УДК 666.712;666.5

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133

*В.И. ВЕРЕЩАГИН¹, Н.В. МОГИЛЕВСКАЯ², Т.В. САФОНОВА³,**¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,**²Сибирский федеральный университет,**³Филиал Иркутского государственного технического университета
в г. Усолье-Сибирском*

СПЕКАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ И ФАЯНСА ИЗ КОМПОЗИЦИЙ ГЛИНИСТОГО И ДИОПСИДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Приведены обобщенные результаты исследования влияния добавок природного диопсидсодержащего сырья на спекание и прочность стеновой керамики на основе легкоплавких глин и суглинков, фаянса на основе каолина и тугоплавкой глины. Определены физико-механические свойства керамических материалов после обжига в зависимости от содержания диопсида. Установлено, что в зависимости от содержания и введения глинистых минералов можно применять как грубодисперсное (0,5–1 мм), так и тонкодисперсное (0,06 мм, доминирующие размеры частиц 0,01–0,015 мм) диопсидовое сырье. При этом для суглинков с содержанием глинистых минералов менее 10 % масс. эффективны добавки высокодисперсного диопсидового сырья, что обеспечивает спекание керамики при температуре 1000–1100 °С и увеличение прочности в 1,5–2 раза. Введение добавок дисперсного диопсида в фаянсовую массу снижает температуру обжига с 1250 до 1150 °С с одновременным увеличением прочности.

Ключевые слова: суглинок; глина; монтмориллонит; гидрослюда; каолинит; диопсид; стеновая керамика; фаянс; водопоглощение; прочность.

Для цитирования: Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 122–133.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133

*V.I. VERESHCHAGIN¹, N.V. MOGILEVSKAYA², T.V. SAFONOVA³,**¹National Research Tomsk Polytechnic University,**²Siberian Federal University,**³Usolye-Sibirskoye Affiliate of National Research Irkutsk
State Technical University*

SINTERING AND DURABILITY OF CLAY- AND DIOPSIDE- CONTAINING CERAMIC AND FAIENCE WALL MATERIALS

The paper summarizes the research results of sintering and durability of wall ceramic materials modified by diopside-containing raw products and based on low-melting-point clays and loams, and kaolin- and high-melting-point clay faience. Mechanical-and-physical properties of ceramic materials are identified and studied after annealing, depending on the diopside content. It is shown that depending on the content and introduction of clay minerals in the ceramic mixture, both coarse (0.5–1 mm) and fine (0.06 mm, dominating particle size of 0.01–0.015 mm) dispersed diopside particles can be used. It is found that for loams with the clay mineral content of less than 10 wt.%, the addition of finely-dispersed diopside particles is more efficient. The latter

provides ceramic sintering at 1000–1100 °C and increases its strength by 1.5–2 times. The introduction of dispersion diopside particles in the faience mixture lowers the annealing temperature from 1250 to 1150 °C with a simultaneous increase in its strength.

Keywords: loam; clay; montmorillonite; illite; kaolin; diopside; wall ceramic material; faience; water absorption; strength.

For citation: Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Safonova T.V. *Spekanie i prochnost' stenovoi keramiki i fayansa iz kompozitsii glinistogo i diopsid-soderzhashchego syr'ya* [Sintering and durability of clay- and diopside-containing ceramic and faience wall materials]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 122–133.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133

Эффективность добавок диопсида в количестве 20–25 % в фарфоровые массы установлена на синтетическом диопсиде еще в 1978 г. в бывшей ГДР [1]. С 1985 г. по настоящее время на кафедре технологии силикатов и наноматериалов Томского политехнического университета активно ведутся исследования по использованию диопсидсодержащих пород в технологии силикатных материалов [2]. Исследованы железосодержащие диопсидовые породы Алданского месторождения и маложелезистые диопсидовые породы Южного Прибайкалья [3–5].

Маложелезистые диопсидовые породы исследовались в первую очередь как основной компонент для изготовления керамических диэлектриков и в качестве добавок в керамическую плитку и шихты глазурей и фарфора. Железосодержащие диопсидиты исследовались в качестве сырья для всех видов керамических облицовочных плиток как альтернатива волластонитовым породам, а также в качестве монокомпонента при получении минеральной ваты. В меньшей степени диопсидовые породы исследованы в качестве добавок в глиносодержащие массы для изготовления керамического кирпича и фаянса.

В настоящей статье рассматриваются результаты исследований по влиянию добавок природного диопсида на спекание и прочность стеновой керамики и фаянса с учетом видов и количества глинистых минералов, дисперсности и количества добавок диопсидовой породы.

В работе использовались железистые диопсиды Алданского месторождения и маложелезистые диопсидовые породы Южного Прибайкалья. Химический состав диопсидного сырья приведен в табл. 1.

Основным минералом маложелезистой породы Слюдянского месторождения является диопсид (75–85 % масс.). Примесными минералами являются кварц и кальцит. Особенностью диопсидовых пород Южного Прибайкалья является малое содержание оксидов железа – 0,1 % масс. [5]. В композициях с глинами использован верхний слой диопсидовой породы Бурутуйского участка Слюдянского месторождения с содержанием Fe_2O_3 1,6 % масс.

Минеральный состав используемой алданской диопсидовой породы включает: диопсид – 75 % масс., скалонит – 17 % масс., флогонит – не более 3 % масс. и 0,5 % масс. примеси других минералов. Отличительной особенностью алданских пород является меньшее содержание диопсида (70–75 % масс.) и повышение содержания оксидов железа (4–6 % масс.) [Там же].

Таблица 1

Химический состав диопсидового сырья

Наименование сырья	Содержание оксидов, масс. %								$\Delta m_{\text{пр}}$
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
Маложелезистая диопсидовая порода (Слюдянское месторождение, Бурутуйский участок)	54,34	0,635	0,15	1,61	18,58	23,89	0,12	0,11	0,74
Железистая диопсидная порода Алданского месторождения	48,62	5,34	0,81	5,26	14,62	24,23	0,14	0,12	0,86

Для исследования выбраны две группы глинистого сырья – пластичные глины с содержанием глинистых минералов 45–50 % масс. (число пластичности 23–24) и малопластичные суглинки с содержанием глинистых минералов 7–10 % масс. (число пластичности 10–12). Пластичные глины представляют глинистое сырье Хакасии. Суглинки представлены глинистым сырьем Иркутской области. Химический состав глинистого сырья приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав глинистого сырья

Наименование сырья	Содержание оксидов, масс. %								$\Delta m_{\text{пр}}$
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
Глина белоярская (Хакасия)	58,04	12,16	0,20	7,86	3,95	5,86	0,44	0,26	11,23
Глина изыхская (Хакасия)	61,86	16,45	0,35	4,76	1,67	4,82	0,43	0,32	9,34
Суглинок тимлюйский*	60,50	17,15	0,99	7,07	2,80	2,71	2,63	2,33	3,82
Суглинок олонский*	56,12	14,70	0,80	5,91	2,71	8,40	1,43	1,95	7,98
Суглинок мальтинский*	53,99	13,33	0,87	6,35	6,56	8,53	1,41	1,67	7,29
Суглинок максимовский*	57,75	15,95	0,92	7,12	3,14	4,95	1,65	1,91	6,61

* Суглинки Иркутской области.

Минеральный состав суглинков приведен в табл. 3. Непластичные минералы представлены, главным образом, кварцем и полевыми шпатами, в не-

больших количествах присутствуют гематит, кальцит и вермикулит. Количество непластичных минералов в суглинках 90 ± 1 %.

Глинистые минералы в суглинках представлены каолинитом, гидрослюдами и монтмориллонитом.

Таблица 3

**Минеральный состав суглинков Иркутской области
по данным термического и рентгенофазового анализа**

Наименование сырья	Кварц	Альбит	Микроклин	Ортоклаз	Плагиоклаз	Гематит	Кальцит	Каолинит	Гидрослюда	Монтмориллонит
Тимлюйский суглинок	+	–	–	–	+	+	–	+	+	+
Олонский суглинок	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Мальтинский суглинок	+	+	+	–	–	+	+	+	+	+
Максимовский суглинок	+	+	+	+	–	+	–	+	+	–

Содержание оксидов железа для глин и суглинков находится в одних границах 5,0–8,0 % масс. Природа и количество глинистых минералов и число пластичности сырья приведены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание глинистых минералов и пластичность глинистого сырья

Наименование сырья	Содержание глинистой составляющей в породах (фракция < 0,001 мм), масс. %	Глинистые минералы (по уменьшению содержания)	Число пластичности
Глина белоярская	45,05	Каолинит, монтмориллонит	24
Глина изыхская	47,10	Каолинит, монтмориллонит	22
Суглинок тимлюйский	7,35	Гидрослюда, каолинит	9
Суглинок олонский	11,60	Гидрослюда, монтмориллонит	12
Суглинок мальтинский	9,35	Гидрослюда, каолинит, монтмориллонит	10
Суглинок максимовский	9,00	Каолинит, гидрослюда	10

По числу пластичности глины пригодны для изготовления керамического кирпича с использованием метода пластического формования, а суглинки – методом полусухого прессования. Влияние добавок грубодисперсных диоп-

сидовых пород размером частиц 0,5–1,0 мм исследовалось на пластичном глинистом сырье. В суглинки добавляли диопсидовые породы в тонкодисперсном состоянии ($> 0,06$ мм). В первом случае использовались диопсидовые породы Алданского и Слюдянского месторождений, во втором – диопсидовые породы Слюдянского месторождения. В исследованиях фаянсовых масс использовались слюдянские диопсидовые породы с содержанием оксидов железа менее 0,1 % по массе.

Добавки диопсидовых пород дисперсностью 0,5–1,0 мм в пластичные легкоплавкие глины в количестве 10 % приводят к увеличению прочности при сжатии более чем на 10 МПа обожженных образцов, при этом уменьшается усадка и водопоглощение. Результаты исследований приведены в табл. 5. Промышленное использование диопсидовых пород на кирпичных заводах Иркутской области подтвердило увеличение марки кирпича и снижение брака при сушке при количестве добавок 10 %.

Таблица 5

**Свойства образцов строительной керамики из пластичных глин
без добавок и с добавками диопсида после обжига при 1000 °С**

Характеристики	Белоярская глина			Изымская глина		
	Добавка диопсида, % масс.			Добавка диопсида, % масс.		
	0	10	25	0	10	25
Водопоглощение, %	14,2	13,1	12,3	14,8	13,7	12,8
Прочность при сжатии, МПа	25	36	44	22	31	39
Усадка, %	2,0	1,2	0,7	10	0,6	0,2

Исследования показали, что добавки диопсидовой породы с размером частиц более 0,1 мм в малопластичные суглинки ухудшают спекаемость изделий стеновой керамики [6]. При этом увеличивается водопоглощение и снижается прочность изделий, т. к. уменьшается глинистая компонента массы, а взаимодействие грубодисперсного диопсида с продуктами дегидратации глины не обеспечивает преодоления негативного фактора уменьшения глинистых минералов. Эффект добавок диопсида на спекания суглинков проявляется при дисперсности 15–20 мкм [14, 15].

Установлено, что действие дисперсного диопсида (доминирующий размер частиц 15 мкм) при обжиге суглинков (950–1100) °С определяется двумя факторами: содержанием глинистых минералов в суглинке (рис. 1) и долей (содержанием монтмориллонита) в глинистой части суглинка (табл. 5).

Количество добавок диопсида составляет 40–50 % от содержания глинистых минералов в суглинках, т. е. от 3 до 6 % масс. в шихте, при этом прочность увеличивается в 1,5–2 раза при одинаковых температурах обжига с образцами керамики без добавок (табл. 6). Прирост прочности от добавок диопсида не наблюдается при отсутствии монтмориллонита в суглинке (максимовский). С увеличением относительного содержания монтмориллонита в глинистой составляющей суглинка коэффициент прироста прочности увеличивается (табл. 6).

Рис. 1. Прочность при сжатии керамических материалов на основе легкоплавких суглинков с различным содержанием глинистых минералов без добавок и с добавками диопсида:

1 – тимлюйский ($t_{\text{обж}}$ 1050 °С); 2 – максимовский ($t_{\text{обж}}$ 1100 °С); 3 – мальтинский ($t_{\text{обж}}$ 1000 °С); 4 – олонский ($t_{\text{обж}}$ 950 °С); □ – массы с диопсидом; ■ – массы без добавок

Таблица 6

Прочность при сжатии образцов керамики на основе суглинков с различным содержанием монтмориллонита и добавками диопсида

Суглинок	Относительное содержание монтмориллонита в глинистой составляющей суглинка (общее содержание равно 1,0)	Прочность обожженных образцов без диопсида, МПа	Прочность образцов с добавками диопсида, МПа	Коэффициент увеличения прочности
Тимлюйский	0,05	17	25,5	1,5
Олонский	0,16	20	34	1,7
Мальтинский	0,43	17	34	2,0
Максимовский	–	22	23	1,0

Прочность при сжатии достигает значений 23–34 МПа в зависимости от содержания глинистых минералов в суглинках и относительного содержания монтмориллонита [14]. Высокая дисперсность диопсида 60 мкм (частицы размерами 10–15 мкм составляют 75 ± 5 % масс.) создает условия взаимодействия его с продуктами разложения глинистых минералов (монтмориллонит, гидрослюда).

Упрочняющее действие диопсида в композициях с глинистыми минералами при обжиге до температур 900–1050 °С определяется взаимодействием дисперсного диопсида с продуктами разложения глинистых минералов [7, 14].

В силу своего неоднородного состава и наличия примесных элементов в структуре монтмориллонит является наиболее легкоплавким глинистым минералом и в большей степени активным при обжиге по сравнению с остальными. До 600 °С монтмориллонит остается неизменным [8]. При повышении температуры до 800 °С его структурная решетка расширяется, при температурах от 850 °С она разрушается, и образуется алюмокремниевая шпинель:

Монтмориллонит полностью разлагается при 800–850 °С. Развивающиеся высокотемпературные фазы различны для монтмориллонитов, что объясняется колебанием химического состава и характера структур в пределах этой группы. В зависимости от природы и количества примесей в минералах монтмориллонитовой группы при их обжиге может протекать синтез кордиерита или анортита с участием диопсида. Характер взаимной упорядоченности алюмосиликатных слоёв и наличие в их структуре монтмориллонита изоморфных примесей предопределяют протекание реакции в твёрдой фазе уже при температурах его разложения [15].

В исследованных пластичных глинах содержание глинистых минералов составляет 45–47 % масс. (см. табл. 4), они выполняют роль пластичной матрицы и обеспечивают прочность керамики после обжига. При добавках диопсида дисперсностью 0,5–1,0 мм в количестве 10–25 % масс. (рис. 2, а) глинистая составляющая сохраняет роль пластичной матрицы, что позволяет применять метод пластичного формования изделий. При этом добавки диопсида уменьшают количество глинистой составляющей в пластичной массе, что приводит к снижению чувствительности при сушке и уменьшению усадки при обжиге. В процессе обжига происходит взаимодействие продуктов разложения глинистых минералов с поверхностью частиц диопсида. Уменьшение количества глинистой матрицы и твердофазовое взаимодействие продуктов разложения глинистых минералов с частицами диопсида обеспечивают повышение прочности стеновой керамики более чем на 10 МПа (см. табл. 5).

Рис. 2. Модели распределения частиц кварца и диопсида в пластичных глинах (а) и су-глинках (б, в):

- – песчаные частицы кварца (SiO_2); ○ – пылеватые частицы кварца (SiO_2);
- – частицы диопсида (CaMgS_2O_6); ▨ – глинистая матрица (а), глиньсвязка (б, в)

Добавка диопсидового компонента в пластичные глины в количестве 30 % масс. и более приводит к уменьшению пластичности масс и к необходимости полусухого прессования изделий, что было реализовано в технологии керамических облицовочных плиток [5].

В исследованных суглинках количество глинистых минералов составляет 7–11 % масс. (см. табл. 4), что не обеспечивает достижения необходимого водопоглощения стеновой керамики (менее 14 %) при полусухом способе формования. Это связано с тем, что глинистых минералов недостаточно для связывания песчаных и пылеватых частиц кварца (рис. 2, б). Добавки диопсида дисперсностью 0,5–1,0 мм только ухудшают все характеристики стеновой керамики из суглинков. Использование диопсида после измельчения до дисперсности 60 мкм (доминирующие размеры частиц 15 мкм) при количествах добавок 3–6 % обеспечивает увеличение прочности керамики в 1,5–2,5 раза по сравнению с прочностью керамики без добавок. При этом количество дисперсного диопсида составляет 40–45 % от общего содержания глинистых минералов. Количество комбинированной связки «глинистые минералы – диопсид» достигает 13,5–15,5 % (рис. 2, в), что оказалось достаточным для получения высокомарочного кирпича из суглинков при полусухом прессовании изделий.

Влияние добавок диопсида (60 мкм) исследовалось при спекании керамических масс для санитарно-технического фаянса [16]. Компонентные составы масс представлены в табл. 7. Количество глинистых минералов составляет 50 % масс.

Таблица 7

Компонентный состав фаянсовых масс

Компонент	Масса без диопсида, ФЭ	Масса с диопсидом, ФД
Каолин просяновский	36	36
Глина веселовская	14	14
Кварцевый песок глуховецкий	28	20
Полевой шпат чупинский	20	20
Глинозем	2	–
Диопсидовый концентрат	–	10

Массы готовились совместным мокрым помолом компонентов шихты до прохождения через сито № 0,06 (60 мкм) с доведением влажности до пластичного состояния масс в гипсовых ёмкостях. Распределение частиц непластичных компонентов в глинистой матрице соответствует модели рис. 2, а. Результаты экспериментальных исследований усадки при спекании фаянсовых масс при пластичном формовании изделий приведены на рис. 3.

Сравнительный анализ кривых усадки при обжиге образцов исследуемых масс показывает (рис. 3), что общая усадка образцов всех исследуемых масс одинакова и составляет 16,5 %. Интенсивная усадка эталонной массы начинается с 1100 °С. При введении диопсидового компонента в массу усадка начинается с 980 и заканчивается при 1100 °С.

Рис. 3. Изменение усадки образцов фаянса после обжига при различных температурах до 1200 °C:

1 – исходная масса (ФЭ); 2 – масса с диоксидом (ФД)

Активное спекание фаянсовых масс с температуры 980 °C обеспечивает снижение водопоглощения до значений, близких к нулевому, уже при обжиге 1150 °C (рис. 4).

Рис. 4. Изменение водопоглощения образцов фаянса после обжига при различных температурах до 1200 °C:

1 – исходная масса (ФЭ); 2 – масса с диоксидом (ФД)

Свойства фаянса после обжига при 1150 °C приведены в табл. 8.

При использовании диоксидового концентрата в количестве 10 % масс. температура спекания фаянсовых масс по сравнению с эталонной массой снижается на 100–150 °C.

Таблица 8

**Свойства фаянсовых изделий без добавок и при введении диопсида
после обжига при 1150 °С**

Характеристики	Керамика из массы без диопсида, ФЭ	Керамика из массы с диопсидом, ФД
Водопоглощение, %	7,0	0,5
Прочность при сжа- тии, МПа	16	34
Усадка, %	4,3	14

Анализ результатов исследований показывает, что диопсид с содержанием примесей железа можно использовать в шихтах для производства строительного кирпича. В зависимости от пластичности глинистого компонента в данных массах диопсид вводится различных фракций. В массы, где число пластичности глинистого сырья 9–12, целесообразно вводить мелкодисперсный диопсид с размером частиц менее 0,06 мм (доминирующий размер 0,015 мм). Для глин с числом пластичности более 20 целесообразно добавлять грубодисперсный диопсид с размером 0,5–1 мм. Для снижения температуры спекания изделий санитарно-технического фаянса рекомендуется использовать диопсидовое сырье с содержанием оксидов железа менее 1,0 % масс. при совместном мокром помоле компонентов шихты до дисперсности непластичных компонентов 0,06 мм (60 мкм). Количество диопсидового компонента в шихте достаточно 10 % по массе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kurzyk N.G. Diopsid and Wollastonit – synthetische Rohstoffe für die Kermik. Anwendung von synthetischen Erdalkalisilicaten in keramischen Massen // Ber.Deutsche Keram.Ges. 1978. V. 55. № 5. S. 262–265.
2. Верещагин В.И., Козик В.В., Сырямкин В.И., Погребенков В.М., Борило Л.П. Полифункциональные неорганические материалы на основе природных и искусственных соединений / под ред. В.И. Верещагина. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. 359 с.
3. Верещагин В.И., Резницкий Л.З., Васильев Е.П., Алексеев Ю.И. Диопсидные породы – сырье многоцелевого назначения // Стекло и керамика. 1989. № 1. С. 37–38.
4. Резницкий Л.З., Вишняков В.Н., Васильев В.П. и др. Безжелезистые диопсидные породы – новый вид минерального сырья // ДАН СССР. 1968. Т. 303. № 6. С. 1434–1437.
5. Верещагин В.И. и др. Диопсидовые породы – универсальное сырье для производства керамических и других силикатных материалов // Керамическая промышленность. Серия 5. Аналитический обзор. ВНИИЭСМ, 1991. 60 с.
6. Верещагин В.И., Шильцына А.Д., Селиванов Ю.М. Моделирование структуры и оценка прочности строительной керамики из грубодисперсных масс // Строительные материалы. 2007. № 6. С. 65–61.
7. Вакалова Т.В. Погребенков В.М. Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 45–50.
8. Августинник А.И. Керамика. Ленинград : Стройиздат, 1975. 959 с.
9. Масленникова, Г.Н., Конешева Т.И. Действие минерализаторов на спекание фарфоровых масс // Стекло и керамика. 1987. № 4. С. 13–15.
10. Масленникова Г.Н. Физико-химические процессы образования структуры фарфора // Химия и технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Ленинград : Наука, 1989. С. 202–215.

11. Масленникова Г.Н., Платов Ю.Т. Процесс образования фарфора в присутствии добавок // Стекло и керамика. 1998. № 2. С. 19–24.
12. Энциклопедия неорганических материалов. Т. 1 / под ред. И.Н. Федорченко, главная редакция УСЭ. 1977. С. 776–777.
13. Справочник по производству строительной керамики / под ред. М.О. Юшкевича. – Москва : Стройиздат, 1961. Т. 1. 464 с.
14. Сафонова Т.В., Верецагин В.И., Баяндина Е.В. Строительная керамика на основе композиций низко- и среднепластичного глинистого и диопсидового сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 3. С. 154–182.
15. Сафонова Т.В., Зыкова Ю.А. Физико-химические процессы взаимодействия диопсида с полиминеральным малопластичным глинистым сырьем // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 10. С. 188–194.
16. Верецагин В.И., Могилевская Н.В., Горбачев Д.В. Фарфор низкотемпературного обжига с добавками диопсида и маршалита // Стекло и керамика. 2012. № 12. С. 12–16.

REFERENCES

1. Kurzyk N.G. Diopsid and Wollastonit – synthetische Rohstoffe für die Kermik. Anwendung von synthetischen Erdalkalisilicaten in keramischen Massen. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*. 1978. V. 55. No. 5. Pp. 262–265.
2. Vereshchagin V.I., Kozik V.V., Syryamkin V.I., Pogrebenkov V.M., Borilo L.P. Polifunktsional'nye neorganicheskie materialy na osnove prirodnnykh i iskusstvennykh soedinenii [Multifunctional inorganic materials based on natural and artificial compounds], V.I. Vereshchagin, Ed. Tomsk: TSU, 2002. 359 p. (rus)
3. Vereshchagin V.I., Reznitskii L.Z., Vasil'ev E.P., Alekseev Yu.I. Diopsidnye porody – syr'e mnogotselevogo naznacheniya [Diopside rocks as multi-purpose raw materials]. *Steklo i keramika*. 1989. No. 1. Pp. 37–38. (rus)
4. Reznitskii L.Z., Vishnyakov V.N., Vasil'ev V.P., et al. Bezzhelezistye diopsidnye porody – novyi vid mineral'nogo syr'ya [Iron-free diopside rocks, a new type of mineral raw material]. *DAN SSSR*. 1968. V. 303. No. 6. Pp. 1434–1437. (rus)
5. Vereshchagin V.I., et al. Diopsidovye porody – universal'noe syr'e dlya proizvodstva keramicheskikh i drugikh silikatnykh materialov [Diopside rocks as universal raw material for ceramic and other silicate material production]. *Keramicheskaya promyshlennost'. Seriya 5. Analiticheskii obzor*. VNIIESM, 1991. 60 p. (rus)
6. Vereshchagin V.I., Shil'tsyna A.D., Selivanov Yu.M. Modelirovanie struktury i otsenka prochnosti stroitel'noi keramiki iz grubodispersnykh mass [Structural modeling and strength assessment of building ceramics with coarse particles]. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 6. Pp. 65–61. (rus)
7. Vakalova T.V., Pogrebenkov V.M. Ratsional'noe ispol'zovanie prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya v keramicheskikh tekhnologiyakh [Rational use of natural and man-made raw materials in ceramic technologies]. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 4. Pp. 45–50. (rus)
8. Avgustinnik A.I. *Keramika* [Ceramics]. Leningrad: Stroizdat, 1975. 959 p. (rus)
9. Maslennikova, G.N., Konesheva T.I. Deistvie mineralizatorov na spekanie farforovykh mass [The effect of mineralizers on sintering porcelain mixtures]. *Steklo i keramika*. 1987. No. 4. Pp. 13–15. (rus)
10. Maslennikova G.N. Fiziko-khimicheskie protsessy obrazovaniya struktury farfora [Physicochemical processes of porcelain structure formation]. In: *Khimiya i tekhnologiya silikatnykh i tugoplavkikh nemetallicheskh materialov* [Chemistry and technology of silicate and refractory non-metallic materials]. Leningrad: Nauka, 1989. Pp. 202–215. (rus)
11. Maslennikova G.N., Platov Yu.T. Protseess obrazovaniya farfora v prisutstvii dobavok [Porcelain formation in the presence of additives]. *Steklo i keramika*. 1998. No. 2. Pp. 19–24. (rus)
12. Fedorchenko I.N. (Ed.) *Entsiklopediya neorganicheskikh materialov* [Encyclopedia of inorganic materials]. 1977. V. 1. Pp. 776–777. (rus)
13. Yushkevich M.O. (Ed.) *Spravochnik po proizvodstvu stroitel'noi keramiki* [Handbook of building ceramics production]. Moscow: Stroizdat, 1961. V. 1. 464 p. (rus)

14. *Safonova T.V., Vereshchagin V.I., Bayandina E.V.* Stroitel'naya keramika na osnove kompozitsii nizko- i sredneplastichnogo glinistogo i diopsidovogo syr'ya [Building ceramics based on compositions of low- and medium-plastic clay and diopside materials]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 3. Pp. 154–182. (rus)
15. *Safonova T.V., Zyкова Yu.A.* Fiziko-khimicheskie protsessy vzaimodeistviya diopsida s polimineral'nym maloplastichnym glinistym syr'em [Physicochemical processes of interaction between diopside and polymineral low-plastic clay raw materials]. *Vestnik of National Research Irkutsk State Technical University*. 2012. No. 10. Pp. 188–194. (rus)
16. *Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Gorbachev D.V.* Farfor nizkotemperaturnogo obzhiga s dobavkami diopsida i marshalita [Porcelain of low-temperature firing with diopside and marshallite additives]. *Steklo i keramika*. 2012. No. 12. Pp. 12–16. (rus)

Сведения об авторах

Верещагин Владимир Иванович, докт. техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, vver@tpu.ru

Могилевская Наталья Викторовна, канд. техн. наук, доцент, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 79/10, moginatalya@yandex.ru

Сафонова Татьяна Валерьевна, канд. техн. наук, доцент, филиал Иркутского государственного технического университета в г. Усолье-Сибирском, 665470, г. Усолье-Сибирское, ул. Менделеева, 65, Tanya1082@mail.ru

Authors Details

Vladimir I. Vereshchagin, DSc, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, vver@tpu.ru

Natal'ya V. Mogilevskaya, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia; Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, moginatalya@yandex.ru

Tat'yana V. Safonova, PhD, A/Professor, Usolye-Sibirskoye Affiliate of National Research Irkutsk State Technical University, 65, Mendelev Str., 665470, Usolye-Sibirskoye, Russia, Tanya1082@mail.ru