

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

# ТРУДЫ НГАСУ

Т. 20, № 2 (65)

НОВОСИБИРСК 2017

**ТРУДЫ НГАСУ.** – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2017. – Т. 20, № 2 (65). – 160 с.

### **Редакционная коллегия**

**Главный редактор** – д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН  
Ю.Л. Сколубович

**Заместитель главного редактора** – д-р физ.-мат. наук, профессор  
В.Я. Рудяк

### **Заместители главного редактора по направлениям:**

д-р техн. наук, профессор Л.В. Ильина,  
д-р ист. наук, профессор Ю.И. Казанцев,  
д-р техн. наук, профессор В.М. Митасов,  
д-р физ.-мат. наук, профессор М.С. Соппа

**Ученый секретарь:** Е.Ю. Русских

### **Члены редколлегии:**

д-р техн. наук, профессор В.В. Адищев,  
д-р физ.-мат. наук, профессор С.М. Аульченко,  
д-р физ.-мат. наук, профессор Ю.Е. Воскобойников,  
д-р техн. наук, профессор Г.И. Гребенюк,  
д-р техн. наук, профессор В.В. Дегтярёв,  
д-р техн. наук, профессор В.Н. Зырянова,  
д-р техн. наук, профессор Т.В. Федорович,  
д-р техн. наук, профессор В.В. Молодин,  
д-р физ.-мат. наук, профессор Ю.В. Немировский,  
д-р ист. наук, доцент Л.К. Островский,  
д-р архитектуры, профессор А.Г. Туманик

<b>Бартеньева Е.А., Машкин Н.А.</b> Влияние минеральных добавок на свойства неавтоклавного пенобетона .....	74
<b>Столбоушкин А.Ю., Сыромясов В.А., Актс Д.В., Шевченко В.В., Бердов Г.И.</b> Моделирование границы раздела сред в керамических материалах матричной структуры.....	81
<b>Столбоушкин А.Ю., Актс Д.В., Фомина О.А., Сыромясов В.А.</b> Изменение интенсивности окраски декоративных керамических материалов матричной структуры.....	92
<b>Игнатова О.А., Макарова Н.В.</b> Применение водостойкого гипсового вяжущего.....	103
<b>Смирнова О.Е., Бобров Н.С.</b> Применение риск-ориентированного подхода в производстве железобетонных изделий.....	109
<b>Смирнова О.Е., Отточко С.Ю.</b> Возможности изготовления теплоизоляционных материалов на основе органических отходов.....	120
<b>Овчаренко Г.И., Бойков Д.В.</b> Высокоподвижные бетонные смеси в современном строительстве.....	131
<b>Овчаренко Г.И., Садрашева А.О., Викторов А.В.</b> Контактно-конденсационные свойства гидратных фаз цементного камня.....	141

## **АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО**

<b>Гудков А.А., Бухрякова А.В.</b> Сравнительный анализ планировки и застройки городов Крита и материковой части Греции в период расцвета эгейской цивилизации.....	150
---	-----

## **ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОКРАСКИ ДЕКОРАТИВНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МАТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ**

**А.Ю. Столбоушкин<sup>\*</sup>, Д.В. Акст<sup>\*\*</sup>, О.А. Фомина<sup>\*\*\*</sup>,  
В.А. Сыромясов<sup>\*\*\*\*</sup>**

Представлены результаты исследований по влиянию марганецсодержащих отходов на объемное окрашивание стеновой керамики из глинистого сырья в зависимости от способа изготовления изделий. Определена палитра керамических образцов и цветовые коды по аддитивной системе цветопередачи RGB. Выявлено выраженное изменение окраски керамических изделий матричной структуры при введении опудривающей добавки отходов в количестве 5–10 мас. %. Установлено, что формирование керамического матричного композита обеспечивает концентрацию красящего компонента в матрице и исключает его негативное воздействие на спекание глиняных гранул при обжиге.

Ключевые слова: декоративные керамические материалы, матричная структура, объемное окрашивание, марганецсодержащие отходы

Одним из наиболее востребованных строительных материалов, благодаря своей долговечности, экологичности и архитектурной выразительности, является декоративный керамический кирпич [1]. Примером может служить сохранившаяся до наших дней вавилонская башня, облицованная керамическими изразцами более 30 веков назад.

Существует множество различных способов получения «цветной» стеновой керамики, таких как ангобирование, глазурование, снижение температуры и изменение газовой среды об-

---

<sup>\*</sup> Д-р техн. наук, профессор кафедры строительных технологий и материалов СибГИУ (г. Новокузнецк)

<sup>\*\*</sup> Аспирант кафедры строительных технологий и материалов СибГИУ (г. Новокузнецк)

<sup>\*\*\*</sup> Канд. техн. наук, доцент кафедры архитектуры СибГИУ (г. Новокузнецк)

<sup>\*\*\*\*</sup> Аспирант кафедры строительных технологий и материалов СибГИУ, (г. Новокузнецк)

жига и др. [2]. Однако доминирующим среди них является объемное окрашивание изделий. Как правило, это способ с большими финансовыми затратами, поскольку производство концентрированных керамических пигментов связано с высокотемпературным синтезом и необходимостью использовать дорогие высокосортные сырьевые материалы [3]. В этом случае снижение стоимости изделий возможно за счет использования техногенных отходов, содержащих в своем составе красящие оксиды металлов [4].

Цель работы заключалась в исследовании физико-механических свойств и цветовых характеристик стеновых керамических материалов при их объемном окрашивании марганецсодержащими отходами.

Методологически работа выполнялась по аналогии с проведенными исследованиями окрашивания керамики перманганатом калия ( $KMnO_4$ ), опубликованными ранее [5].

В качестве основного сырья использовался умереннопластичный новокузнецкий суглинок каолинит-монтмориллонит-гидрослюдистого типа с низким содержанием крупнозернистых включений. В роли окрашивающей добавки применялись отходы добычи марганцевых руд (ОМР) Селезеньского месторождения Кемеровской области. Химический и гранулометрический составы сырьевых материалов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Сырьевой компонент	Массовая доля компонентов, %									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	CaO	R <sub>2</sub> O	п.п.п.
Суглинок новокузнецкий	62,85	0,85	14,17	4,91	–	0,45	2,38	4,44	3,8	5,4
Отходы добычи марганцевых руд	28,4	–	9,8	–	31,64	–	2,3	0,64	12,3	

Таблица 2

## Гранулометрический состав сырьевых материалов

Сырьевой компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,06	0,06–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
Суглинок новокузнецкий	–	2,6	62,15	4,18	28,17
Отходы добычи марганцевых руд	41,71	36,71	7,5	12,73	1,35

При проведении исследования было приготовлено несколько серий образцов. Первая серия готовилась по технологии пластического формования (рис. 1). Для этого глинистое сырье высушивалось в сушильном шкафу до остаточной влажности 2–3 % и измельчалось на лабораторных бегунах до полного прохождения через сито № 0,63 мм. Отходы обогащения марганцевых руд мололись в стержневой мельнице до тонины помола 0,1–0,2 мм. Измельченные компоненты шихты тщательно перемешивались и увлажнялись до состояния пластичной массы формовочной влажностью 25–27 %. После вылеживания в течение суток из глиняного теста при помощи формовочной рамки формовались образцы-кубы с ребром 45 мм. Образцы сушились при температуре до 105 °С и обжигались в лабораторной муфельной печи по ступенчатому режиму с выдержкой при температуре 1000 °С в течение 1 ч. Результаты испытания физико-механических свойств образцов первой серии представлены на рис. 2 и в табл. 3.

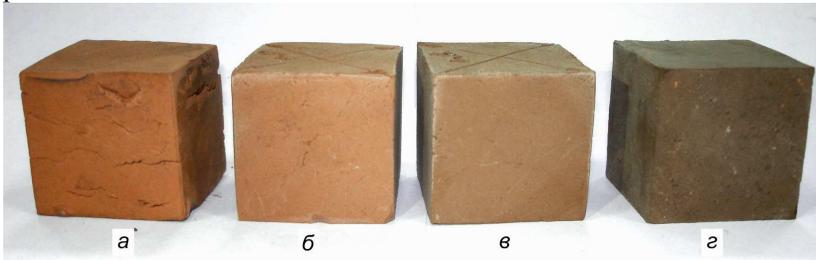


Рис. 1. Внешний вид керамических образцов пластического формования при различном содержании ОМР в составе шихты: а – 0 мас. %; б – 2 мас. %; в – 5 мас. %; г – 10 мас. %

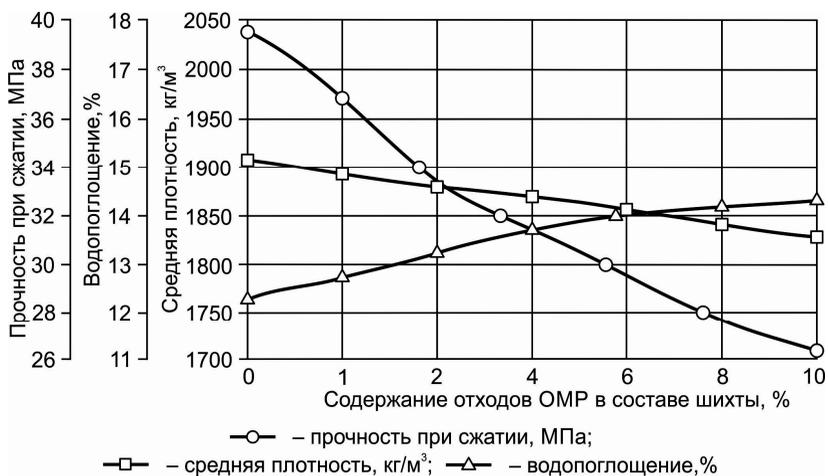


Рис. 2. Зависимость физико-механических свойств образцов первой серии от содержания отходов добычи марганцевых руд в составе шихты

Таблица 3

Физико-механические свойства образцов первой серии

Содержание ОМР в шихте, мас. %	Возд. усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, кг/м³	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	ККК
–	9,8	2,8	1908	39,4	12,3	20,7
2	10,1	2,3	1879	33,6	13,2	17,9
5	9,9	2,4	1861	30,4	13,9	16,3
10	10,9	2,6	1833	26,4	14,3	14,4

Исследование зависимости физико-механических свойств образцов первой серии от количества отходов в составе шихты показало, что увеличение содержания ОМР снижает прочность при сжатии (приблизительно в 1,5 раза при добавке 10 % марганцевых отходов) и увеличивает водопоглощение керамических образцов приблизительно в 1,2 раза, что свидетельствует о нарушении механизмов спекания и прежде всего образования жидкой фазы. Поэтому дальнейшее увеличение количества мар-

ганцевых отходов в составе шихты нецелесообразно, так как приведет к неприемлемому ухудшению физико-механических свойств керамики.

Вторая серия образцов формовалась полусухим способом. Сырьевые компоненты готовились аналогично первой серии. Вода в шихту вводилась из расчета 10 % влажности, при этом для ее выравнивания и гомогенизации смеси материал перетирался через проволочное сито с размером ячейки 1,2 мм. Фактическая влажность пресс-порошков составляла 9–11 %. Прессование образцов-цилиндров диаметром 45 мм и высотой 40–50 мм осуществлялось на лабораторном гидравлическом прессе при давлении 15–17 МПа. Режим прессования двухступенчатый с односторонним приложением нагрузки. Сушка и обжиг проводились по параметрам и режимам, аналогичным первой серии, внешний вид приготовленных образцов показан на рис. 3.

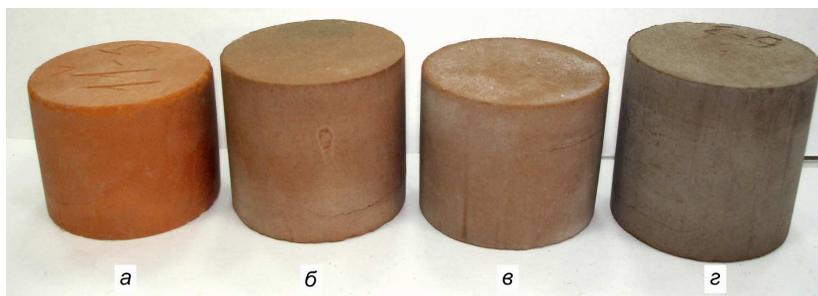


Рис. 3. Внешний вид керамических образцов полусухого прессования при различном содержании ОМР в составе шихты: а – 0 мас. %; б – 2 мас. %; в – 5 мас. %; г – 10 мас. %

Исследование физико-механических свойств образцов второй серии также показало негативное влияние добавки ОМР на их прочность и водопоглощение. В табл. 4 и на рис. 4 приведены соответственно физико-механические свойства и их зависимость от количества красящих отходов в составе шихты.

Таблица 4

## Физико-механические свойства образцов второй серии

Содержание ОМР в шихте, мас. %	Возд. усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	ККК
–	1,4	0,9	1812	28,9	11,1	15,9
2	1,3	0,8	1831	28,7	11,7	15,7
5	1,2	0,6	1844	26,6	14,2	14,4
10	0,9	0,6	1846	22,5	16,0	12,2

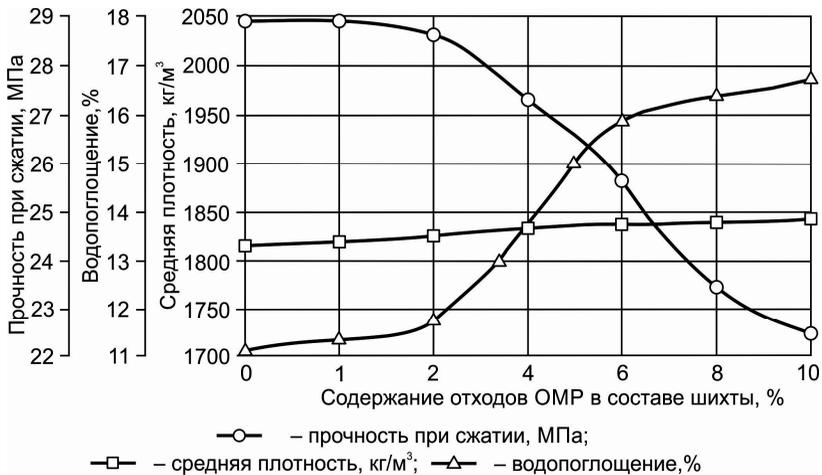


Рис. 4. Зависимость физико-механических свойств образцов второй серии от содержания отходов добычи марганцевых руд в составе шихты

Третья серия образцов была приготовлена по разработанной технологии [6]. Измельченное глинистое сырье агрегировалось в турболопастном смесителе-грануляторе при одновременном увлажнении до формовочной влажности 11–13 %. Угловая скорость вращения лопастной мешалки гранулятора составляла 15–20 с<sup>-1</sup>. Грануляция суглинка проводилась в течение 2,5–3 мин

до формирования гранул преимущественного размера 1–3 мм. После этого в чашу гранулятора вводилась опудривающая добавка из тонкомолотых отходов, и осуществлялось дополнительное вращение барабана продолжительностью 20–30 с для формирования красящего слоя по поверхности гранул. Фактическая влажность опудренного гранулята составила 10–12 %. Внешний вид образцов третьей серии показан на рис. 5.

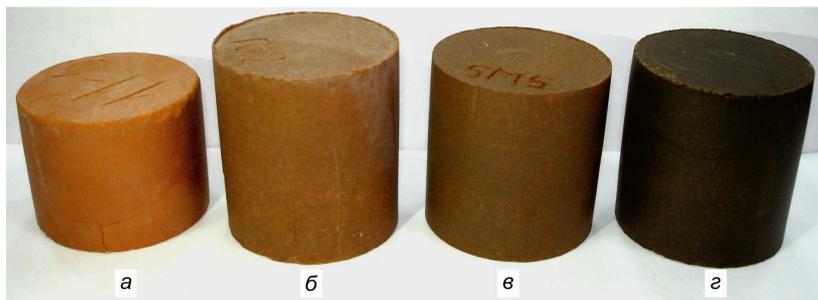


Рис. 5. Внешний вид керамических образцов компрессионного формования с грануляцией и опудриванием гранул при различном содержании ОМР в составе шихты:  
*а* – 0 мас. %; *б* – 2 мас. %; *в* – 5 мас. %; *г* – 10 мас. %

Исследования физико-механических свойств образцов (табл. 5), приготовленных по разработанному способу показали 15 % прирост прочности у образцов без красящей добавки (с 28,9 до 33,9 МПа) по сравнению с «классическим» полусухим прессованием. Кроме того, опудривание глиняных гранул тонкодисперсными ОМР в количестве 8–10 % от состава шихты обеспечивает повышение прочности и снижение водопоглощения отпрессованных и обожженных образцов, что свидетельствует о нормальном протекании механизмов спекания керамического черепка при обжиге. Зависимость физико-механических свойств от количества красящих отходов в составе шихты изображена на рис. 6.

Таблица 5

## Физико-механические свойства образцов третьей серии

Содержание ОМР в шихте, мас. %	Возд. усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	ККК
–	1,6	1,4	1895	33,9	12,8	17,9
2	1,4	1,0	1906	33,2	13,0	17,4
5	1,2	0,9	1906	32,9	13,4	17,3
10	1,0	0,9	1962	38,6	12,5	19,7

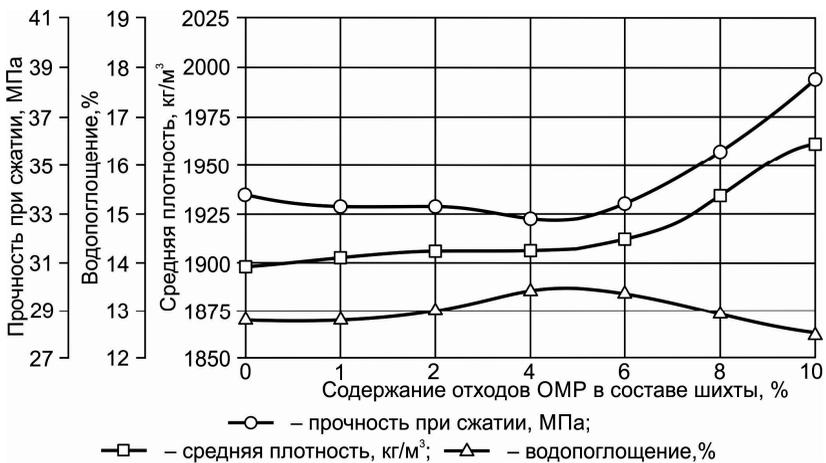


Рис. 6. Зависимость физико-механических свойств образцов третьей серии от содержания отходов добычи марганцевых руд в составе шихты

Исследование макроструктуры керамических образцов с различным содержанием отходов показало, что в керамических образцах третьей серии формируется матричная структура с выраженной границей раздела фаз (рис. 7в). Усиление окраски по сравнению с соответствующими образцами первых двух серий можно объяснить увеличением концентрации красящего оксида  $MnO_2$  на поверхности гранул, достигаемым в результате их опудривания марганецсодержащими отходами.

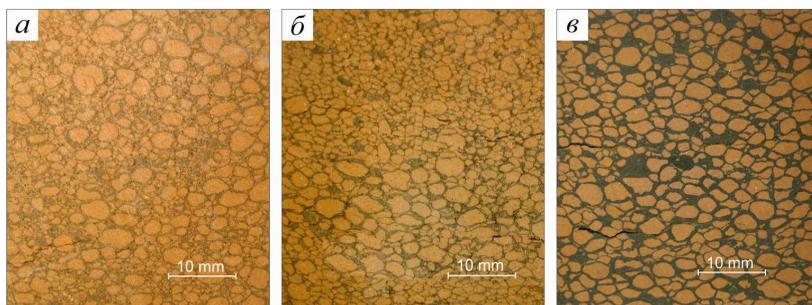


Рис. 7. Макроструктура керамических образцов из опудренных гранул с добавкой ОМР в количестве, мас. %: *a* – 2; *б* – 5; *в* – 10. Условия съемки: аншлиф, отраженный свет

Для объективной оценки объемного окрашивания полученных керамических образцов установлены цветовая палитра и коды цвета по аддитивной системе цветопередачи RGB. Результаты анализа представлены в табл. 6.

Таблица 6

Адаптированный цвет образцов и соответствующие им коды по аддитивной модели цветопередачи RGB

Номер образца в соответствии с рис. 1, 3, 5	Код цвета по модели RGB			Визуальное восприятие цвета
	R	G	B	
1 <i>a</i>	185	98	55	Коричневый
1 <i>б</i>	202	136	86	Светло-коричневый
1 <i>в</i>	183	137	88	Коричнево-серый
1 <i>г</i>	128	101	71	Серый
3 <i>a</i>	180	86	52	Коричневый
3 <i>б</i>	192	125	83	Светло-коричневый
3 <i>в</i>	167	119	73	Коричнево-серый
3 <i>г</i>	114	88	71	Серый
5 <i>a</i>	179	89	37	Коричнево-желтый
5 <i>б</i>	144	85	41	Коричневый
5 <i>в</i>	111	66	35	Темно-коричневый
5 <i>г</i>	56	42	29	Черно-коричневый

По результатам проведенного исследования сделаны следующие выводы:

– установлено, что отходы добычи марганцевых руд в количестве 5–10 % в составе шихты оказывают выраженный красящий эффект при обжиге керамических композиционных материалов, полученных из опудренных гранул;

– выявлено отрицательное влияние добавки марганецсодержащих отходов на физико-механические свойства керамических образцов первой и второй серии (пластическое формование и полусухое прессование соответственно);

– в керамических образцах третьей серии установлено формирование после обжига матричной структуры с выраженной границей раздела фаз;

– разработанный способ изготовления декоративных керамических стеновых материалов матричной структуры приводит к концентрации красящего компонента в матрице, что, с одной стороны, снижает его негативное воздействие на процессы спекания, а с другой стороны, обеспечивает выраженное усиление окраски при обжиге.

### **Список литературы**

1. *Шлегель, И. Ф.* Классификация изделий керамических облицовочных / И. Ф. Шлегель, Я. И. Шлегель // *Строительные материалы*. – 2011. – № 4. – С. 66–69.
2. *Зубехин, А. П.* Влияние окислительно-восстановительных условий обжига на фазовый состав железа и цвет керамического кирпича / А. П. Зубехин, Н. Д. Яценко, К. А. Веревкин // *Строительные материалы*. – 2011. – № 8. – С. 8–11.
3. *Седельникова, М. Б.* Пигменты на основе двухкальциевого силиката для окрашивания строительной керамики / М. Б. Седельникова, Н. В. Лисеенко, В. М. Погребенков // *Строительные материалы*. – 2012. – № 8. – С. 25–27.
4. *Дружинин, С. В.* Использование техногенных отходов в качестве минеральных добавок для объемного окрашивания керамического черепка / С. В. Дружинин, А. Ю. Столбоуш-

- кин, А. И. Иванов // Сырьевые ресурсы регионов и производство на их основе строительных материалов : сб. ст. Всерос. науч. техн. конференции. – Пенза, 2008. – С. 14–16.
5. *Влияние* способа формования на декоративные свойства при объемном окрашивании керамических образцов / А. Ю. Столбоушкин [и др.] // Труды НГАСУ. – 2016. – Т. 19, № 2 (62). – С. 138–144.
6. *Пат. 2500647* Российская Федерация, МПК С04В33/132. Сырьевая смесь для изготовления стеновой керамики и способ ее получения / А. Ю. Столбоушкин, Г. И. Стороженко, А. И. Иванов, Г. И. Бердов, О. А. Столбоушкина ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». – № 2012116133/03 ; заявл. 20.04.2012 ; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.