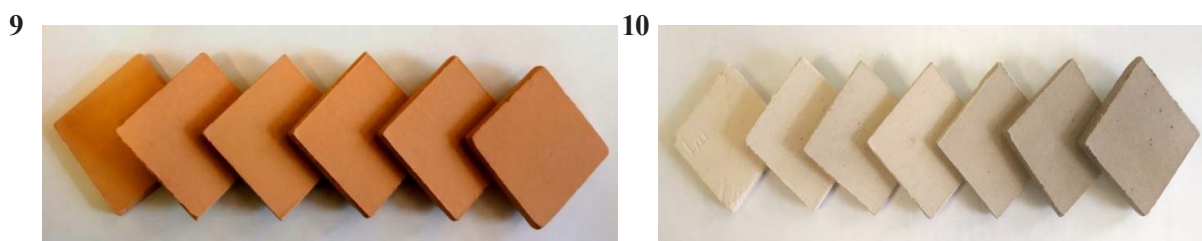
Образцы стекла Д1, синтезированного на основе диабаза с добавкой кальцинированной соды (3) и образцы стекла ДХ, полученного на основе диабаза с добавкой стимулятора кристаллизации – Cr_2O_3 (4)



Образцы петроситалла ДС-С (5) и каменного литья ДС-КЛ (6) из стекла системы диабаз–кальцинированная сода–мел– Cr_2O_3



Образцы керамического пористого заполнителя фракций 14–16 и 4–10 мм на основе диабаза (7) и диабазосодержащего керамического кирпича оптимального состава (8)



Образцы керамических плиток для внутренней облицовки стен (9) и для настила полов (10) с использованием диабаза

Рис. 4. Опытные образцы разработанных материалов
Fig. 4. Experimental samples of developed materials

Заклученне. На аснове вывучэння аграгатнага становяння дыябазовай пароды ў працэсе награвання ў інтэрвале 300–1300 °С вызначаны тэмпературы фазовых пераўтварэнняў аксіда жалеза, утварэння жідкай стеклавіднай фазы і спекання, інтэрвала размякчэння, плаўлення пароды і расплаваўтварэння. Разработаныя рэцэптуры сыравых кампазіцый сілікатных матэрыялаў, вызначаныя тэхналагічныя параметры, усталяваны механізм структуро- і фазоўтварэння пры тэрмічнай апрацоўцы стэкол і керамічных масаў могуць быць выкарыстаны ў якасці тэарэтычных асноваў накіраванага працэсу атрымання матэрыялаў.

Усталявана, што максімальныя паказателі хімічнай устойлівасці, шчыльнасці і зносаўстойлівасці стеклокрысталічных матэрыялаў і каменнага літця забяспечваюцца фарміраваннем піроксенавых фаз ў працэсе тэрмічнай апрацоўкі, што непасрэдна залежыць ад хіміка-мінеральнага складу пачатковага дыябазу і сыравых кампазіцый. Эксперыментальна падтверджана магчымасць і цэласообразнасць выкарыстання дыябазавых парод крысталічнага фундаменту юга Беларусі, якія па геалагічна-структурнай пазіцыі, хімічнаму, мінеральнаму складу і тэхналагічным характэрыстыкам з'яўляюцца прыемным адчуждзеным сыравым аб'ектам для многачалевага выкарыстання пры атрымання сілікатных матэрыялаў. Вызначаны асновныя кіраванні магчымага практычнага прымянення дыябазавых парод індывідуальна, так і ў комплексе з іншымі сыравымі кампанентамі. Вынікі даследавання могуць служыць асновай для маштабнага выкарыстання імпартозамешчальнага сыравя – дыябазавых парод у будавальнай, хімічнай, стэкольнай, керамічнай і іншых галінах прамысловасці.

Спісок выкарыстаных крыніц

1. Гудак, С. П. Пазельныя іскопаемыя Беларусі / С. П. Гудак, А. М. Сінічкіна, П. З. Хоміч. – Мінск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.
2. Сулейманов, С. С. Стекля і стеклокрысталічныя матэрыялы з горных парод Казахстана / С. С. Сулейманов. – Алма-Ата, 1969. – С. 142–156.
3. Павлушкін, Н. М. Асновы тэхналогіі сіталлаў / Н. М. Павлушкін. – М.: Стройиздат, 1970. – С. 246–255.
4. Эксперыментальная і тэхнічная петралогія / Е. Н. Граменіцкіі [і др.]. – М.: Научный мир, 2000. – С. 111–144.
5. Даследаванне магчымасці выкарыстання дысперсных адходаў перапрацоўкі гранітных горных парод для вытворчасці мінеральнай ваты / А. В. Бортніков [і др.] // *Обогащенье руд.* – 2014. – № 6. – С. 33–37.
6. Дыябаз [Электронны рэсурс] // *Горная энциклопедия.* – Рэжым доступа: <http://www.mining-enc.ru/d/diabaz>. – Дата доступа: 08.08.2018 г.
7. Fine Sell [Электронны рэсурс]. – Рэжым доступа: <http://finesell.ru/prirodniye-kamni/diabaz.html/>. – Дата доступа: 08.08.2018 г.
8. Крытэрыі рэсурсаўберажэння і імпартозамешчэння пры атрымання керамічнага граніта / С. Е. Баранцева [і др.] // *Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.* – Мінск, 2014. – С. 24–27.
9. Позняк, А. І. Базальтавыя і гранітаідныя пароды як кампаненты керамічных масаў для пліткаў унутранняй абличовкі стэн / А. І. Позняк, І. А. Левіцкіі, С. Е. Баранцева // *Стекло и керамика.* – 2012. – № 8. – С. 17–22.
10. Прымяненне дыферэнцыяльнай сканіруючай калорыметрыі для ацэнкі мінеральнага сыравя Пермскага края ў вытворчасці сварочных матэрыялаў / А. М. Ігнатова [і др.] // *Вестн. Перм. нац. исследов. политех. ун-та. Машиностроение, материаловедение.* – 2011. – Т. 13. – № 4. – С. 107–116.
11. Татарінцева, О. С. Прогнозаванне вязкасці расплаваў па хімічнаму складу горных парод / О. С. Татарінцева // *Ползуновский вестник.* – 2008. – № 3. – С. 220–223.
12. Баранцева, С. Е. Сінтэз і даследаванне піроксеновага шлакосіталла на аснове доменнага шлака : аўтореф. дис. ... канд. тэхн. навук : 05–350 / С. Е. Баранцева. – Мінск, 1972. – 36 с.
13. Жуніна, Л. А. Піроксенавыя сіталлы / Л. А. Жуніна, М. І. Кузьменков, В. Н. Яглов. – Мінск: БГУ, 1974. – 464 с.
14. Аппен, А. А. Хімія стэкла / А. А. Аппен. – Л.: Хімія, 1970. – С. 62–73.

References

1. Gudak S. P., Sinichkina A. M., Khomich P. Z. *Mineral resources of Belarus.* Minsk, Adukacyya i vyhavanne Publ., 2002. 528 p. (in Russian).
2. Suleymenov S. S. *Glass and glass crystalline materials from rocks of Kazakhstan.* Alma-Ata, 1969, pp. 142–156 (in Russian).
3. Pavlushkin N. M. *The basics of sital technology.* Moscow, Stroizdat Publ., 1970, pp. 246–255 (in Russian).
4. Batanova A. M., Gramenitskii E. N., Kotel'nikov A. R., Plechov P. Yu., Shchekina T. I. *Experimental and technical petrology.* Moscow, Nauchnyi Mir Publ., 2000. 415 p. (in Russian).

5. Bortnikov A. V. Study of the possibility of using dispersed waste of granite rock processing for the production of mineral wool. *Obogashchenie Rud*, 2014, no. 6, pp. 33–37 (in Russian).
6. Diabase. *Mountain Encyclopedia*. Available at: <http://www.mining-enc.ru/d/diabaz> (accessed 08 August 2018) (in Russian).
7. *Fine Sell*. Available at: <http://finesell.ru/prirodniye-kamni/diabaz> (accessed 08 August 2018) (in Russian).
8. Barantseva S. E., Poznyak A. I., Zhuk N. V., Yashchuk E. V. Criteria for resource saving and import substitution in the production of ceramic granite. *Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie, ekologicheski bezopasnye tekhnologii: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Proceedings of the international scientific and technical conference “Resource and energy saving technologies and equipment, environmentally friendly technologies”]. Minsk, 2014, pp. 24–27 (in Russian).
9. Paznyak A. I., Levitskii I. A., Barantseva S. E. Basalt and granitoid rocks as components of ceramic masses for tiles of interior wall facing. *Glass and Ceramics*, 2012, vol. 69, no. 7–8, pp. 262–266. <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9458-5>
10. Ignatova A. M., Ignatov M. N., Naumov S. V. The use of differential scanning calorimetry for the evaluation of mineral raw materials of the Perm region in the production of welding materials. *Vestnik Permskogo Natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie = Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanical engineering, materials science*, 2011, vol. 13, no. 4, pp. 107–116 (in Russian).
11. Tatarintseva O. S. Prediction of melt viscosity according to the chemical composition of rocks. *Polzunovskiy Vestnik*, 2008, no. 3, pp. 220–223 (in Russian).
12. Barantseva S. E. *Synthesis and study of pyroxene slag glass-ceramics based on blast furnace slag*. Minsk, 1972. 36 p. (in Russian).
13. Zhunina L. A., Kuz'menkov M. I., Yaglov V. N. *Pyroxene sitalls*. Minsk, Belarusian State University, 1974. 464 p. (in Russian).
14. *Appen A. A. The Chemistry of Glass*. Leningrad, Khimiya Publ., 1970, pp. 62–73. (in Russian).

Информация об авторах

Баранцева Светлана Евгеньевна – канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: svetbar@tut.by

Климош Юрий Александрович – канд. техн. наук, доцент, декан факультета. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: klim-aspir@mail.ru

Гундилович Николай Николаевич – ассистент кафедры стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kolgund@mail.ru

Позняк Анна Ивановна – канд. техн. наук, науч. сотрудник. Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС» (Ленинский проспект, 4, 119049, Москва, Российская Федерация). E-mail: poznyak.a87@gmail.com

Толкачикова Алла Александровна – канд. геол.-минерал. наук, начальник отдела. Научно-практический центр по геологии (ул. Купревича, 7, 220141, Минск Республика Беларусь). E-mail: tolk@geology.org.by

Таран Людмила Николаевна – д-р геол.-минерал. наук, начальник отдела. Научно-практический центр по геологии (ул. Купревича, 7, 220141, Минск Республика Беларусь). E-mail: taran@geology.org.by

Information about the authors

Svetlana E. Barantseva – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svetbar@tut.by

Yuri A. Klimosh – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Dean of the Faculty. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klim-aspir@mail.ru

Nikolay N. Gundilovich – Assistant of the Department of Glass and Ceramics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kolgund@mail.ru

Anna I. Pazniak – Ph. D. (Engineering), Researcher. National University of Science and Technology “MISiS” (4, Leninsky Ave., 119049, Moscow, Russian Federation). E-mail: poznyak.a87@gmail.com

Alla A. Tolkachikova – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Head of the Department, State Enterprise “SPC for geology” (7, Kuprevich, Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tolk@geology.org.by

Lyudmila N. Taran – D. Sc. (Geology and Mineralogy), Head of the Department, State Enterprise “SPC geology”, (7, Kuprevich, Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: taran@geology.org.by