



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-1-104-109>
УДК 666.7+666.76:621.762.4

Поступила 22.12.2025
Received 22.12.2025

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Р. Ю. ПОПОВ, Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: panteleenkofi@bntu.by

А. Н. ШИМАНСКАЯ, Е. О. БОГДАН, А. С. САМСОНОВА, Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а

И. Р. ГУЛА, ООО «Техкерамика», г.п. Лоев, Гомельская обл., Беларусь, ул. Батова, 59

Приведены результаты исследований керамических материалов, полученных из композиций, включающих отечественное глинистое сырье на основе систем $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$, $CaO - SiO_2$, $Al_2O_3 - SiO_2$ для машиностроительной, металлургической, станкостроительной и других отраслей, связанных с обработкой металлов и их сплавов; представлены сведения, подтверждающие перспективность применения отечественного сырья для производства керамики технического назначения.

Ключевые слова. *Машиностроительная отрасль, керамические изделия, кордиерит, волластонит, муллит, сырьевые материалы, свойства, синтез керамики, физико-технические характеристики, производство.*

Для цитирования. *Попов, Р. Ю. Организация производства технической керамики для машиностроительной отрасли и перспективы использования сырьевой базы Республики Беларусь / Р. Ю. Попов, Ф. И. Пантелеенко, А. Н. Шиманская, Е. О. Богдан, А. С. Самсонова, И. Р. Гула // Литье и металлургия. 2026. № 1. С. 104–109. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-1-104-109>.*

ORGANIZATION OF TECHNICAL CERAMICS PRODUCTION FOR THE MACHINE-BUILDING INDUSTRY AND PROSPECTS FOR THE USE OF THE RAW MATERIAL BASE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

R. Ju. POPOV, Educational Institution “Belarusian State Technological University”, Minsk, Belarus, 13A, Sverdlova str.

F. I. PANTELEENKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: panteleenkofi@bntu.by

A. N. SHIMANSKAYA, E. O. BOGDAN, A. S. SAMSONOVA, Educational Institution “Belarusian State Technological University”, Minsk, Belarus, 13A, Sverdlova str.

I. R. GULA, LLC “Tekhkeramika”, Loyev, Gomel region, Belarus, 59, Batova str.

The article presents the results of studies on ceramic materials obtained from compositions including domestic clay raw materials, based on the systems $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$; $CaO - SiO_2$; $Al_2O_3 - SiO_2$ for the mechanical engineering, metallurgical, machine tool, and other industries related to the processing of metals and their alloys; it provides information confirming the prospects of using domestic raw materials for the production of technical ceramics.

Keywords. *Mechanical engineering industry, ceramic products, cordierite, wollastonite, mullite, raw materials, properties, ceramic synthesis, physical and technical characteristics, production.*

For citation. *Popov R. Ju., Panteleenko F. I., Shimanskaya A. N., Bogdan E. O., Samsonova A. S., Gula I. R. Organization of technical ceramics production for the machine-building industry and prospects for the use of the raw material base of the Republic of Belarus. Foundry production and metallurgy, 2026, no. 1, pp. 104–109. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-1-104-109>*

Республика Беларусь располагает значительными запасами глинистого сырья, залегающими практически на всей территории страны. Количество месторождений более 220. Среди многообразия глинистых

материалов основной объем составляют легкоплавкие глины. Тугоплавкое и огнеупорное глинистое сырье сосредоточено в некоторых регионах Беларуси, в частности, в Гомельской и Брестской областях, на территориях, близких к Украине. Также в республике имеются месторождения мела (более семи в Могилевской и Гродненской областях) и шесть месторождений трепела (в настоящей работе применяли трепел месторождения «Стальное», залегающий в Могилевской области) [1,3].

Эти сырьевые материалы могут представлять практический интерес для организации производства некоторых видов технической керамики – кордиеритовой, алюмосиликатной, а также волластонитовой, которые имеют широкое применение в машиностроительной отрасли, производстве станков, технологического оборудования, тепловых агрегатов и т.д. [4–15].

Кордиеритсодержащая керамика сложена преимущественно кордиеритом (иногда и его модификационной разновидностью – индиалитом, а также сопутствующими фазами – муллитом, шпинелью, энстатитом, корундом и др.), имеет формулу $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$, его теоретический состав представлен следующими компонентами: оксид магния (MgO) – 13,7 мас. %; оксид алюминия (Al_2O_3) – 34,9 мас. %; диоксид кремния (SiO_2) – 51,4 мас. % [6–15].

Технический интерес к кордиериту объясняется малым значением ТКЛР, а также линейным характером термического расширения. Материалы на основе кордиерита характеризуются высокой термостойкостью при нестационарных условиях (проявляют свои свойства в процессе резких перепадов температур) [6–15]. В природе существует также железистый кордиерит, формула которого $2\text{FeO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$.

Волластонитовая керамика обладает комплексом ценных физико-технических характеристик, которые нашли применение в металлургии при получении цветных металлов – устойчивость к воздействию расплавов, достаточная термостойкость и теплоемкость. Теоретический состав волластонита представлен следующими компонентами: оксид кальция (CaO) – 48,3 мас. %; диоксид кремния (SiO_2) – 51,7 мас. %; в некоторых случаях в его структуру может входить до 9 % оксида железа (II).

Муллит – минерал из класса силикатов, химический состав его весьма непостоянен: от $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ до Al_4SiO_8 (от $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ до $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). Соотношение основных оксидов в нем находится в пределах от 72 % Al_2O_3 и 23 % SiO_2 до 75 % Al_2O_3 и 25 % SiO_2 [4].

В настоящей работе в качестве основных сырьевых материалов для получения технической керамики применяли природные и синтетические вещества, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав сырьевых материалов

Материал	Оксидный состав, мас. %													Ппп
	SiO_2	Al_2O_3	$\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	ZrO_2	BaO	WO_3	
Каолин месторождения «Ситница» (природный)	67,54–72,31	15,88–19,04	1,95–3,17	0,10–0,43	0,34–1,30	2,82–4,64	0,25–0,33	–	0,49–0,60	–	–	–	–	4,34–4,64
Глина месторождения «Туровское»	63,60–74,39	12,13–19,92	2,61–5,60	0,40–0,73	0,26–2,30	0,52–0,60	0,18–0,30	–	0,67–0,90	0,08	–	–	–	7,50–8,04
Глина месторождения «Крупейский сад»	62,69–83,23	8,53–24,37	2,19–8,73	0,25–1,03	0,30–0,87	0,17–0,87	0,04–0,09	–	0,82–1,19	–	–	–	–	3,24–10,11
Глина месторождения «Глинка»	71,08–76,64	14,67–20,06	3,89–5,27	0,24–0,47	0,45–1,39	0,135–0,225	0,135–0,225	–	0,52–0,86	–	–	–	–	1,79–2,74
Глина месторождения «Городное»	62,80–75,56	14,71–21,35	2,52–6,94	0,37–1,05	0,39–1,79	0,27–1,23	0,00–1,69	–	0,56–0,99	0,00–0,03	0,00–0,03	0,00–0,03	–	3,58–6,83
Глина месторождения «Столинские хутора»	69,74–82,24	10,02–17,02	1,83–8,72	0,37–0,86	0,00–1,75	0,27–0,93	0,01–2,13	0,00–0,01	0,53–0,86	0,00–0,02	0,00–0,04	0,00–0,02	–	3,28–4,92
Глина месторождения «Журавлево»	69,71–84,43	8,68–15,01	1,09–6,71	0,26–0,60	0,43–0,70	0,23–0,68	0,07–0,13	–	0,72–0,98	–	–	–	–	3,64–7,60
Тальк Оновский	60,45	0,68	0,86	0,13	30,04	–	–	0,10	0,06	–	–	–	–	7,68
Технический глинозем	0,13	99,32	0,03	0,03	–	–	0,26	–	–	–	–	–	0,02	0,21
Глина месторождения «Боровичское»	53,46	32,00	0,75	1,10	0,40	0,49	2,10	–	1,10	–	–	–	–	8,60
Мел месторождения «Красносельский»	2,30	0,38	0,44	53,62	0,56	–	–	–	–	–	–	–	–	42,70
Трепел месторождения «Стальное»	55,0	5,90	14,11	14,11	0,82	1,30	0,12	–	0,16	–	–	–	–	20,86

Как видно из таблицы, белорусские глины характеризуются высоким содержанием кварцевой составляющей, в них присутствуют железистые примеси. Отмечается, что количество наиболее важного компонента в составе глин (Al_2O_3) находится в пределах 8,5–24,4%. Оценивая минеральный состав отечественных глинистых материалов, используемых в настоящей работе (табл. 2), можно отметить присутствие в нем монтмориллонита – глинистого минерала, существенным образом усложняющего технологические операции (сушку и обжиг изделий). Заслуживает внимание тот факт, что в некоторых пробах глин (особенно это отмечается для месторождений «Крупейский сад» и «Журавлево») в значительном количестве присутствуют пылевидные фракции кварца, что в большинстве случаев оказывает негативное влияние на формовочные качества масс, а также при термообработке полуфабриката на основе таких композиций. В то же время использование таких глинистых материалов в качестве пластифицирующего компонента при получении волластонитовых материалов возможно и целесообразно, поскольку массы для ее изготовления являются тощими, практически непластичными (что решается присутствием монтмориллонита в сырье), при этом аморфные пылевидные фракции кварца, находящиеся в глине, способны связывать в полезные соединения непрореагировавшую часть оксида кальция, в избытке присутствующего в составах. Аморфный кремнезем является весьма реакционно-способным, образуя с оксидом кальция волластонит. Важно отметить, что наличие непрореагировавшего свободного оксида кальция может приводить к разрушению керамики, ввиду того что данный оксид активно начинает адсорбировать пары воды из окружающей среды, гидратироваться при данном процессе, изменяя свой объем (приблизительно от 10 до 70%), и оказывая существенное локальное механическое и химическое воздействие на прилегающие к нему участки материала. Указанные глины способны предотвратить такое явление (рис. 1).

Таблица 2. Характеристика отечественного глинистого сырья

Материал	Минеральный состав		Характеристика глин
	пластичные минералы	примесные минералы	
Каолин месторождения «Ситница»	Каолинит, могут присутствовать примеси гидрослюда (иллита) и монтмориллонита	Кварц, полевые шпаты, железистые соединения (оксиды, гидроксиды, сульфиды)	От тугоплавкого до огнеупорного сырья (в зависимости от содержания кварцполевошпатового компонента), полукислая
Глина месторождения «Туровское»	Гидрослюда (иллит), монтмориллонит, каолинит	Кварц, полевые шпаты, карбонатные примеси (мергель, доломит, известняк, мел), железистые соединения (оксиды, гидроксиды, сульфиды)	Тугоплавкое сырье, от кислой до полукислей, умеренно-, средне- и высокопластичная
Глина месторождения «Городное»	Гидрослюда (иллит), монтмориллонит, каолинит	Кварц, полевые шпаты, карбонатные примеси (мергель, доломит, известняк, мел), железистые соединения, анатаз	Тугоплавкое сырье, полукислая, средне- и высокопластичная
Глина месторождения «Столинские хутора»	Гидрослюда (иллит), монтмориллонит, каолинит	Кварц, полевые шпаты, карбонатные примеси (сидерит, известняк, мел), железистые соединения, анатаз	Тугоплавкое сырье, от кислой до полукислей, высокопластичная
Глина «Крупейский сад» (нижний слой)	Монтмориллонит, гидрослюда (иллит), каолинит монотермит	Пески полиминеральные (кварцевая и полевошпатовая составляющая), карбонатные примеси (мергель, доломит, известняк, мел), железосодержащие соединения	Тугоплавкое сырье, от кислой до полукислей, от грубо- до низкодисперсной, от мало- до высокопластичной
Глина месторождения «Глинка»	Гидрослюда (иллит), монтмориллонит, каолинит	Кварц, карбонаты, железосодержащие компоненты	Тугоплавкое грубодисперсное сырье, полукислая порода, средне- и высокопластичная
Глина месторождения «Журавлево»	Гидрослюда (иллит), монтмориллонит, каолинит, галлуазит	Кварцевый песок, смесь полевых шпатов, доломит, пирофиллит, железосодержащие соединения, возможно присутствие гипса, мусковита и пирита	Тугоплавкое сырье, грубодисперсное, средне- и высокопластичная, от кислой до полукислей

Отмечается, что белорусское глинистое сырье (табл. 1, 2) неоднородно по химическому, минеральному и гранулометрическому составу, однако общая черта, которая объединяет глины – большинство из



Рис. 1. Внешний вид волластонитовой керамики на основе высококачественной пластичной глины (1); глины месторождения «Крупейский сад» (2)

них можно отнести к тугоплавкому типу за исключением каолина, который при снижении кварцполевошпатовой составляющей является огнеупорным материалом. Огнеупорность первых находится в пределах 1350–1580 °С, последнего – не ниже 1580 °С.

Использование отечественных глинистых сырьевых материалов (кроме обогащенного каолина) в составах экспериментальных масс способно несколько снизить температуру эксплуатации керамических изделий на их основе (приблизительно на 50 °С по сравнению с зарубежными аналогами), однако, как показывает практика, большинство из них эксплуатируются при температурах, не превышающих 1250 °С (их количество достигает 70–75%).

Таким образом, даже такой недостаток позволяет обеспечить керамикой основную часть предприятий, нуждающихся в ней.

Составы масс проектировали таким образом, чтобы обеспечить стехиометрическое соотношение основных компонентов в каждом виде керамики (кордиеритовой и волластонитовой).

Для получения алюмосиликатных образцов использовали каолин, подвергавшийся предварительному мокрому обогащению на сите (табл. 3), из которого получали алюмосиликатный шамот при температуре обжига 1100 °С. В качестве глины-связки использовали глину месторождения «Боровичское» в количестве 20–60 мас. %.

Таблица 3. Химический состав обогащенного мокрым способом каолина

Материал	Оксидный состав, мас. %								П. п. п.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+ Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	
Каолин месторождения «Ситница» (обогащенный)	48,83–50,21	34,47–35,06	0,83–0,95	0,11–0,13	0,20–0,23	1,13–1,41	0,05	0,83–0,84	11,88–12,80

Образцы кордиеритовой и волластонитовой керамики получали по полусухой технологии. Предварительно подготовленные сырьевые материалы дозировали согласно рецептуре, засыпали в шаровую мельницу, куда добавляли воду. Помол и усреднение осуществляли в течение 20 мин. Затем керамическую массу сушили в электрической сушилке до постоянной массы, композицию перетирали в ступке до порошкообразного состояния, потом увлажняли водой до влажности 6–8%, протирали через сито № 1, вылеживали в течение 1 сут. После этого из керамической массы прессовали образцы (цилиндры диаметром 20–23 мм) и палочки размером 5×5×50 мм при давлении 35–45 МПа, сушили в электрическом сушильном шкафу СНОЛ при температуре 100–110 °С, обжигали в интервале температур 1200–1300 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч и скоростью подъема температуры 250–300 °С/ч. Волластонитовые материалы получали на основе композиций, включающих мел и трепел, кроме того, в состав керамических масс вводили глину месторождения «Крупейский сад» в количестве 10–20 мас. %.

Алюмосиликатные изделия получали путем сухого помола в шаровой мельнице. Изготовление образцов осуществляли аналогично описанной выше методике.

Результаты проведенных исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4. Характеристика полученных образцов

Свойство материала	Показатель свойств			
	кордиеритовая керамика ¹	кордиеритовая керамика ²	волластонитовая керамика ¹	алюмосиликатная керамика ²
Температура обжига, °С	1100–1300	1100–1300	1000–1150	1100–1300
Водопоглощение (ГОСТ 2409-2014), %	17,5–24,4	24,2–9,7	23,9–30,0	17,1–27,9
Кажущаяся плотность (ГОСТ 2409-2014), кг/м ³	1746–1888	1720–2034	1520–1660	1518–1753
Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$ в интервале 20–400 °С (ГОСТ 27180-2019), К ⁻¹	1,63–9,43	1,95–7,23	5,80–8,15	3,0–5,4
Предел прочности при сжатии, МПа (ГОСТ 4071.1-94), не менее	13,7–34,7	33,6–101,2	9,0–23,0	5,9–22,3
Температура эксплуатации, °С, не менее	1250–1300	1300–1350	1000–1100	Не ниже 1330–1400 °С
Фазовый состав при максимальной температуре обжига	Кордиерит; индиалит (высокотемпературная модификация кордиерита); муллит; энстатит; кристобалит; корунд	Кордиерит; индиалит; муллит; α -кварц, шпинель; энстатит; также присутствуют железистые примеси	Волластонит; тридимит; параволластонит; псевдоволластонит; α -кварц	Муллит; α -кварц; кристобалит

¹ Керамика получена с применением глины месторождения «Крупейский сад».

² Керамика получена с использованием обогащенного каолина месторождения «Ситница».

В результате исследований установлена принципиальная возможность применения отечественного глинистого сырья для получения технических керамических материалов, востребованных промышленностью, что позволяет решать вопросы импортозамещения, ресурсосбережения в Республике Беларусь и создавать предпосылки для организации производства подобных изделий в стране.

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки на 2025 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полезные ископаемые Белоруссии: к 75-летию БелНИГР И. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.
2. **Махнач, А. А.** Введение в геологию Беларуси / А. А. Махнач. – Минск: Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2004. – 198 с.
3. Основы геологии Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск: Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2004. – 392 с.
4. Исследования кинетики синтеза и особенности твердофазного образования муллита / А. М. Эминов [и др.] // Новые огнеупоры. – 2021. – № 7. – С. 16–20.
5. Особенности производства технической керамики для тепловых агрегатов металлургической отрасли / Ф. И. Пантелеенко [и др.] // Литье и металлургия. – 2025. – № 1. – С. 67–72.
6. **Матренин, С. В.** Техническая керамика / С. В. Матренин, А. И. Слосман. – Томск: ТПУ, 2004. – 75 с.
7. **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
8. Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания: справ. / под ред. Г. Роучка и Х. Вутнау. – М.: Интермет Инжиниринг, 2010. – 391 с.
9. Техническая керамика: материаловедческо-технологические принципы и механизмы разработки и реализации керамических электроизоляторов различного научно-практического назначения / В. Т. Шмурадко [и др.] // Новые огнеупоры. – 2020. – № 9. – С. 14–24.
10. Способ получения износостойкого керамического материала на основе оксида алюминия: пат. ВУ 23555, В35/04С1, В35/645С1 / В. Т. Шмурадко, Ф. И. Пантелеенко, О. П. Реут, Н. А. Руденская, Е. Ф. Пантелеенко; заявитель БНТУ. Заяв. № а 20180517; заявл. 14.12.2018; опубл. 30.10.2021.
11. **Авакумов, Г. Н.** Кордиерит – перспективный керамический материал / Г. Н. Авакумов, А. А. Гусев. – Новосибирск: Наука, 1999. – 167 с.
12. **Балкевич, В. Л.** Техническая керамика / В. Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
13. **Попов, Р. Ю.** Термостойкие керамические кордиеритсодержащие материалы с пониженной температурой спекания: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / Р. Ю. Попов. – Минск, 2011. – 180 с.

14. Use of unconventional initial materials to obtain heat-proof ceramic / I.M. Tereshchenko [et. al.] // *Glass and Ceramics*. – 2009. – Vol. 66, no. 3–4. – P. 129–131.
15. Перспективы использования глинистого сырья месторождения «Крупейский сад» для получения термостойких керамических изделий / Р.Ю. Попов [и др.] // *Стекло и керамика*. – 2021. – № 9. – С. 24–32.

REFERENCES

1. *Poleznye iskopayemye Belorussii: K 75-letiyu BelNIGRI* [Useful Fossils of Belarus: On the 75th Anniversary of BelNIGRI]. Minsk, Adukatsyya i vykhavanne Publ., 2002, 528 p.
2. **Makhnach A.A.** *Vvedeniye v geologiyu Belarusi* [Introduction to the Geology of Belarus]. Minsk, In-t geol. nauk NAN Belarusi Publ., 2004, 198 p.
3. **Makhnach A.A.** *Osnovy geologii Belarusi* [Fundamentals of Geology of Belarus]. Minsk, In-t geol. nauk NAN Belarusi Publ., 2004, 392 p.
4. **Eminov A.M.** [et al.] Issledovaniya kinetiki sinteza i osobennosti tverdogaznogo obrazovaniya mullita [Studies of the kinetics of synthesis and features of solid-phase formation of mullite]. *Novyye ognepory = New refractories*, 2021, no. 7, pp. 16–20.
5. **Panteleyenkov F.I., Popov R.J., Shimanskaya A.N.** [et al.] Osobennosti proizvodstva tekhnicheskoy keramiki dlya teplovykh agregatov metallurgicheskoy otrasli [Features of the production of technical ceramics for thermal units of the metallurgical industry]. *Lit'ye i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2025, no. 1, pp. 67–72.
6. **Matrenin S.V., Slosman A.I.** *Tekhnicheskaya keramika* [Technical ceramics]. Tomsk, TPU Publ., 2004, 75 p.
7. **Strelov K.K.** *Teoreticheskie osnovy tehnologii ognepornykh materialov* [Theoretical foundations of technology of refractory materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985, 480 p.
8. **Rouchk G., Vutnau H.** (ed.) *Ognepornyye materialy. Struktura, svoystva, ispytaniya: sprav.* [Refractory materials. Structure, properties, tests: manual]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2010, 391 p.
9. **Shmuradko V.T., Roman O.V., Panteleenko F.I.** [et al.] Tekhnicheskaya keramika: materialovedchesko-tehnologicheskii principy i mehanizmy razrabotki i realizatsii keramicheskikh jelektroizoljatorov razlichnogo nauchno-prakticheskogo naznacheniya [Technical ceramics: materials science and technology principles and mechanisms for the development and implementation of ceramic electrical insulators for various scientific and practical purposes]. *Novyye ognepory = New refractories*, 2020, no. 9, pp. 14–24.
10. **Shmuradko V.T., Panteleenko F.I., Reut O.P., Rudenskaya N.A., Panteleenko E.F.** *Sposob polucheniya iznosostojkogo keramicheskogo materiala na osnove oksida aljuminija* [Method for producing wear-resistant ceramic material based on aluminum oxide]. Patent BY, no 23555 V35/04S1, V35/645S1; zayavitel' BNTU; zayavka no. a 20180517 ot 14.12.2018; opubl. 30.10.2021.
11. **Avakumov G.N., Gusev A.A.** *Kordierit – perspektivnyy keramicheskij material* [Cordierite is a promising ceramic material]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 167 p.
12. **Balkevich V.L.** *Tekhnicheskaya keramika* [Technical ceramic]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984, 256 p.
13. **Popov R.Ju.** *Termostojkie keramicheskie kordieritsoderzhashhie materialy s ponizhennoj temperaturoj spekanija*: dis. ... kand. tehn. nauk [Heat-resistant ceramic cordierite-containing materials with low sintering temperature: Ph. D. in Engineering diss.]. Minsk, 2011. 180 p.
14. **Tereshchenko I.M., Popov R.Yu., Kravchuk A.P.** [et al.] Use of unconventional initial materials to obtain heat-proof ceramic. *Glass and Ceramics*, 2009, vol. 66, no. 3–4, pp. 129–131.
15. **Popov R.Ju., Gula I.P., Djatlova E.M.** [et al.] Perspektivy ispol'zovaniya glinistogo syr'ya mestorozhdeniya «Krupejskij sad» dlja polucheniya termostojkikh keramicheskikh izdelij [Prospects for the use of clay raw materials from the Krupeysky Sad deposit for the production of heat-resistant ceramic products]. *Steklo i keramika = Glass and Ceramics*, 2021, no. 9, pp. 24–32.