

УДК 666.616; 552.11

**С. Е. Баранцева, Ю. А. Климош, Н. Н. Гундилович,
И. М. Азаренко, А. В. Поспелов, М. А. Курилович**
Белорусский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛАУКОНИТСОДЕРЖАЩИХ ВСКРЫШНЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты исследования возможности использования вскрышных глауконитсодержащих пород разведанного Новодворского месторождения базальтов и туфов Республики Беларусь для получения петроситаллов и каменного литья пироксенового состава. Подтверждено, что при использовании указанных пород их химико-минеральный состав, оксидный состав стекла, температурно-временные параметры его термической обработки являются основными факторами, обуславливающими направленное структуро- и фазообразование при получении стеклокерамических материалов с комплексом требуемых физико-химических свойств. Разработаны составы сырьевых композиций в системе «глауконитсодержащая порода – доломит – глинозем – кальцинированная сода», оптимизированы пределы массового количества сырьевых компонентов шихты и основных оксидов в составе стекла. Установлено, что по геолого-структурной позиции, химическому, минеральному составу и технологическим характеристикам глауконитсодержащие вскрышные породы являются приемлемым отечественным сырьем для получения стеклокерамических материалов с комплексом требуемых показателей основных физико-химических свойств.

Ключевые слова: глауконитсодержащие породы, вскрыша, пески, алевриты, алевролиты, петроситалл, каменное литье, термообработка, фазовый состав, пироксеновый твердый раствор, кристаллизация, хромшпинелид, структура, износостойкость, химическая устойчивость.

Для цитирования: Баранцева С. Е., Климош Ю. А., Гундилович Н. Н., Азаренко И. М., Поспелов А. В., Курилович М. А. Использование глауконитсодержащих вскрышных осадочных пород для получения стеклокерамических материалов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 1 (265). С. 122–130. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-14.

**S. E. Barantseva, Yu. A. Klimosh, M. M. Hundzilovich,
I. M. Azarenko, A. V. Pospelov, M. A. Kurilovich**
Belarusian State Technological University

USE OF GLAUCONITE-CONTAINING OVERBURDEN SEDIMENTARY ROCKS FOR PRODUCING GLASS-CERAMIC MATERIALS

The results of the study of the possibility of using overburden glauconite-containing rocks of the explored Novodvorskoje basalt and tuff deposit of the Republic of Belarus for the production of petrositalls and stone casting of pyroxene composition are presented. It is confirmed that when sedimentary rocks are used, their chemical-mineral composition, the oxide composition of glass, the temperature-time parameters of its heat treatment are the main factors that determine the directed structure and phase formation in the production of glass-ceramic materials with a complex of required physical and chemical properties. Raw materials compositions in the system “glauconite-containing rock – dolomite – alumina – soda ash” have been developed, the limits of the mass amount of raw materials of the mixture and basic oxides in the composition of glass have been optimized. It has been established that in terms of geological and structural position, chemical, mineral composition and technological characteristics, glauconite-containing overburden rocks are an acceptable domestic raw material for obtaining glass-ceramic materials with a set of required indicators of basic physical and chemical properties.

Keywords: glauconite-containing rocks, overburden rocks, sands, aleurite, aleurolite, petrositall, stone casting, heat treatment, phase composition, pyroxene solid solution, crystallization, chrome spinel, structure, wear resistance, chemical reaction.

For citation: Barantseva S. E., Klimosh Yu. A., Hundzilovich M. M., Azarenko I. M., Pospelov A. V., Kurilovich M. A. Use of glauconite-containing overburden sedimentary rocks for producing glass-ceramic materials. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2023, no. 1 (265). pp. 122–130. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-14 (In Russian).

Введение. В Республике Беларусь выявлено новое месторождение базальтов и сапонитсодержащих базальтовых туфов – Новодворское, расположенное

в Пинском районе Брестской области. Полезными ископаемыми на месторождении являются вулканогенные отложения, сложенные толеитовыми

базальтами, туфами основного состава, туффитами и лавобрекчиями. Попутные полезные ископаемые представлены вскрышными породами – песками кварцевыми и полевошпат-кварцевыми четвертичного возраста, песками кварцевыми и алевритами глауконит-кварцевыми палеогенового возраста. Предварительно оцененные запасы вскрышных глауконитсодержащих пород по категориям С1+С2 составляют 77,098 млн м³.

Целью настоящей работы является изучение и оценка возможности использования глауконитсодержащих вскрышных пород в качестве основного компонента сырьевой композиции для получения стеклокерамических материалов – петроситаллов и каменного литья.

Специфика глауконитсодержащих вскрышных пород заключается в условиях их залегания тремя горизонтами (пластами) – верхним, средним и нижним, минеральный состав которых представлен в основном кварцем (SiO₂), полевыми шпатами (альбит Na(AlSi₃O₈), анортит Ca(Al₂Si₂O₈), ортоклаз K(AlSi₃O₈)). Содержание минерала глауконита (K(Fe³⁺, Al, Fe²⁺, Mg)(AlSi₃O₁₀)(OH)₂ · nH₂O) в породах варьирует в пределах 10–25 мас. %; присутствуют в небольших количествах каолинит (Al₄(Si₄O₁₀)(OH)₈), мусковит (KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂), сидерит (FeCO₃) и фосфаты ((CH₃O)_nP(O)(OH)_{3-n}) [1]. Средненный химический состав глауконитсодержащих пород Новодворского месторождения характеризуется присутствием оксидов в следующих пределах, мас. %: SiO₂ – 69,01–74,85; Al₂O₃ – 6,49–10,74; FeO – 11,65–12,06; MgO – 1,10–1,56; CaO – 0,44–0,86; K₂O – 1,47–1,76; MnO – 0,19–0,28; CuO – 1,39–2,18; TiO₂ – 0,53–0,77; Ag₂O – 0,25–0,33; SO₃ – 1,02–1,14 [1].

Таким образом, по химическому составу как основному критерию оценки пригодности этого вида сырья для получения силикатных материалов глауконитсодержащие породы вышеуказанных трех горизонтов практически аналогичны, поэтому нами использовалась валовая порода, содержащая их равные количества, которой присвоен индекс ОВ, что исключает необходимость их селективной добычи.

Фотографии вскрышных пород попутных глауконитсодержащих полезных ископаемых каждого горизонта, согласно строению толщи Новодворского месторождения базальтов и туфов, предоставленных РУП «НПЦ по геологии», приведены на рис. 1.

Породы верхнего горизонта представлены зеленовато-серыми алевритами, часто песчанистыми, реже глинистыми, глауконит-кварцевыми слюдистыми; среднего – зеленовато-серыми песками кварцевыми глауконитсодержащими от мелкозернистых до средне- и крупнозернистых; нижнего – слюдистыми голубовато-зеленовато-серого цвета алевритами и алевритами мелкотонко-

зернистыми глауконит-кварцевыми слюдистыми слабо- или крепкоцементированными.

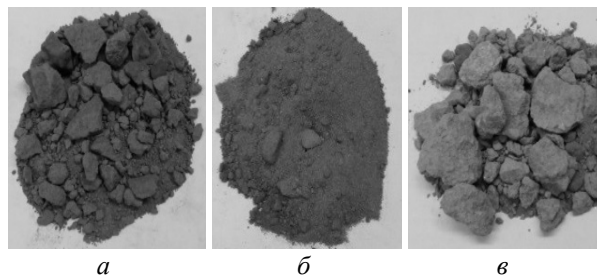


Рис. 1. Фотографии экспериментальных проб глауконитсодержащей вскрышной породы различных горизонтов Новодворского месторождения базальтов и туфов: а – верхний горизонт; б – средний; в – нижний

Основная часть. Предпосылкой для получения пироксеновых стеклокерамических материалов с высокими показателями износостойкости и химической устойчивости является прогнозирование составов и получение стекол из вышеуказанных материалов с последующей термической обработкой опытных образцов по соответствующим температурно-временным режимам.

Известно, что вся гамма полимерных силикатных структур от каркасных до островных, представленных изолированными тетраэдрами, заключена между отношением O / Si = 2–4, поэтому кристаллохимический параметр R = O / Si (кислородное число) соответствует определенному типу структуры и для цепочечных силикатов составляет 2,9–3,1 [2, 3].

Согласно результатам ранее проведенных исследований и данным литературы [4, 5], учитывая возможность присутствия в цепочечных структурах до 25% алюмоокислородных тетраэдров, для расчета кислородного числа использована формула R = O / (Si + 0,25Al).

Проектируемый состав стекла для получения стеклокерамических материалов базировался на соблюдении соотношения основных пироксенообразующих оксидов. Из формулы диопсида (CaO · MgO · 2SiO₂) массовое соотношение оксидов MgO / CaO и SiO₂ / (MgO + CaO) в проектируемом составе приближалось к стехиометрическому. Значение рассчитанного кислородного числа R = 3,1 соответствует расположению кремнекислородных тетраэдров в одном измерении и относится к цепочечным структурам [2, 3].

Возможность использования глауконитсодержащих пород для получения стеклокерамических материалов ранее не изучалась. При выполнении экспериментальных исследований в качестве основного компонента использовалась валовая глауконитсодержащая порода, а также компоненты, химический состав которых приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов

Компоненты шихты	Массовое содержание оксидов, %											Потери при прокаливании, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	Ag ₂ O	CuO	
Порода (ОВ)	72,75	8,11	0,77	9,10	1,19	1,75	1,92	0,33	0,14	0,28	1,74	1,90
Доломит	3,5	1,6	–	0,18	29,5	20,5	–	–	–	–	–	44,7
Сода кальцинированная	–	–	–	–	–	–	–	58,0	–	–	–	42,0
Глинозем	–	99,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Для получения стеклокристаллических материалов исходную шихту варили по определенному температурному режиму и полученную стекломассу формовали обычными способами [6, 7]. После отжига повторно нагревали для образования зародышей кристаллов стимулятора, которые становятся гетерогенными центрами для формирования в процессе дальнейшей термической обработки проектируемых пироксеновых кристаллических фаз.

Продолжительность второй стадии термообработки обычно на 100°C ниже температуры плавления основной кристаллической фазы, в нашем случае пироксеновой [6, 7].

Технологический процесс производства каменного литья [8, 9] включает выбор петруггического сырья, плавление шихты и образование исходного расплава, заливку в формы, затвердевание и кристаллизацию расплава по определенному режиму термообработки, регулируемое охлаждение изделий для обеспечения прогнозируемых свойств литого материала. Таким образом, петруггический процесс объединяет ряд сложных явлений и технологических операций, от правильного проведения которых зависит качество и свойства конечного литого продукта.

Основой для получения каменного литья служат минералы пироксенового ряда, способные к широким изоморфным замещениям катионов в кристаллической решетке. Любой представитель пироксенов можно рассматривать как структурный аналог диопсида CaMgSi₂O₆, в котором кремний, кальций и магний частично или полностью замещаются другими элементами. Структурная формула пироксена XYZ₂O₆, где X = Na¹⁺, K¹⁺, Ca²⁺; Y = Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Al³⁺, Ti³⁺; Z = Al³⁺, Si⁴⁺, Fe³⁺, Ti³⁺, Ti⁴⁺ [6, 10–12].

Из этой формулы следует, что элементы, входящие в состав горных пород, могут изовалентно или гетеровалентно замещаться в кристаллической решетке пироксена. Это требует корректировки состава используемых пород, являющихся основным компонентом сырьевых композиций стеклокерамических материалов, для обеспечения возможности встраивания основных элементов в структурную формулу пироксена.

Синтезируемое на основе глауконитсодержащих вскрышных пород стекло, которому присвоен индекс ГЛС, является основой для получения как петроситалла по классической технологии (кристаллизацией образцов после отжига), так и каменного литья (кристаллизацией непосредственно после формования образцов).

Сырьевая композиция для получения стекла включала валовую глауконитсодержащую породу в качестве основного компонента (72–75 мас. %), а также доломит, соду кальцинированную, глинозем. В качестве стимулятора кристаллизации использовался оксид хрома в количестве 1 мас. %. Шихту для получения стекла готовили по традиционной технологии с сухой подготовкой сырьевых материалов, варку стекла осуществляли в газовой печи периодического действия при температуре 1450–1470°C с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Фотография образцов стекла ГЛС представлена на рис. 2, а условия синтеза, технологические характеристики и свойства приведены в табл. 2.



Рис. 2. Фотография образцов стекла ГЛС

Кислото- и щелочестойкость стекол и стеклокристаллических материалов определяли по отношению к 1 н. растворам H₂SO₄ и NaOH соответственно.

Таблица 2
Условия синтеза, технологические характеристики и свойства стекла ГЛС

Условия синтеза, технологические характеристики и свойства	Опытные образцы стекла
Технологические параметры:	
– температура варки, °С	1450–1470
– температура выработки, °С	1210–1230
– склонность к кристаллизации	Поверхностная пленка
– формовочная способность	Удовлетворительная
– температура отжига, °С	580–610
– время отжига, мин	45–60
– интервал размягчения, °С	660–690
Физико-химические свойства:	
– плотность, кг/м ³	2600–2700
– микротвердость, МПа	6650–6700
– химическая устойчивость, %:	
к кислотам	67,5
щелочам	95,3

По результатам градиентной кристаллизации выделены следующие наиболее характерные температурные интервалы: 600–730°С – стекло без изменения; 730–850°С – поверхностная кристаллическая пленка; 850–915°С – кристаллическая корка; 915–935°С – кристаллическая структура с присутствием значительного количества стекловидной фазы; 935–1000°С – плотная мелкокристаллическая структура.

Для получения сведений о процессах кристаллизации стекла ГЛС была проведена термическая обработка образцов при различных температурных экспозициях, в частности 840, 900, 930 и 970°С, выбранных на основе данных градиентной кристаллизации и соответствующих наиболее характерным изменениям поведения стекла при нагревании. Данные дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) (DSC 404 F3 Pegasus, NETZSCH, Германия) в комплексе с электронной сканирующей микроскопией (JEOL JSM-5610 LV, Япония), оснащенной системой локального микронзондового химического анализа (EDX JED-2201 JEOL, Япония), позволили проследить за ходом кристаллизационного процесса, что впоследствии позволило оптимизировать параметры режима термической обработки (рис. 3).

Установлено, что при термической обработке исходного стекла на кривой ДСК присутствуют следующие термоэффекты: экзоэффект при 326,1°С соответствует переходу оксида железа из α - в γ -форму; эндоэффект при температуре 704,6°С соответствует размягчению стекла; максимальная температура экзоэффекта 932°С соответствует наиболее интенсивному формированию кристаллической фазы. Изменений в структуре

стекла не наблюдается вплоть до 840°С, кривые ДСК и структура стекла практически не изменяются (рис. 3). Затем в интервале термообработки 840–900°С благодаря использованию инициатора кристаллизации – оксида хрома – образуются центры кристаллизации, представленные, очевидно, хромшпинелидами.

В интервале 900–930°С на центрах кристаллизации формируются сферолитоподобные кристаллические образования предполагаемой пироксеновой фазы в виде твердого раствора типа авгита, характеризующегося достаточно высокими показателями физико-химических свойств, особенно химической устойчивости, износостойкости, механической прочности при изгибе и микротвердости [13].

На кривых ДСК наблюдается резкое уменьшение интенсивности экзотермического эффекта, соответствующего процессу кристаллизации вплоть до его полного исчезновения в интервале 930–970°С, что свидетельствует о его практически полном завершении (рис. 3).

Следует отметить, что процесс кристаллизации стекла ГЛС с использованием в качестве основного сырьевого компонента глауконитсодержащей вскрышной породы происходит практически полностью по аналогии с процессами получения ряда известных пироксеновых ситаллов, петроситаллов, шлакоситаллов и каменного литья [13–15].

Для идентификации образующихся кристаллических фаз и определения их химического состава рассмотрен фрагмент электронно-микроскопического изображения поверхности свежего скола образца стекла, термообработанного при температуре 900°С (рис. 4), на котором отмечены локальные области микронзондового химического анализа. Участок, обозначенный точкой 1, принадлежит центру кристаллизации, а точкой 2 – формирующейся кристаллической фазе.

В табл. 3 представлены результаты электронно-зондового химического анализа локальных областей скола образца (рис. 4).

Таблица 3
Химический состав локальных областей образца стекла, термообработанного при температуре 900°С

Оксиды	Содержание оксидов, мас. %	
	область 1	область 2
SiO ₂	22,83	64,50
Al ₂ O ₃	5,81	8,05
CaO	2,45	8,23
MgO	18,27	11,08
Fe ₂ O ₃	4,91	1,80
Na ₂ O	4,47	
K ₂ O	–	0,73
Cr ₂ O ₃	41,26	0,30
SO ₃	–	0,18

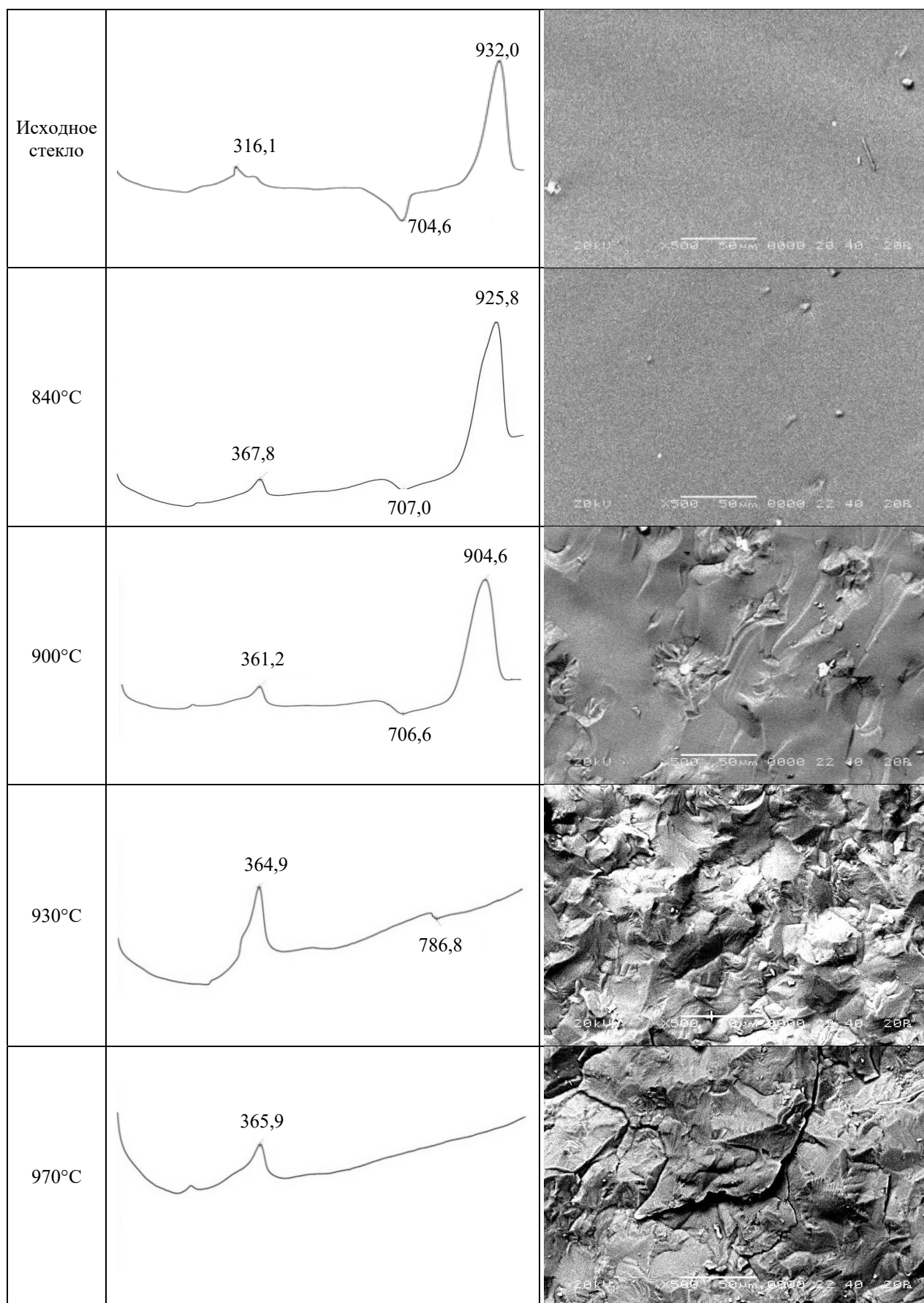


Рис. 3. Кривые ДСК и электронно-микроскопическое изображение поверхности сколов образцов стекла ГЛС по мере термообработки

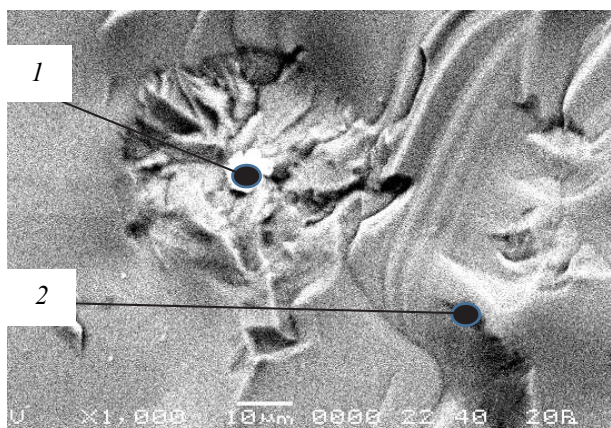


Рис. 4. Фрагмент электронно-микроскопического изображения скола образца, термообработанного при температуре 900°C, с локальными областями микрозондового анализа:

- 1 – центр кристаллизации;
- 2 – кристаллическая фаза

Таким образом, установлено, что при термической обработке стекла при температуре 840–900°C благодаря использованию инициатора кристаллизации – оксида хрома – образуются центры кристаллизации со структурой хромшпинелида типа $((\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4)$, что подтверждается результатами электронно-зондового химического анализа его локальной области (рис. 4, точка 1; табл. 3). В интервале температур 900–930°C формируется основная химически- и износостойкая пироксеновая фаза – твердый раствор типа авгита $(\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6)$ (рис. 4, точка 2; табл. 3), что подтверждается отсутствием термических эффектов на кривых ДСК, соответствующих процессам кристаллизации (рис. 3).

Данные рентгенофазового анализа, проведенного с использованием рентгеновского дифрактометра Miniflex 600 (Rigaku, Япония) в диапазоне углов 5–70°, подтверждают, что в термообработанных образцах основной кристаллической фазой является авгит, обеспечивающий комплекс достаточно высоких показателей физико-химических свойств материалов. Присутствует также небольшое количество кристобалита (SiO_2) и кальциевого клиноферросилита ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$).

При получении петроситалла и каменного литья в обоих случаях в качестве основы использовался состав стекла ГЛС.

Образцы петроситалла изготавливались отливкой с отжигом при температуре 580°C, охлаждением и последующей кристаллизацией при максимальной температуре 920–940°C в течение 1 ч. Фотография образцов представлена на рис. 5.

Образцы каменного литья (рис. 6) изготавливали отливкой в металлические формы с их последующей кристаллизацией непосредственно после их затвердевания в электрической печи

сначала при 710°C с выдержкой 20 мин, а затем при 900–910°C с выдержкой в течение 20 мин в соответствии с камнелитейной технологией [8, 9].

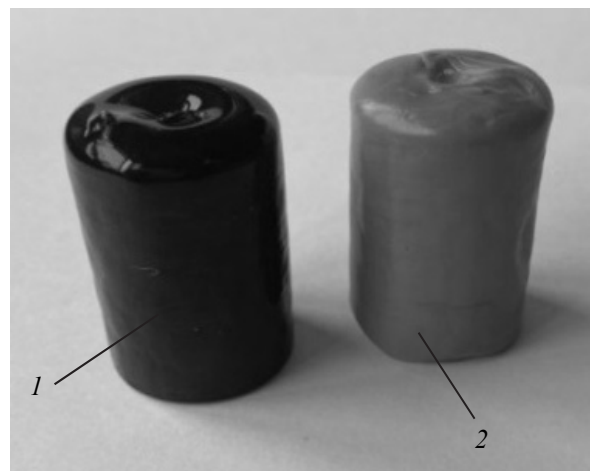


Рис. 5. Фотография образцов стекла ГЛС (1) и петроситалла (2), полученного его термической обработкой



Рис. 6. Фотография образцов каменного литья

На рис. 7 представлено электронно-микроскопическое изображение поверхности сколов петроситалла и каменного литья, полученных при термообработке по оптимальным режимам. Структура образцов петроситалла и каменного литья характеризуется высокой степенью кристаллизации, она плотная, однородная. Отчетливо прослеживается присутствие равномерно распределенных центров кристаллизации (рис. 7, а), на которых формируется пироксеновая кристаллическая фаза, а высокие физико-механические свойства материалов обусловлены плотно сцементированными остаточной стекловидной фазой кристаллическими образованиями пироксеновой фазы – авгита.

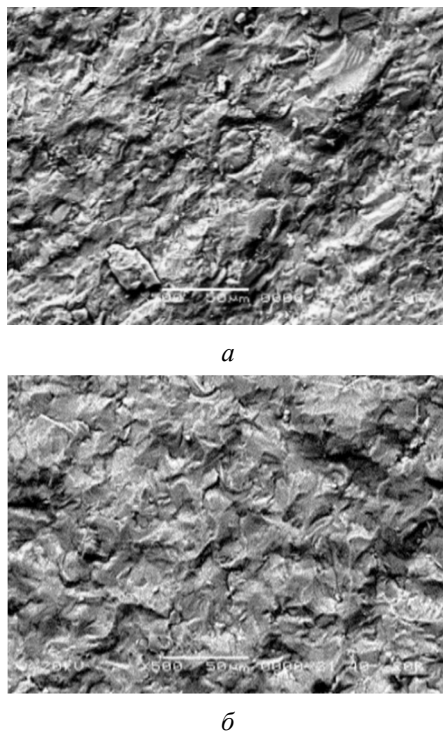


Рис. 7. Электронно-микроскопическое изображение поверхности сколов образцов петроситалла (а) и каменного литья (б) ($\times 500$)

Структура образца каменного литья (рис. 7, б) почти не отличается от структуры петроситалла, отмечено лишь менее выраженное наличие центров кристаллизации, а также некоторое укрупнение кристаллических образований.

Технологические характеристики и свойства петроситалла и каменного литья, полученных на основе стекла ГЛС, приведены в табл. 4.

Данные по определению основных критериевых свойств полученных материалов свидетельствуют о высокой износостойкости и химической устойчивости как петроситалла, так и каменного литья.

Заключение. Результаты исследования возможности использования вскрышных пород Новодворского месторождения (Пинский район Брестской области) – базальтов и туфов – показали перспективность и целесообразность их применения для получения стеклокерамических материалов. Разработаны составы сырьевых композиций в системе «глауконитсодержащая порода – доломит – глинозем – кальцинированная сода», оптимизированы пределы массового количества сырьевых компонентов шихты и основных оксидов в стеклах. Установлено, что главным критериевым фактором получения качественных стекол является рациональное сочетание тугоплавких и легкоплавких оксидов, что обеспечивает однородность стекол, требуемую выработочную вязкость, способность формоваться различными способами, отсутствие склонности к кристаллизации, черный цвет в массе, а также комплекс удовлетворительных физико-химических свойств.

Подтверждена целесообразность использования вскрышных глауконитсодержащих пород разведанного Новодворского месторождения для получения петроситалла и каменного литья пироксенового состава. Установлено, что по геологической позиции, химическому, минеральному составу и технологическим характеристикам глауконитсодержащие вскрышные породы являются приемлемым отечественным сырьем для получения стеклокерамических материалов.

Таблица 4

Технологические характеристики и свойства петроситалла и каменного литья

Условия получения петроситалла и каменного литья и их свойства	Опытные образцы	
	петроситалл	каменное литье
Условия термической обработки стекла:		
– режим термообработки	Двухстадийный	Двухстадийный
– температура первой стадии, °С	710	710
– скорость подъема температуры, °С/ч	240	–
– выдержка, мин	60	20
– температура второй стадии, °С	920–940	920
– скорость подъема температуры, °С/ч	240	400
– выдержка, мин	60	20
Размер кристаллов, мкм:		
– петроситалл	Менее 10	–
– каменное литье	–	10–30
Физико-химические свойства:		
– плотность, кг/м ³	2800–3000	3100–3300
– микротвердость, МПа	8100–8120	8780–8800
– износостойкость, г/см ²	0,02–0,03	0,01–0,02
– химическая устойчивость, %:		
к кислотам	99,3–99,5	99,3–99,8
щелочам	97,3–97,5	97,1–97,7

Полученные результаты представляют интерес для предприятий горнодобывающей промышленности, металлургической и машиностроительной отрасли, промышленности строительных материалов. Использование вскрышных глауконитсодержащих

песков, алевритов и алевролитов, которые могут стать отходами при организации промышленной добычи базальтов и туфов Новодворского месторождения, будет способствовать также снижению региональной экологической напряженности.

Список литературы

1. Глауконитсодержащие породы поискового участка Пинский (Беларусь) / О. Ф. Кузьменкова [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования. Минск: СтройМедиаПроект, 2017. С. 172–176.
2. Аппен А. А. Химия стекла. Л.: Химия, 1970. 350 с.
3. Белов Н. В. Кристаллохимия силикатов с крупными катионами. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. 68 с.
4. Жунина Л. А., Кузьменков М. И., Яглов В. Н. Пироксеновые ситаллы. Минск: БГУ, 1974. 222 с.
5. Баранцева С. Е. Синтез и исследование пироксенового шлакоситалла на основе доменного шлака: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1972. 36 с.
6. Павлушкин Н. М. Основы технологии ситаллов. М.: Изд-во литературы по строительству, 1970. 352 с.
7. Макмиллан П. У. Стеклокерамика. М.: Мир, 1967. 263 с.
8. Хан Б. Х. Проблемы производства и использования каменного литья в народном хозяйстве // Проблемы каменного литья: сб. ст. 1975. Вып. 3. С. 3–22.
9. Экспериментальная и техническая петрология / А. М. Батанова [и др.]. М.: Научный мир, 2000. 415 с.
10. Батти Х., Принг А. Минералогия для студентов. М.: Мир, 2001. 429 с.
11. Торопов Н. А., Булак Л. Н. Кристаллография и минералогия. Л.: Стройиздат, 1972. 503 с.
12. Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы: в 5 т. М.: Мир. Т. 2. 1965. С. 9, 52; Т. 5. 1966. С. 69, 148.
13. Саркисов П. Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1997. 218 с.
14. Использование магматических пород Республики Беларусь для синтеза стекол, петроситаллов и каменного литья / С. Е. Баранцева [и др.] // Стекло и керамика. 2019. № 7. С. 31–36.
15. Перспективы использования диабазов кристаллического фундамента Беларуси для получения силикатных материалов / С. Е. Баранцева [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2020. Т. 56, № 1. С. 114–124.

References

1. Kuzmenkova O. F., Streltsova G. D., Minenkova T. M., Lappo G. A., Kachanko G. B., Laptsevich A. G., Lugin A. G., Mankevich S. S. Glauconite-bearing rocks of the Pinskiy prospecting site (Belarus). *Geologiya i mineral'no-syr'yevyye resursy zapada Vostochno-Evropeyskoy platformy: problemy izucheniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Geology and mineral resources of the west of the East European platform: problems of study and rational use]. Minsk, SroyMediaProekt Publ., 2017, pp. 172–176 (In Russian).
2. Appen A. A. *Khimiya stekla* [Chemistry of glass]. Leningrad, Khimiya Publ., 1970. 350 p. (In Russian).
3. Belov N. V. *Kristallokhimiya silikatov s krupnymi kationami* [Crystal chemistry of silicates with large cations]. Moscow, Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR Publ., 1961. 68 p. (In Russian).
4. Zhunina L. A., Kuzmenkov M. I., Yaglov V. N. *Piroksenovyie sitally* [Pyroxene glass-ceramics]. Minsk, BGU Publ., 1974. 222 p. (In Russian).
5. Barantseva S. E. *Sintez i issledovaniye piroksenovogo shlakositalla na osnove domennogo shlaka. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Synthesis and study of pyroxene slag-ceramic based on blast-furnace slag. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 1972. 36 p. (In Russian).
6. Pavlushkin N. M. *Osnovy tekhnologii sitallov* [Fundamentals of glass-ceramic technology]. Moscow, Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu Publ., 1970. 352 p. (In Russian).
7. Makmillan P. U. *Steklokeramika* [Glass ceramics]. Moscow, Mir Publ., 1967. 263 p. (In Russian).
8. Khan B. Kh. Problems of production and use of stone casting in the national economy. *Problemy kamennogo lit'ya* [Problems of stone casting: a collection of articles], 1975, issue 3, pp. 3–22 (In Russian).
9. Batanova A. M., Gramenitsky E. N., Kotelnikov A. R., Plechov P. Yu., Shchekina T. I. *Eksperimental'naya i tekhnicheskaya petrologiya* [Experimental and technical petrology]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2000. 415 p. (In Russian).
10. Batti Kh., Pring A. *Mineralogiya dlya studentov* [Mineralogy for students]. Moscow, Mir Publ., 2001. 429 p. (In Russian).

11. Toropov N. A., Bulak L. N. *Kristallografiya i mineralogiya* [Crystallography and mineralogy]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1972. 503 p. (In Russian).

12. Dir U. A., Haur R. A., Zusman Dzh. *Porodoobrazuyushchiye mineraly: v 5 t.* [Rock-forming mineral: in 5 vol.]. Moscow, Mir Publ. Vol. 2. 1965. P. 9, 52; 1966. Vol. 2. P. 69, 148 (In Russian).

13. Sarkisov P. D. *Napravlenneya kristallizatsiya stekla – osnova polucheniya mnogofunktional'nykh steklokristallicheskikh materialov* [Directed crystallization of glass as a basis for obtaining multifunctional glass-ceramic materials]. Moscow, RKhTU im. D. I. Mendeleeva Publ., 1997. 218 p. (In Russian).

14. Barantseva S. E., Poznyak A. I., Klimosh Yu. A., Gundilovich N. N. Use of igneous rocks of the Republic of Belarus for the synthesis of glasses, petrosittals and stone casting. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics], 2019, no. 7, pp. 31–36 (In Russian).

15. Barantseva S. E., Klimosh Yu. A., Gundilovich N. N., Poznyak A. I., Tolkachikova A. A., Taran L. N. Prospects for the use of diabases of the crystalline basement of Belarus for the production of silicate materials. *Vesti Natsional'nay akademii navyk Belarusi* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus], Chemical Sciences Series, 2020, vol. 56, no. 1, pp. 114–124 (In Russian).

Информация об авторах

Баранцева Светлана Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры технологии стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: svetbar@tut.by

Климош Юрий Александрович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Химическая технология и техника». Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: klim-aspir@mail.ru

Гундилович Николай Николаевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kolgund@mail.ru

Азаренко Ирина Михайловна – младший научный сотрудник кафедры технологии стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ir_az@mail.ru

Поспелов Андрей Владимирович – младший научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Andrei29088@mail.ru

Курилович Мария Андреевна – стажер младшего научного сотрудника кафедры технологии стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kurillovich.maria@gmail.com

Information about the authors

Barantseva Svetlana Evgen'yevna – PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher, the Department of Glass and Ceramics Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svetbar@tut.by

Klimosh Yuriy Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Dean of the Faculty of Chemical Technology and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klim-aspir@mail.ru

Hundzilovich Mikalai Mikalaevich – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Glass and Ceramics Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kolgund@mail.ru

Azarenko Irina Mikhaylovna – Junior Researcher, the Department of Glass and Ceramics Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ir_az@mail.ru

Pospelov Andrey Vladimirovich – Junior Researcher, the Center for Physical and Chemical Research Methods. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Andrei29088@mail.ru

Kurilovich Mariya Andreevna – Trainee of Junior Researcher, the Department of Glass and Ceramics Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kurillovich.maria@gmail.com

Поступила 03.11.2022