

**ГЕАХІМІЯ**  
**GEOCHEMISTRY**

УДК 691.421  
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2023-59-4-341-352>

Поступила в редакцию 21.11.2022  
Received 21.11.2022

**Р. Ю. Попов<sup>1</sup>, Ф. И. Пантелеенко<sup>2</sup>, Е. М. Дятлова<sup>1</sup>, В. А. Бирюк<sup>3</sup>, О. П. Мох<sup>4</sup>, И. Р. Гула<sup>5</sup>,  
А. Н. Шиманская<sup>1</sup>, А. С. Самсонова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,  
Минск, Беларусь

<sup>4</sup>Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Минск, Беларусь

<sup>5</sup>Производственное унитарное предприятие «Лоевский комбинат строительных материалов»  
ОАО «Полесьестрой», Лоев, Беларусь

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛИН  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КРУПЕЙСКИЙ САД»  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИКИ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Аннотация.** Рассмотрены особенности минералогического, гранулометрического и химического составов глинистого сырья месторождения «Крупейский сад», представлены его основные технологические свойства и цветовые характеристики, исследованы процессы, протекающие при термической обработке. Выявлено, что изученные глины отличаются высоким содержанием монтмориллонита и кварцевой составляющей в виде тонких фракций, что оказывает отрицательное влияние на технологичность получения керамических изделий на их основе. Разработаны составы керамических масс, включающие указанное глинистое сырье, отощающий (кварцевый песок или гранитоидные отсе-вы) и выгорающий компоненты, а также технология получения керамического кирпича, в том числе поризованного. Установлено, что в качестве отощителя целесообразно применять гранитоидные отсе-вы, которые обеспечивают более высокие прочностные характеристики изделиям вследствие особенностей минералогического состава и формы зерен. Определено оптимальное содержание опилок смешанных пород древесины (не более 3,5 мас.%), позволяющее интенсифицировать процессы сушки и обжига материала. Техничко-экономическая эффективность разработанных составов масс и технологических режимов получения керамического кирпича подтверждена апробацией в условиях производственного унитарного предприятия «Лоевский комбинат строительных материалов» ОАО «Полесьестрой».

**Ключевые слова:** глина, химический и минералогический составы, керамика, структура, фазовый состав, кирпич, эксплуатационные характеристики

**Для цитирования.** Особенности применения глин месторождения «Крупейский сад» для производства керамики строительного назначения / Р. Ю. Попов [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 341–352. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2023-59-4-341-352>

**R. Yu. Popov<sup>1</sup>, F. I. Pantsialeynka<sup>2</sup>, E. M. Dyatlova<sup>1</sup>, V. A. Biryuk<sup>3</sup>, O. P. Moh<sup>4</sup>, I. R. Hula<sup>5</sup>,  
H. M. Shymanskaya<sup>1</sup>, A. S. Samsonava<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

<sup>3</sup>University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

<sup>4</sup>Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

<sup>5</sup>Production Unitary Enterprise "Loyevsky Combine of Building Materials" JSC "Polesestroy", Loev, Belarus

**APPLICATION FEATURES OF CLAY RAW MATERIALS FROM THE "KRUPEISKY SAD" DEPOSIT  
FOR OBTAINING CERAMIC BUILDING MATERIAL**

**Abstract.** The article considers chemical, mineralogical and granulometric features of clay raw materials from the "Krupeisky Sad" deposit, presents its technological and color properties. The thermal transformation of clays under firing conditions were studied. It was revealed that clays from the "Krupeisky Sad" deposit were characterized by a high content of

montmorillonite and fine-grained quartz, which had a negative impact on the technological effectiveness of the process of manufacturing ceramic products. Compositions, including clay raw materials from the "Krupeysky Sad" deposit, quartz sand or granite screenings, burnout additive, as well as a technology for producing ceramic bricks, were developed. It had been established that it is advisable to use granite screenings, because it provides higher strength characteristics of products due to the peculiarities of the mineralogical composition and the shape of the grains. In addition, the optimal content of sawdust (not more than 3.5 wt.%), which allowed to intensify the processes of drying and firing of the material, was determined. The technical and economic efficiency of the developed compositions and technological modes to obtain ceramic bricks were confirmed by test in the conditions of the Production Unitary Enterprise "Loyevsky Combine of Building Materials" JSC "Polesestroy".

**Keywords:** clay, chemical and mineralogical composition, ceramics, structure, phase composition, brick, performance characteristics

**For citation.** Popov R. Yu., Pantsialeynka F. I., Dyatlova E. M., Biryuk V. A., Moh O. P., Hula I. R., Shymanskaya N. M., Samsonava A. S. Application features of clay raw materials from the "Krupeysky sad" deposit for obtaining ceramic building material. *Vestsi Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2023, vol. 59, no. 4, pp. 341–352. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2023-59-4-341-352>

**Введение.** Анализ сырьевой базы глинистого сырья Республики Беларусь позволяет сделать выводы о том, что на территории страны залегают преимущественно легкоплавкие глины, содержащие в своем составе кроме глинистых минералов (монтмориллонит (бентонит), гидрослюда, реже каолинит), примеси кварца (в виде песка), полевого шпата, карбонатов (мел, мергель, мрамор и др.), соединения железа, различные смешанослойные образования, иногда гипс [1–5].

Качество глинистых сырьевых материалов улучшается по мере приближения к южным границам республики [1–5]. Например, месторождения тугоплавких глин располагаются в основном в Гомельской и Брестской обл., содержание  $Al_2O_3$  в них достигает 17–25 мас.% (при максимально достижимом 27 мас.%) (рис. 1).



Рис. 1. Приблизительное распределение тугоплавкого и огнеупорного глинистого сырья на территории Республики Беларусь

Fig. 1. Approximate distribution of hard-melting and refractory clay raw materials across the territory of the Republic of Belarus

Комплексное изучение свойств глинистого сырья, особенностей его применения позволяет расширить сырьевую базу предприятий, ассортимент выпускаемой продукции, что способствует развитию отечественного производства, снижает зависимость предприятий от зарубежных поставщиков сырья, улучшает логистику и положительно сказывается на стоимости конечного продукта. При этом надо учитывать важный фактор – достижение необходимых характеристик материала, сохранение его эксплуатационных свойств.

Следует отметить, что качество глинистого сырья Республики Беларусь невысокое, однако применение селективного (избирательного) подхода к потреблению глин имеющихся месторождений может несколько расширить возможности предприятий.

Целью настоящего исследования является изучение возможности использования глин месторождения «Крупейский сад» для производства керамического кирпича.

**Основная часть.** Глинистое сырье месторождения «Крупейский сад» (Гомельская обл.) отличается достаточно сложным минералогическим составом, широким диапазоном технологических свойств и цветовых характеристик. Глины указанного месторождения существенно отличаются по химическому, минералогическому и гранулометрическому составам и залегают в четыре слоя (рис. 2) [5].

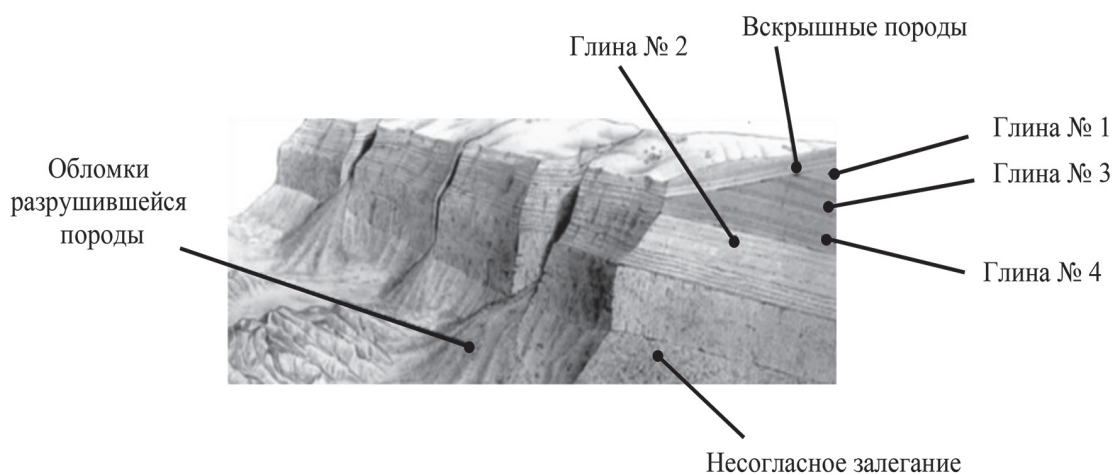


Рис. 2. Характерное расположение слоев глинистого сырья месторождения «Крупейский сад»

Fig. 2. Location of layers of clay raw materials from the “Krupeisky Sad” deposit

Характеристика глинистого сырья месторождения «Крупейский сад» приведена в табл. 1.

Вскрышные породы представлены почвенно-растительным слоем, песками от тонко- до мелкозернистых, супесью, а также глинами с высоким содержанием крупнозернистых карбонатных включений. Мощность их составляет 0,7–3,6 м.

Общее количество глинистого сырья месторождения «Крупейский сад», включая вскрышные породы, составляет 878,6 тыс. м<sup>3</sup>.

Глинистое сырье указанного месторождения существенно отличается по таким технологическим параметрам, как пластичность, усадка, спекаемость и т. д., а также по цветовым характеристикам, которые зависят от соотношения основных минералообразующих компонентов, наличия тех или иных примесей, их количественного содержания. Так, в некоторых глинах кроме гидрослюда и монтмориллонита присутствуют каолинит, монотермит со структурной формулой  $0,2R \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$  (где  $R$  –  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ), являющийся тонкой механической смесью гидрослюда и каолинита. Песчаная полиминеральная составляющая глинистого сырья складывается преимущественно из пылевидных тонко- и мелкозернистых фракций кристаллического кварца, полевых шпатов и гранитоидов. Кроме того, фрагментарно могут встречаться крупные вкрапления и образования карбонатов в виде доломита, мела, известняка, мергеля (см. табл. 1).

Для классификации глинистого сырья рассматриваемого месторождения проведены испытания, согласно ГОСТ 4069, ГОСТ 2642.4, ГОСТ 21216, которые позволили установить, что все глины ме-

Таблица 1. Характеристика глинистого сырья месторождения «Крупейский сад»

Table 1. Characteristics of clay raw materials from the “Krupeisky Sad” deposit

Наименование компонента	Цвет	Усредненный химический состав, мас. %									Минералогический состав		Глубина залегания, м
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	потери при прокаливании	глинистые минералы	иные компоненты	
Глина № 1	Рыжий	8,46	83,15	2,58	0,84	0,24	0,42	0,08	0,85	3,38	Монтмориллонит	Пески полиминеральные (кварцевая и полевошпатовая составляющая), карбонатные примеси (мергель, доломит, известняк, мел), железосодержащие соединения	0,5–3,5
Глина № 2	Серый	24,23	62,84	2,23	0,95	0,37	0,40	0,04	0,14	8,80	Монтмориллонит, гидрослюда, каолинит, монотермит	Пески полиминеральные (кварцевая и полевошпатовая составляющая), железосодержащие соединения	1,5–2,8
Глина № 3	Красносерый	14,53	65,09	8,55	1,20	0,59	0,49	0,04	0,14	9,37	Монтмориллонит, гидрослюда	Пески полиминеральные (кварцевая и полевошпатовая составляющая), карбонатные примеси (мергель, доломит, известняк, мел), железосодержащие соединения	3,5–6,0
Глина № 4	Рыжесерый	15,59	64,29	6,03	1,03	0,95	0,82	0,10	0,61	10,58			0,5–3,5

сторождения «Крупейский сад», кроме глины № 2, относятся к легкоплавкому типу (ГОСТ 9169), в то время как последняя является тугоплавкой. По содержанию оксида алюминия (ГОСТ 9169) пробы глин различных слоев являются кислыми (менее 14 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и полукислыми (14–28 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) с высоким содержанием свободного кремнезема в составе (более 25 мас.%).

Исходя из проведенных исследований гранулометрического состава можно сделать вывод, что по содержанию частиц размером менее 0,001 мм глины относятся к среднедисперсным (ГОСТ 9169), реже – высокодисперсным.

В зависимости от пластичности (ГОСТ 9169) глинистое сырье относится к группе умеренно- и среднепластичных, а при наличии монтмориллонита – высокопластичных.

Оценка чувствительности глин к сушке показала, что они являются реже среднечувствительными и чаще высокочувствительными, что объясняется присутствием минерала монтмориллонита.

Дифференциально-сканирующая калориметрия (DSC 404 F3 Pegasus Netzsch) позволила выявить, что удаление физически связанной воды происходит при термической обработке сырья до 300 °С, причем физическая влага удаляется ступенчато, что свидетельствует о достаточно сложном минералогическом составе глин и наличии в сырье одновременно нескольких глинистых минералов, например гидрослюда, монтмориллонита и др. (рис. 3).

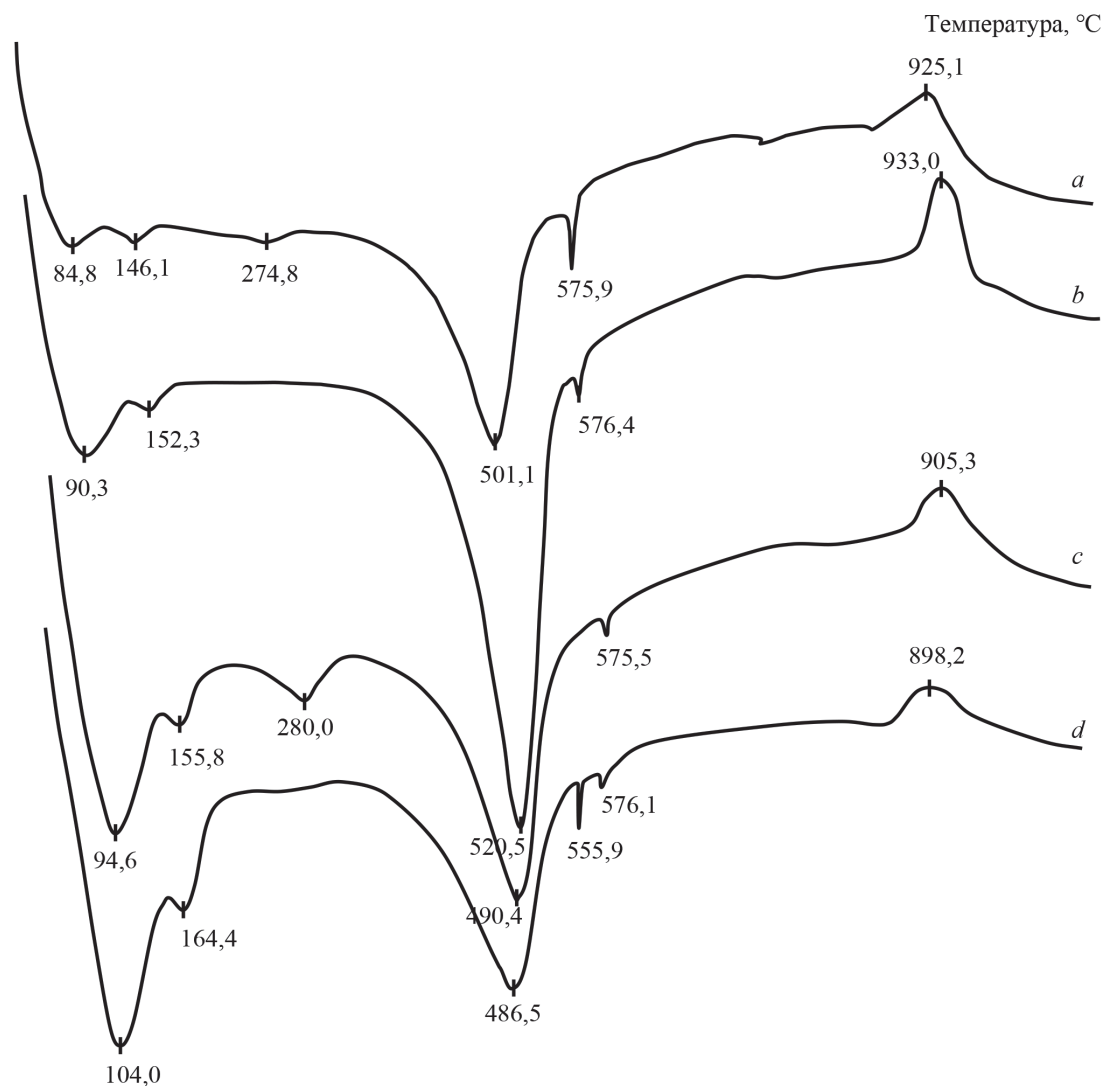


Рис. 3. Результаты дифференциально-сканирующей калориметрии глинистого сырья месторождения «Крупейский сад»: *a* – глина № 1; *b* – глина № 2; *c* – глина № 3; *d* – глина № 4

Fig. 3. Differential scanning calorimetry results of clay raw materials from the “Krupeisky Sad” deposit: *a* – clay N 1; *b* – clay N 2; *c* – clay N 3; *d* – clay N 4

Активизация процессов дегидратации глинистого сырья наблюдается в интервале температур 480–580 °C. Эндотермические эффекты четко выражены и также имеют несколько ступеней. В указанном температурном интервале одновременно протекают полиморфные преобразования низкотемпературной модификации кварца в его высокотемпературную форму.

Обращает на себя внимание эндотермический эффект, фиксирующийся при температуре 530 °C, который можно объяснить характерным поведением монтмориллонита в сырье при его термической обработке. Экзотермический эффект, наблюдаемый в глинах выше 890–905 °C, связан с перестройкой структуры материала [6].

Образцы керамики, полученные на основе глинистого сырья месторождения «Крупейский сад» в интервале температур 900–1 050 °C, согласно данным «Криминалистического атласа цветов ОТУ МВД СССР» (выдержки из издания «1000-цветный атлас стандартных образцов цвета», разработанный и выпускаемый НПО ВНИИМ им. Д. И. Менделеева), характеризовались следующей цветовой гаммой: глина № 1 – от красно-оранжевой 4.0–12/2 до коричнево-оранжевой 4.0–2/8; глина № 2 – от белой до розово-бежевой 4.3–10/2; глина № 3 – красно-коричневой 4.0–6/10; глина № 4 – коричневой 17.0–2/2 (рис. 4).

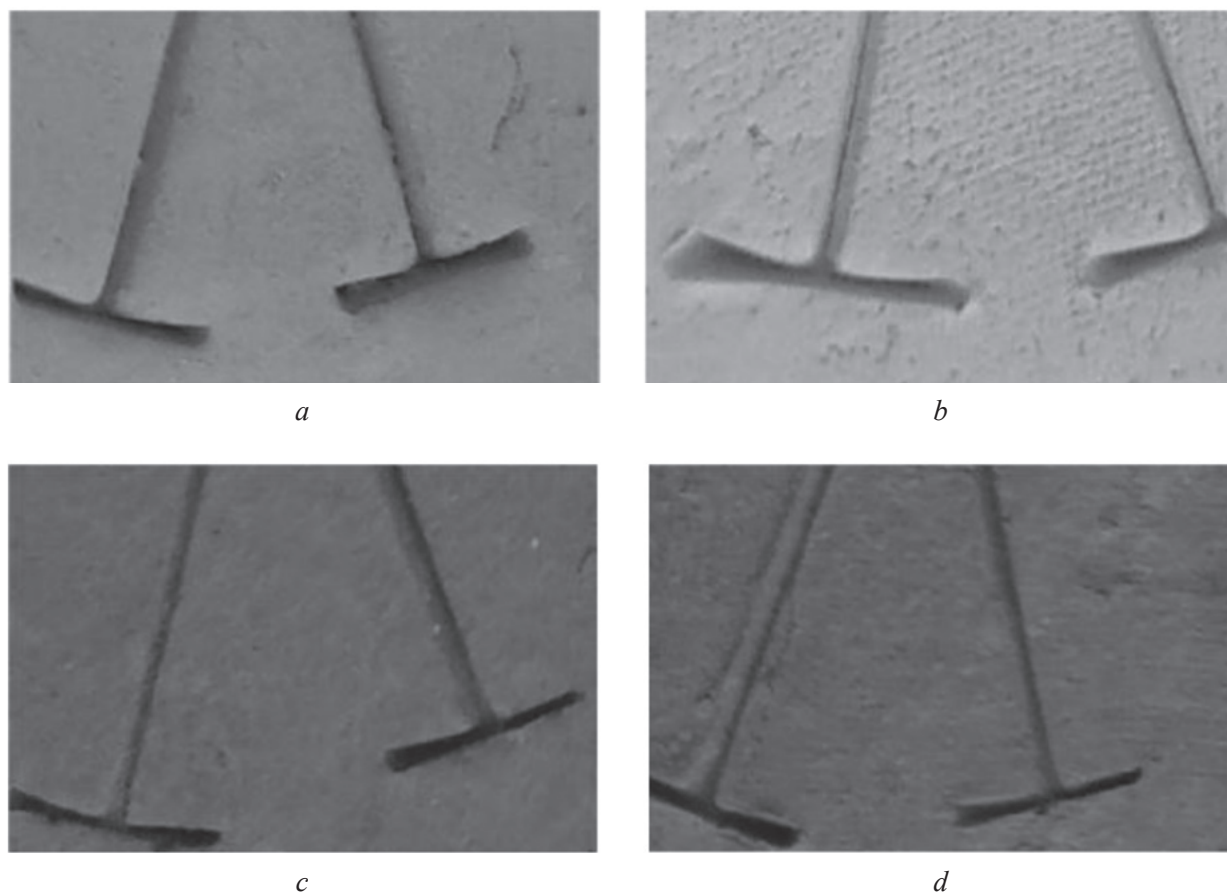


Рис. 4. Цветовые характеристики образцов керамики, полученных на основе глинистого сырья месторождения «Крупейский сад»: *a* – глина № 1; *b* – глина № 2; *c* – глина № 3; *d* – глина № 4 (температура обжига – 1 000 °С)

Fig. 4. Color properties of the ceramic samples obtained on the basis of clay raw materials from the “Krupeisky Sad” deposit: *a* – clay N 1; *b* – clay N 2; *c* – clay N 3; *d* – clay N 4 (firing temperature – 1 000 °С)

На следующем этапе работы изучалась возможность селективного применения указанного сырья для получения керамического кирпича, в том числе поризованного.

Для изготовления опытных образцов использовались отобранные пробы разных слоев глин рассматриваемого месторождения (ОСТ 21-78-88), в качестве отощителя выступал кварцевый песок месторождения «Лоев» или гранитоидные отсеvy Микашевичского месторождения (ТУ ВУ 200161167.003). Содержание отощающих компонентов в составах керамических масс варьировалось в пределах 30–35 мас.%, что связано с особенностью минерального состава глин (наличие значительного количества монтмориллонита). Подготовка глины осуществлялась путем ее сушки в лабораторной электрической сушилке SNOL 58/350 при температуре 100–110 °С и далее измельчения до прохождения через сито с сеткой № 1. Отощающий и выгорающий компоненты использовались также в сухом виде, их предварительно просеивали через аналогичное сито. Керамическую массу получали путем тщательного перемешивания компонентов и увлажнения водой до влажности 16–18 мас.% с последующим вылеживанием в течение 1 суток.

Образцы керамики в виде кирпичиков размером 58 × 30 × 15 мм изготавливали методом набивки массы в металлическую форму. Полученные изделия подвяливались, высушивались в сушильном шкафу при температуре 100 ± 10 °С, после чего подвергались обжигу в электрической печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах 900–1 050 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Технологические характеристики керамических масс, а также физико-химические свойства полученных образцов изучались по методикам, описанным в ГОСТ 21216, ГОСТ 7025, ГОСТ Р 58527, ГОСТ 2409, результаты исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты проведенных исследований

Table 2. Research results

Образцы кирпича на основе глинистого компонента	Общая усадка, %, температура обжига, °С:				Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> , температура обжига, °С:				Открытая пористость, %, температура обжига, °С:				Водопоглощение, %, температура обжига, °С:				Предел прочности при сжатии, МПа, температура обжига, °С:			
	900	950	1 000	1 050	900	950	1 000	1 050	900	950	1 000	1 050	900	950	1 000	1 050	900	950	1 000	1 050
Отощающий компонент – гранитоидные отсеvy																				
Глина № 1	8,0	8,2	8,4	9,7	2 080	2 094	2 118	2 133	23,2	22,0	19,9	19,4	11,1	10,5	9,4	9,1	26	34	42	48
Глина № 2	3,4	3,9	5,5	6,3	1 841	1 844	1 880	1 943	29,5	29,3	28,9	27,2	16,0	15,9	15,4	14,0	29	38	43	44
Глина № 3	6,7	6,9	7,1	7,8	2 060	2 068	2 090	2 107	25,1	24,7	22,8	21,0	12,2	11,9	10,9	10,0	27	34	39	41
Глина № 4	5,4	5,6	6,5	6,3	1 933	1 948	1 973	1 988	27,1	26,3	24,8	23,9	14,0	13,5	12,6	12,0	27	30	32	35
Отощающий компонент – кварцевый песок																				
Глина № 1	8,1	8,9	10,5	12,0	1 957	1 960	1 981	2 013	26,5	25,3	24,7	23,9	13,5	12,9	12,5	11,9	20	23	29	35
Глина № 2	3,5	6,5	9,0	9,1	1 800	1 804	1 819	1 858	32,6	32,6	32,1	30,1	18,1	18,1	17,6	16,2	24	27	28	30
Глина № 3	6,8	8,1	9,0	10,5	1 835	1 855	1 902	1 932	28,3	28,1	27,1	25,9	15,4	15,2	14,2	13,4	16	18	23	23
Глина № 4	5,5	5,9	6,2	6,5	1 978	2 002	2 042	2 066	29,9	29,6	28,1	26,8	15,1	14,8	13,8	12,9	10	12	15	18

Как видно из приведенных данных, использование гранитоидных отсеvов в качестве отощающего компонента является более эффективным, поскольку керамика, включающая указанный природный материал, обладает более высокими механическими характеристиками, что, по-видимому, связано с лещадностью отсеvов, то есть с наличием в материале частиц игольчатой или пластинчатой формы, содержание которых, согласно нормативно-технической документации, не должно превышать 15–35 мас.%. Присутствие зерен игольчатой или пластинчатой формы наряду с отощающим действием может оказывать армирующий эффект.

Следует отметить, что гранитоидные отсеvy в составе могут содержать различные примеси (аморфные разновидности кварца, слюды, сульфиды, сульфаты, галоидные соединения, органические включения, глинистые компоненты) и пылевидные фракции основного вещества, включающего в значительных количествах оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, входящих в состав полевых шпатов и являющихся плавнями, которые при определенных обстоятельствах (например, при изменении среды обжига) могут способствовать формированию легкоплавких эвтектик самостоятельно либо при контакте с тонкими фракциями аморфного или кристаллического кварца, а также соединениями железа [7–9]. Наличие аморфных метастабильных компонентов и соединений с гидратными оболочками в керамических массах способствует повышению скорости реакций и аллотропных превращений в процессе термообработки и, следовательно, степени спекания материала. Хлориды, сульфаты, сульфиды, слюды могут активизировать протекание химических реакций, способствовать образованию легкоплавких эвтектик при более низких температурах, а органические примеси – изменять условия обжига [9]. Конечно, указанные примесные составляющие не всегда оказывают положительное влияние, поскольку при их неравномерном распределении в объеме материала могут образовываться дефекты керамики (например, выцветы, высолы, дутики и т. д.).

В целом изменение показателей спекания керамических масс в указанном температурном интервале протекает медленно, значения физико-химических свойств материала отличаются несущественно, что связано, по-нашему мнению, со значительным содержанием в составах экспериментальных масс SiO<sub>2</sub>, который, находясь в глинистом сырье в виде пылевидных фракций, характеризуется малой активностью.

Несмотря на то что использование гранитоидных отсевов дает ряд преимуществ (низкая стоимость, устойчивость поведения при термической обработке, эффективность применения при сушке и обжиге керамических масс, достаточная прочность), наличие лещадности материала при его достаточной твердости (6,0–6,5 по шкале Мооса) и прочности (100–300 МПа при сжатии) сказывается на износе технологического оборудования (дробилки, прессы и т. д.) и оснастки (мундштуки, струны резчиков и др.) (рис. 5).

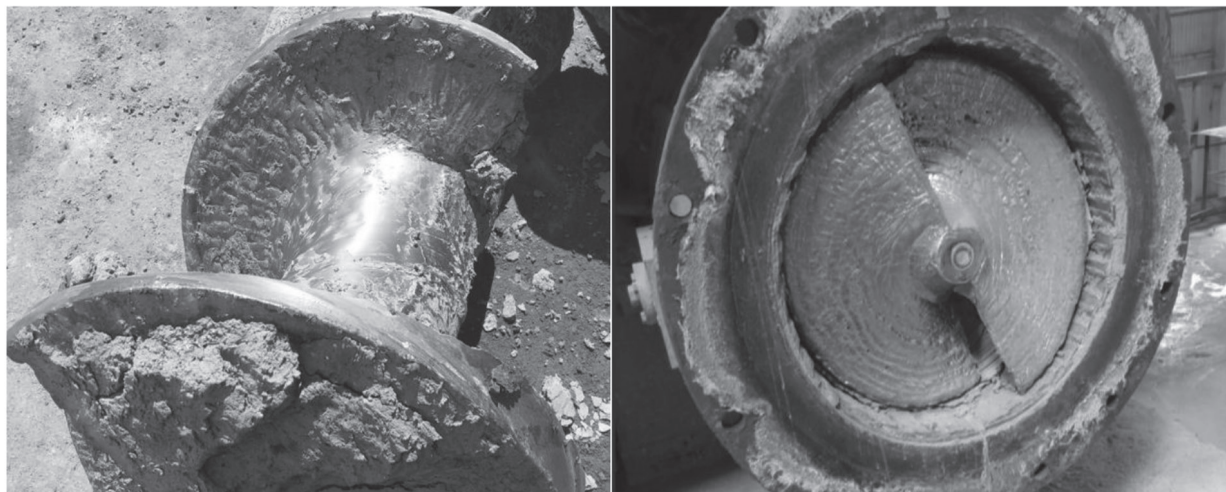


Рис. 5. Износ шнека вакуум-пресса, вызванный длительным воздействием керамических масс, содержащих гранитоидные отсевы

Fig. 5. Wear of the screw of extruder caused by prolonged exposure to ceramic masses containing granite screenings

Применение кварцевого песка в качестве отошителя, в свою очередь, тоже имеет ряд недостатков: полиморфизм при термообработке, что усложняет и удорожает процесс сушки и обжига кирпича, а также наличие карбонатных примесей в составе.

Исследования возможности использования кварцевого песка месторождения «Лоев» для получения керамического кирпича, проведенные в лабораторных условиях Белорусского государственного технологического университета, а также на Лоевском комбинате строительных материалов, показали, что замена гранитоидных отсевов на данный сырьевой материал существенным образом усложняет технологический процесс. Так, требуется изменять условия вакуумирования керамических масс и давление прессования при формовании изделий, увеличивать продолжительность сушки и обжига материала. Внешний вид изделия, полученного в производственных условиях с использованием в качестве отошителя кварцевого песка месторождения «Лоев», представлен на рис. 6.



Рис. 6. Внешний вид кирпича, полученного в производственных условиях с использованием в качестве отошителя кварцевого песка месторождения «Лоев»

Fig. 6. The appearance of a brick obtained under production conditions using quartz sand from the “Loev” deposit



С целью получения поризованных изделий в керамические массы, включающие глинистое сырье месторождения «Крупейский сад» и гранитоидные отсеивы, вводились древесные опилки смешанных пород древесины в количестве 3,5–6,5 мас.% сверх 100 %.

Приготовление керамических масс и получение образцов осуществлялись по методике, описанной выше. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3. Технологические характеристики керамических масс и физико-химические свойства поризованных изделий, полученных в интервале температур 900–1050 °С

Table 3. Technological characteristics of ceramic masses and physicochemical properties of porous products obtained in the temperature range 900–1050 °C

Образцы кирпича на основе глинистого компонента	Общая усадка, %	Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	Открытая пористость, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Глина № 1	4,8–9,1	1 450–1 530	35,7–46,4	23,5–31,8	12,5–17,5
Глина № 2	5,4–11,1	1 749–1 916	23,2–35,8	12,2–20,5	26,5–42,0
Глина № 3	6,0–12,1	1 585–1 803	28,6–41,1	14,7–26,0	17,5–23,5
Глина № 4	5,9–13,1	1 728–1 887	23,0–35,4	12,2–20,5	17,0–24,0

Проведенные исследования показали, что выгорающий компонент оказывает неоднозначное влияние на формирование структуры материала в процессе обжига. Например, при минимальном содержании древесных опилок (до 3,5 мас.%) обожженные изделия характеризуются повышением механической прочности при сжатии на 8–10 %, что, возможно, связано с интенсификацией окислительно-восстановительных процессов в материале, дополнительным выделением энергии в изделиях в результате сгорания равномерно распределенного органического компонента в объеме полуфабриката. Введение опилок также способствует повышению коэффициента влагопроводности сформованного изделия, интенсифицирует процесс сушки, чего при наличии в составе керамических масс минерала монтмориллонита и значительного количества пылевидных фракций кварца не всегда возможно достигнуть. Опилки обеспечивают перенос влаги из внутренних слоев полуфабриката наружу без возникновения значительных сопротивлений и напряжений, снижают вероятность образования в результате сушки дефектов и трещин [7, 8]. Следует также отметить, что применение выгорающего компонента в составах керамических масс в количестве 3,5 мас.% позволяет снизить энергетические затраты предприятия на сушку и обжиг изделий на 10–12 %. Увеличение содержания опилок выше 3,5 мас.% приводит к образованию черной сердцевины в кирпиче, так называемому науглероживанию черепка, что ухудшает физико-химические свойства изделия.

При термической обработке керамического кирпича в условиях избыточного содержания газовой составляющей в смеси сгораемого топлива в тепловом агрегате возможно протекание следующих процессов:

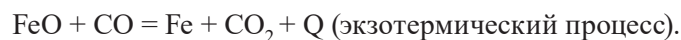
до температуры 570 °С:



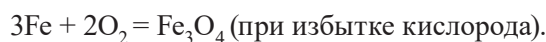
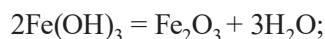
при температуре выше 570 °С:



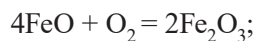
Указанные ниже процессы также теоретически возможны (в особенности при избытке соединений железа в составах масс):



Одновременно в указанном температурном интервале (570–580 °С) идет процесс дегидратации глинистого вещества, в результате чего могут протекать реакции взаимодействия железа с парами воды с образованием на первом этапе гидроксида железа, а затем его оксидов. Кроме того, возможно окисление железа кислородом:



При избытке кислорода в газовой смеси топлива идет следующее преобразование:



Процесс полного выгорания органических компонентов не приводит к ухудшению цветовых характеристик кирпича, он остается красного цвета, однако в восстановительной среде обжига при формировании FeO образуется черная сердцевина, а окраска кирпича может существенно изменяться от красного до желтого, иногда – до зеленого. При значительном содержании в составах кирпичных масс железосодержащих компонентов возможны выплавки металла (при восстановительной среде обжига).

Морозостойкость насыщенных водой поризованных изделий, обожженных в интервале температур 900–950 °С, составила 30–40 циклов «замораживание – оттаивание». Повышение температуры обжига до 1 000–1 050 °С привело к увеличению морозостойкости до 40–60 циклов.

По данным рентгенофазового анализа (D8 Advance фирмы Bruker), в структуре полнотелого и поризованного кирпича присутствуют следующие кристаллические фазы: кварц, кристобалит, фаялит и гематит. Как известно, кристобалит может обеспечивать повышение механических характеристик материала, но при этом снижать термические свойства керамики вследствие высоких значений температурного коэффициента линейного расширения (что также следует учитывать при охлаждении изделий в туннельной печи).

**Выводы.** Избыточное содержание монтмориллонита и кварцевой составляющей в виде тонких фракций в глинистом сырье существенно осложняет процессы получения керамики, технологичность проводимых операций. Массы на основе таких глин склонны к образованию трещин при получении изделий в производственных условиях предприятия, при этом увеличение продолжительности сушки и обжига сформованных изделий приводит к повышению расхода топливно-энергетических ресурсов, а также себестоимости конечного продукта.

Достижение минимально возможных затрат при термообработке полуфабриката кирпича допустимо лишь при повышении содержания в составах отошающих керамических масс. Оптимальным отошающим компонентом в рассматриваемом случае являются гранитоидные отсе́вы (несмотря на их высокое абразивное воздействие). Положительное влияние гранитоидных отсе́вов на механические характеристики керамики, по нашему мнению, объясняется, во-первых, ле́щадностью, которая способствует упрочнению структуры материала, во-вторых, присутствием примесной составляющей, а также пылевидных фракций гранитоидов, которые обеспечивают формирование легкоплавких эвтектик. Использование выгорающего компонента (опилок) в количестве не более 3,5 мас.% позволяет улучшить технологические характеристики керамических масс, ускорить процесс сушки благодаря положительному влиянию на процесс внутренней диффузии влаги и обжига полуфабриката за счет создания необходимых окислительно-восстановительных условий в материале и тепловом агрегате, содействующих спеканию керамики.

Испытания разработанных керамических масс в условиях Лоевского комбината строительных материалов показали их пригодность для получения керамического кирпича. Об эффективности предлагаемой технологии также свидетельствует снижение энергетических затрат при сушке и обжиге полуфабриката на 10–12 %.

Таким образом, детальные исследования глинистого сырья, расширение сырьевой базы керамических предприятий, изучение новых месторождений, селективная разработка месторождений способствуют повышению качества выпускаемой продукции и открывают новые возможности для производителей керамических материалов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полезные ископаемые Белоруссии: к 75-летию БелНИГРИ / редкол.: П. З. Хомич [и др.]. – Минск.: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.
2. Махнач, А. А. Введение в геологию Беларуси / А. А. Махнач; науч. ред. А. В. Матвеев. – 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. Particulars of the chemical mineralogical composition and properties of kaolins from Belorussian deposits / O. A. Sergievich [et al.] // *Glass and Ceramics*. – 2012. – Vol. 69, № 3–4. – P. 94–98. <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9422-4>
5. Prospects for using clayey raw materials of the Krupeiskii Sad deposit for producing heat-resistant ceramic products / R. Yu. Popov [et al.] // *Glass and Ceramics*. – 2022. – Vol. 78, № 9. – P. 362–368. <https://doi.org/10.1007/s10717-022-00412-5>
6. Уорелл, У. Глины и керамическое сырье / У. Уорелл; пер. с англ. П. П. Смолина; под ред. В. П. Петрова. – М.: Мир, 1978. – 237 с.
7. Properties of ceramic wall materials with various burnout additives / I. V. Pishch [et al.] // *Glass and Ceramics*. – 2015. – Vol. 72, № 1–2. – P. 57–60. <https://doi.org/10.1007/s10717-015-9723-5>
8. Пищ, И. В. Влияние некоторых добавок на процессы спекания и свойства керамического кирпича / И. В. Пищ, Ю. А. Климош, Р. Ю. Попов // *Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук*. – 2010. – № 3. – С. 11–13.
9. Августиник, А. И. Керамика / А. И. Августиник. – Л.: Стройиздат, 1975. – 592 с.

## References

1. Khtomich P. Z., Gudak S. P., Sinichka A. M., Gribik Ya. G., Karpuk V. V., Nikitin E. A., Poznyakevich Z. L. *Mineral resources of Belarus: To the 75th anniversary of BelNIGRI*. Minsk, Adukatsyya i Vykhananne Publ., 2002. 528 p. (in Russian).
2. Makhnach A. A. *Introduction to the geology of Belarus*. Minsk, Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, 2004. 198 p. (in Russian).
3. Garetskii R. G., Naidenkov I. V., Aksamentova N. V., Arkhipova A. A., Pap A. M. [et al.]. *Fundamentals of the Geology of Belarus*. Minsk, Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences, 2004. 392 p. (in Russian).
4. Sergievich O. A., Dyatlova E. M., Malinovskii G. N., Barantseva S. E., Popov R. Yu. Particulars of the chemical mineralogical composition and properties of kaolins from Belorussian deposits. *Glass and Ceramics*, 2012, vol. 69, no. 3–4, pp. 94–98. <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9422-4>
5. Popov R. Yu., Gula I. R., Dyatlova E. M., Shimanskaya A. N., Bogdan E. O., Kulish I. A. Prospects for using clayey raw materials of the Krupeiskii Sad deposit for producing heat-resistant ceramic products. *Glass and Ceramics*, 2022, vol. 78, no. 9, pp. 362–368. <https://doi.org/10.1007/s10717-022-00412-5>
6. Worrall W. E. *Clays and ceramic raw materials*. New York, Elsevier Applied Science Publishers, 1986. 239 p.
7. Pishch I. V., Biryuk V. A., Klimosh Yu. A., Popov R. Yu., Shidlovskii A. V. Properties of ceramic wall materials with various burnout additives. *Glass and Ceramics*, 2015, vol. 72, no. 1–2, pp. 57–60. <https://doi.org/10.1007/s10717-015-9723-5>
8. Pishch I. V., Klimosh Yu. A., Popov R. Yu. Influence of some additives on processes of sintering and properties of a ceramic brick. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2010, no. 3, pp. 11–13 (in Russian).
9. Avgustinik A. I. *Ceramics*. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1975. 592 p. (in Russian).

## Информация об авторах

Попов Ростислав Юрьевич – кандидат технических наук, доцент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: rospopov@mail.ru

Пантелеенко Федор Иванович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заслуженный деятель науки Республики Беларусь. Белорусский национальный технический университет (ул. Я. Коласа, 24, корп. 7, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: pan-teleenkofi@mail.ru

Дятлова Евгения Михайловна – кандидат технических наук, доцент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: dyatlova@belstu.by

Бирюк Виктор Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой. Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным

## Information about the authors

Popov Rostislav Yu. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: rospopov@mail.ru

Pantsialeynka Fedor I. – D. Sc. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Honoured Scientist of the Republic of Belarus. Belarusian National Technical University (24, Ya. Kolas Str., building 7, Minsk, 220013, Republic of Belarus). E-mail: pan-teleenkofi@mail.ru

Dyatlova Evgenia M. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: dyatlova@belstu.by

Biryuk Viktor A. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department. University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic

ситуациям Республики Беларусь (ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vik\_biruk@tut.by

*Мох Олег Петрович* – заместитель начальника главного управления – начальник управления. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (ул. Коллекторная, 10, 220004, Минск, Республика Беларусь). E-mail: moholeg@yandex.ru

*Гула Игорь Романович* – директор. Лоевский комбинат строительных материалов ОАО «Полесьестрой» (ул. Батова, 66, 247095, г. п. Лоев, Гомельская обл., Республика Беларусь). E-mail: loev\_ksm@mail.ru

*Шиманская Анна Николаевна* – кандидат технических наук, старший преподаватель. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shimanskaya@belstu.by

*Самсонова Александра Сергеевна* – аспирант. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: aleksasha\_samsonova@mail.ru

of Belarus (25, Mashinostroiteley Str., Minsk, 220118, Republic of Belarus). E-mail: vik\_biruk@tut.by

*Moh Oleg P.* – Deputy Chief of Head Department – Head of the Department. Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus (10, Kollektornaya Str., Minsk, 220004, Republic of Belarus). E-mail: gorksm@mail.ru

*Hula Igor' R.* – Director. Loyevsky Combine of Building Materials JSC “Polesestroy” (66, Batov Str., Loev, Gomel region, 247095, Republic of Belarus). E-mail: loev\_ksm@mail.ru

*Shymanskaya Hanna M.* – Ph. D. (Engineering), Senior Lecturer. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: shimanskaya@belstu.by

*Samsonava Aliaksandra S.* – Graduate Student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: aleksasha\_samsonova@mail.ru