

Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 4. С. 156–171.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (4): 156–171.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.4

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-156-171

EDN: SBGXMZ

ЭФФЕКТИВНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

**Екатерина Евгеньевна Ибе, Святослав Евгеньевич Миронов,
Галина Николаевна Шibaева**

Хакасский технический институт –

филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Накопление отходов производства и потребления является одной из наиболее острых экологических проблем современности. В России ежегодно образуется большое количество отходов, которые часто складываются или захораниваются, не вовлекаясь в хозяйственный оборот. Одним из перспективных направлений использования промышленных отходов является их применение в производстве строительных материалов.

Цель. Исследование влияния комплексных выгорающих добавок на улучшение строительно-технических свойств эффективного керамического кирпича.

Материалы и методы. В работе использовалась глина, древесные опилки, технический гидролизный лигнин, зола-унос. Изготовление образцов производилось методом полусухого прессования. Физико-механические свойства изделий определены по стандартным методикам.

Результаты. Проведены экспериментальные исследования по определению влияния добавок на свойства керамического кирпича. Определены средняя плотность, теплопроводность и огневая усадка полученных керамических изделий.

Выводы. Результаты исследования подтверждают перспективность использования комплексной добавки лигнина с опилками для производства эффективной керамики. При этом содержание добавки не должно превышать 20 % от общей керамической массы.

Ключевые слова: керамика, отходы, лигнин, выгорающие добавки, теплопроводность, утилизация, керамические изделия, плотность

Для цитирования: Ибе Е.Е., Миронов С.Е., Шibaева Г.Н. Эффективная керамика на основе местного сырья органических отходов Республики Хакасия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 4. С. 156–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-156-171. EDN: SBGXMZ

ORIGINAL ARTICLE

EFFICIENT CERAMICS BASED ON ORGANIC WASTE OF THE REPUBLIC OF KHAKASSIA

Ekaterina E. Ibe, Svyatoslav E. Mironov, Galina N. Shibaeva

Khakassian Technical Institute, SibFU Affiliate, Abakan, Russia

Abstract. The problem of accumulation of production and consumption waste is one of the most acute environmental problems of today. In Russia, a large amount of waste is generated annually, which is often stored or buried instead of being involved in an economic turnover. One of the promising areas for using industrial waste is the production of building materials.

Purpose: The study of complex burnout additives to improve construction and technical properties of effective ceramic bricks.

Methodology: Clay, wood sawdust, technical hydrolysis lignin, fly ash are used in experiments. The samples are produced by semi-dry pressing. Physical and mechanical properties of products are determined according to standard methods.

Research findings: Determination of the effect of additives on the properties of ceramic bricks. The average density, thermal conductivity and fire shrinkage of the obtained ceramic products are determined. Research findings confirm the prospects of using a complex additive of lignin with sawdust for the production of effective ceramics. In this case, the additive content should not exceed 20 % of the total ceramic mass.

Keywords: ceramics, waste, lignin, burnout additives, thermal conductivity, recycling, ceramic product, density

For citation: Ibe E.E., Mironov S.E., Shibaeva G.N. Efficient Ceramics Based on Organic Waste of the Republic of Khakassia. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (4): 156–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-156-171. EDN: SBGXMZ

Введение

Отходы производства и потребления стали серьезной экологической проблемой, приводящей к загрязнению и разрушению экосистем. Массовое производство и потребление, особенно в развитых странах, способствуют росту объемов отходов, многие из которых разлагаются на протяжении сотен лет, создавая длительное негативное воздействие на окружающую среду.

Согласно статье № 21 ФЗ «Об отходах производства и потребления»¹, одним из основных принципов экономического регулирования в области обращения с отходами является уменьшение количества отходов и вовлечение их в хозяйственный оборот.

Однако, несмотря на законодательные инициативы, данные Росприроднадзора² отражают продолжающийся рост объемов отходов. К концу 2022 г. на территории нашей страны образовалось около 9000 млн т промышленных и бытовых отходов, что на 6,7 % превышает показатели предыдущего года. Основная доля пришлась на производственные отходы, при этом только 4100 млн т

¹ Об отходах производства и потребления: федеральный закон. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения: 18.07.2024).

² О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году: государственный доклад. URL: <https://2022.ecology-gosdoklad.ru/> (дата обращения: 18.07.2024).

из них были утилизированы или обезврежены. Оставшиеся отходы были складированы, захоронены или вывезены на свалки. К концу 2022 г. объем захороненных отходов вырос почти в 2,5 раза по сравнению с прошлыми годами и достиг 2400 млн т (рис. 1).



Рис. 1. Динамика объема образования, утилизации и захоронения отходов производства в Российской Федерации

Fig. 1. Dynamics of the volume of formation, utilization and disposal of industrial waste in the Russian Federation

Эти данные подтверждают, что после временного спада в 2020 и 2021 гг. рост количества отходов снова возобновился. В России сохраняется проблема недостаточного развития экологически чистых технологий для переработки промышленных отходов, что препятствует их эффективному использованию и затрудняет переход к принципам устойчивого развития.

Учеными не раз отмечалось, что многие виды промышленных отходов могут быть использованы как альтернатива природным ресурсам. В некоторых случаях такие отходы обладают уникальными свойствами, которые делают их ценным сырьем. Применение техногенных отходов позволяет сохранить или снизить стоимость получения строительных материалов с улучшенными свойствами, оказывая положительное влияние на экологическое состояние окружающей среды [1, 2, 3].

Примером таких отходов может служить гидролизный лигнин. В XX в. гидролизная промышленность активно развивалась и использовала невостробованное сырье для производства ценных продуктов. Однако эта отрасль столкнулась с проблемой образования большого количества отходов, в частности лигнина, количество которого часто превышало объем полезной продукции.

В Усть-Абаканском районе Республики Хакасия находится полигон с лигнином. Лигнинохранилище функционировало на протяжении всего срока работы гидролизного завода. Несмотря на закрытие предприятия более 15 лет назад, территория с лигнином остается нетронутой. В настоящее время объем лигнина на полигоне превышает 3 млн м³ (рис. 2).

Полигон представляет экологическую угрозу, поскольку летом лигнин способен самовозгораться, выделяя едкий дым и смог, который распространяется на близлежащие территории, включая частный сектор. Такая ситуация не только ухудшает экологическое состояние региона, но и создает угрозу здоровью населения. Так, был зарегистрирован случай, когда ребенок упал в тлеющий лигнин и получил ожоги рук и ног. Это подчеркивает необходимость поиска решений для безопасного использования и утилизации лигнина.



Рис. 2. Полигон с лигнином в Усть-Абакане. Вид со спутника
Fig. 2. The landfill with lignin in Ust-Abakan. Satellite view

Технический гидролизный лигнин

Технический гидролизный лигнин – это органический полимер, образующийся в результате гидролиза растительного сырья, такого как древесина или сельскохозяйственные отходы. Процесс гидролиза представляет собой химическую реакцию, при которой полисахариды (целлюлоза и гемицеллюлоза) разлагаются на более простые соединения, в том числе лигнин. Внешне лигнин имеет вид рыхлой массы темно-коричневого цвета (рис. 3).



Рис. 3. Технический гидролизный лигнин
Fig. 3. Technical hydrolysis lignin

В своей работе автор [4] отмечает многокомпонентность состава гидролизного лигнина, включающего в себя полисахариды, смолы, редуцирующие вещества и ряд других компонентов. Гранулометрический состав этого материала может широко варьироваться в зависимости от условий производства,

что определяет колебания его вещественного состава и свойств в некотором интервале (табл. 1).

Таблица 1

Вещественный состав лигнина заводов Восточной Сибири [4]

Table 1

Lignin composition of Eastern Siberia factories

Гидролизный завод	Содержание веществ, %					
	в твердых отходах			в водном экстракте		
	Лигнин	Полисахариды	Экстрагируемые	H ₂ SO ₄	Резецирующие	Зольные остатки
Усть-Абаканский	61,7–64,1	18,0–19,9	12,4–14,1	1,8–2,4	4,2–5,0	3,0–3,8
Красноярский	62,3–63,0	15,7–17,6	13,2–14,3	1,6–1,9	5,3–5,9	2,4–2,7

Авторы [5] подчеркивают, что поверхность лигнинохранилища лишена растительности и признаков живых организмов, это указывает на полную биостойкость лигнина, стабильность химического состава и показателей кислотности. На полигоне материал постепенно теряет влагу, ее доля снижается до 20–25 % на поверхности, однако на глубине полуметра остается на уровне 28 %.

В работе [6] показано, что гидролизный лигнин обладает пористой структурой и имеет небольшую среднюю плотность в сухом состоянии. Лигнин также имеет низкий показатель теплопроводности, что делает его эффективным теплоизоляционным материалом.

Автор [4] отмечает, что при равной пористости материал обладает более высокой насыпной и истинной плотностью и меньшей склонностью к набуханию при увлажнении по сравнению с древесными опилками (табл. 2).

Таблица 2

Набухание, плотность и пустотность лигнина [4]

Table 2

Lignin swelling, density and voids

Материалы	Набухание, %, в течение времени, ч			Истинная плотность, г/см ³	Пустотность, %	Насыпная плотность, кг/м ³
	6	24	48			
Древесные опилки	5,0	5,6	6,0	1,25	84	161
Технический лигнин гидролизных заводов						
Усть-Абаканского	0,1	0,45	0,82	1,35	75	260
Красноярского	0,2	0,5	0,95	1,30	77	240

Сегодня гидролизный лигнин активно применяется в различных промышленных секторах. Основные направления его использования включают производство строительных материалов, дорожное строительство, нефтедобычу и другие сферы [7, 8, 9].

Эффективные керамические материалы

Согласно ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни керамические», к группе эффективной керамики относят легкие пустотелые керамические изделия со средней плотностью керамического черепка в интервале 1010–1200 кг/м³. При этом теплопроводность кладки не должна превышать 0,36 Вт/(м·°С). Изделия, попадающие в интервал 810–1000 кг/м³ и имеющие теплопроводность кладки свыше 0,20 до 0,24 Вт/(м·°С), относят к группе повышенной эффективности.

В аналитическом обзоре³ отмечено, что производство таких изделий позволяет снизить потребление сырья на 25–30 % и расход топлива на 10–15 % по сравнению с использованием традиционного полнотелого кирпича. Благодаря низкой теплопроводности эффективной керамики толщина наружных ограждающих конструкций уменьшается на 20–30 %.

Авторы [10] утверждают, что пористая керамика может быть создана с использованием выгорающих добавок. Эти добавки уменьшают усадку изделий при сушке и обжиге, заменяя традиционные отошители. Улучшая свойства материалов, выгорающие добавки также снижают затраты на производство.

Анализ научных исследований показывает, что в качестве выгорающих добавок предлагаются опилки, древесная мука, торф, льняной кострец, шелуха злаков, рисовая солома, лигнин, различные виды углей и продуктов коксования, горючие сланцы, полимерные и стекольные отходы, полые полимерные гранулы (полистирол) и др. [11–17].

Авторами [18] отмечается возможность использования органических отходов в качестве выгорающих добавок при производстве пористой керамики.

Применение лигнина в производстве кирпича известно с середины прошлого века. Ленинградский кирпичный завод № 1 использует этот материал в качестве выгорающей добавки на протяжении 75 лет, что помогает снижать себестоимость продукции [19].

Материалы и методы исследований

При проведении экспериментальных исследований были использованы следующие материалы: глина, древесные опилки, гидролизный лигнин Усть-Абаканского гидролизного завода, зола-унос Абаканской ТЭЦ, вода.

Составы анализируемых керамических масс с различным содержанием глины и местного сырья представлены в табл. 3.

В настоящем исследовании использована смесь желтой и черной глины Черногорского месторождения (15 км юго-западнее г. Черногорска, Республика Хакасия). Согласно результатам работы [20], наилучшее соотношение данных глин составляет 1:1. Химический состав глинистой смеси приведен в табл. 4.

Рентгенофазовый анализ (рис. 4) образца глины проводился на приборе BrukerD8 с линейным детектором VANTEC на CuK α излучении в диапазоне углов 5–80, с шагом 0,014° со временем накопления по 1 с на шаг. Уточнение

³ Верещагин В.И., Алексеев Ю.И., Погребенков В.М. Диопсидовые породы – универсальное сырье для производства керамических и других силикатных материалов // Промышленность строительных материалов. Сер. 5. Аналитический обзор. 1990. Вып 2. С. 60–64.

проводилось методом Ритвельда в программе TOPAS 3 (рис. 5). Содержание основных компонентов в образце глины приведено в табл. 5.

Таблица 3

Составы анализируемых керамических масс

Table 3

Composition of analyzed ceramics

Компо- ненты	Наименование состава и содержание компонентов, масс. %								
	Г ⁹⁰ Оп ¹⁰	Г ⁸⁰ Оп ²⁰	Г ⁹⁰ Л ¹⁰	Г ⁸⁰ Л ²⁰	Г ⁸⁰ З ¹⁰	Г ⁸⁰ З ²⁰	Г ⁸⁰ Оп ¹⁵ Л ⁵	Г ⁸⁰ Оп ¹⁰ Л ¹⁰	Г ⁸⁰ Оп ⁵ Л ¹⁵
Глина	90	80	90	80	90	80	80	80	80
Зола	–	–	–	–	10	20	–	–	–
Опилки	10	20	–	–	–	–	15	10	5
Лигнин	–	–	10	20	–	–	5	10	15

Таблица 4

Химический состав глинистой смеси

Table 4

Chemical composition of clay mixture

Проба	Содержание оксидов, масс. %								ППП, %
	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	
1	5,92	1,53	56,31	0,26	2,66	18,49	1,99	2,51	10,34

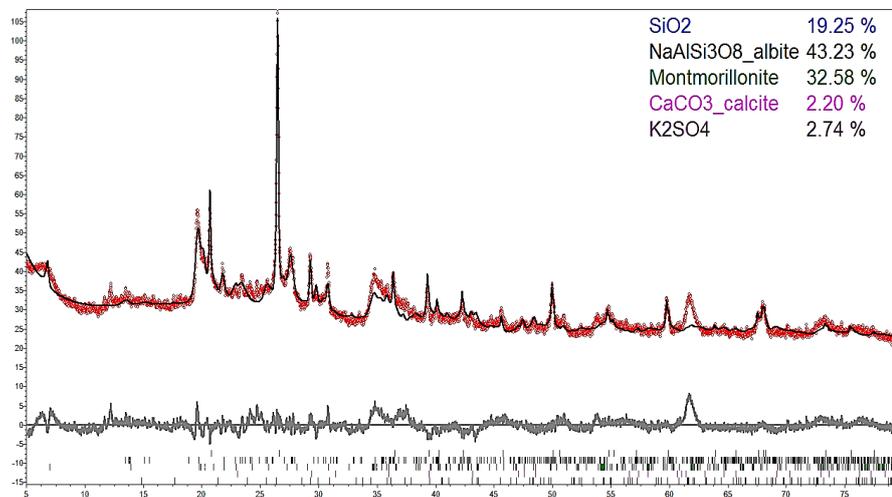


Рис. 4. Рентгенограмма образца в программе TOPAS 3
Fig. 4. XRD patterns for the sample in TOPAS 3 program

Анализ химического состава золы-уноса проводился с использованием стандартных методов, разработанных для работы с данным материалом (табл. 6).

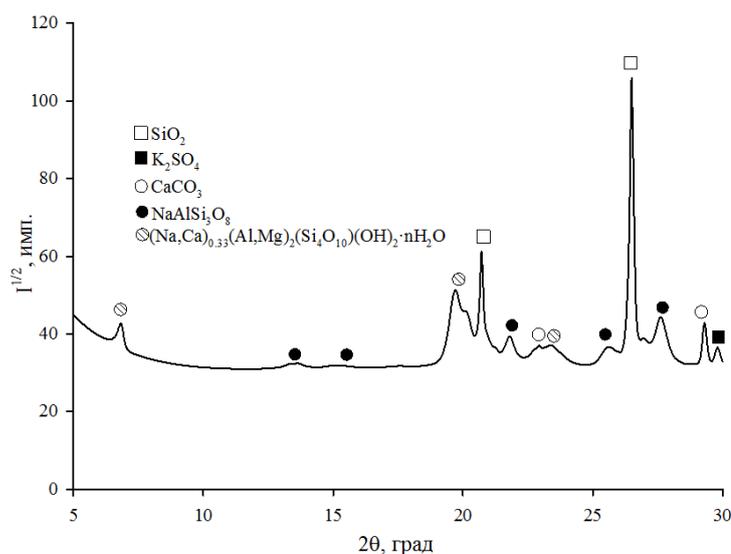


Рис. 5. Фрагмент рентгенограммы образца с отмеченными пиками известных соединений
 Fig. 5. XRD patterns for the sample with marked peaks of known compounds

Таблица 5

Содержание основных компонентов в образце

Table 5

Oxide component content in the sample

Минерал	Химическая формула	Содержание, масс. %
Кварц	SiO ₂	19,250 ± 2,266
Монтмориллонит	(Na,Ca) _{0,33} (Al,Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ ·nH ₂ O	32,581 ± 3,844
Альбит	NaAlSi ₃ O ₈	43,232 ± 6,642
Кальцит	CaCO ₃	2,201 ± 0,286
Арканит	K ₂ SO ₄	2,736 ± 0,421

Таблица 6

Химический состав золы-уноса Абаканской ТЭЦ

Table 6

Chemical composition of fly-ash from Abakan TPP

Содержание оксидов, масс. %	Вещество	Проба			
		1	2	3	3
	Fe ₂ O ₃	12,46	11,76	9,45	9,63
	Na ₂ O	0,45	0,39	0,44	0,30
	SiO ₂	31,42	36,24	41,44	35,24
	MnO	0,30	0,17	0,16	0,30
	TiO ₂	0,17	0,41	0,40	0,48
	K ₂ O	0,16	0,21	0,26	0,14

Окончание табл. 6
End of table 6

Вещество		Проба				
		1	2	3	3	
Содержание оксидов, масс. %	Al ₂ O ₃	6,22	7,16	6,64	9,47	
	SO ₃	2,48	2,56	3,36	2,08	
	MgO	8,05	7,23	6,85	8,34	
	FeO	–	0,04	0,68	3,16	
	CaO	своб.	8,23	6,91	8,23	7,00
		общ.	37,38	30,98	37,38	32,21
ППП, %		2,05	0,54	2,57	0,58	

Образцы изготавливались методом полусухого прессования при давлении, не превышающем 15 МПа. Исходное сырье предварительно высушивалось, измельчалось и просеивалось через сито, после чего компоненты смешивались до образования однородной массы, которую увлажняли до достижения формовочной влажности не более 20 %. Готовые образцы подвергались сушке при комнатной температуре и обжигались в лабораторной печи. Нагрев изделий продолжался 90 мин до температуры 900 °С, после чего обжиг проводился еще в течение 60 мин. По завершении процесса образцы остывали в печи до комнатной температуры.

Физические и механические свойства полученных изделий определялись по стандартным методикам.

Результаты

По внешнему виду и качественным характеристикам полученные керамические изделия соответствуют удовлетворительным требованиям. При исследовании образцов цилиндрической формы было установлено, что образцы, включающие опилки и лигнин, обладают насыщенным шоколадно-коричневым цветом. Однако образцы с опилками имеют более рыхлую структуру по сравнению с образцами, содержащими лигнин (рис. 6). Гранулометрический состав лигнина позволил получить образцы с равномерной среднепористой макроструктурой.

В свою очередь, образцы с добавлением золы характеризуются коричнево-оранжевым оттенком и более плотной структурой по сравнению с остальными образцами.

Для составов Г⁹⁰Оп¹⁰ и Г⁸⁰Оп²⁰ после обжига характерно снижение плотности, а также рыхлая структура образца и увеличение огневой усадки. Это свидетельствует о том, что с увеличением добавки древесных опилок увеличивается пористость изделия. При этом характер пористости является анизотропным со значительным разбросом диаметра пор, что в некоторых случаях привело к расслоению образца вдоль основных пустот, что безусловно говорит об эффективном применении древесных опилок лишь при изготовлении крупноформатных сплошных изделий.

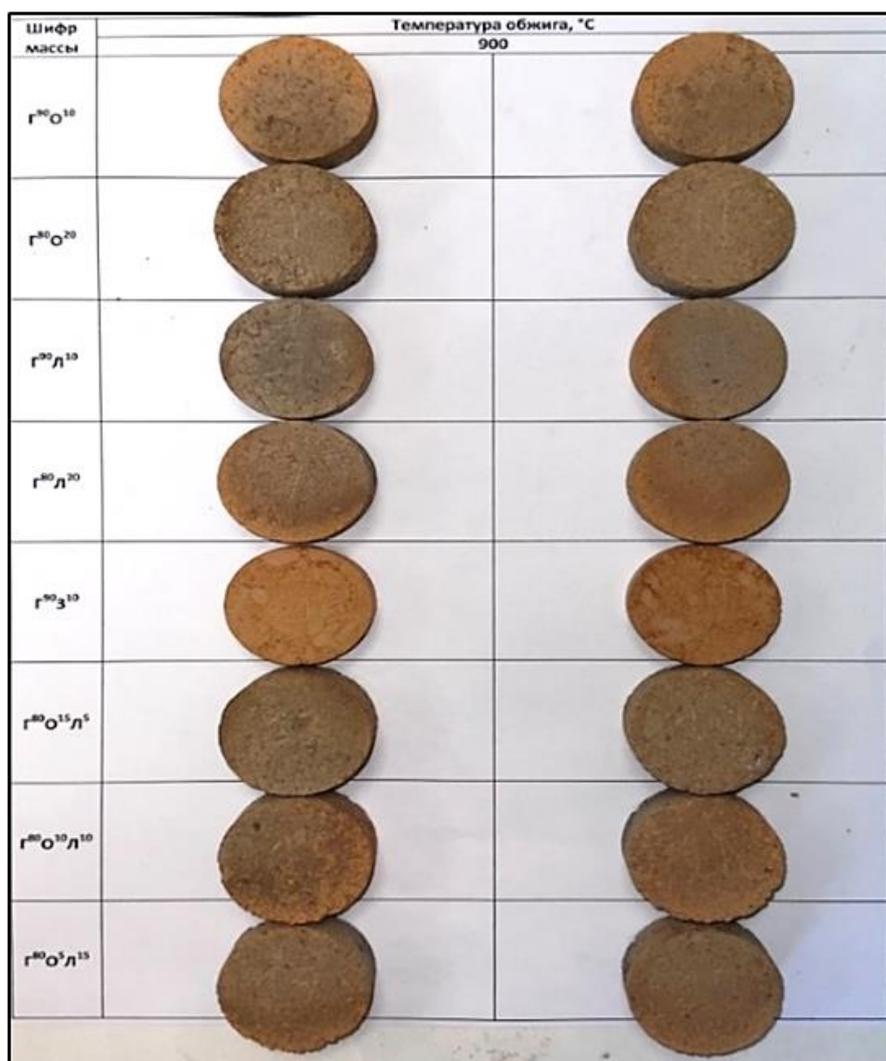


Рис. 6. Внешний вид керамических изделий после обжига
 Fig. 6. Ceramic products after firing

Для составов $\Gamma^{90}\text{З}^{10}$ и $\Gamma^{80}\text{З}^{20}$ после обжига характерна плотная структура, снижение огневой усадки и незначительное снижение плотности. Это свидетельствует, что зола-унос в процессе обжига выгорает незначительно. Возможно применение золы-уноса при производстве эффективной керамики в качестве комплексной отошающей добавки, поскольку она хорошо снижает огневую усадку конечного изделия.

На рис. 7 приведены значения средней плотности полученных керамических изделий.

На рис. 8 приведены значения теплопроводности и огневой усадки полученных керамических изделий. Значение теплопроводности определялось прибором ИТП-МГ4 по ГОСТ 7076–99.

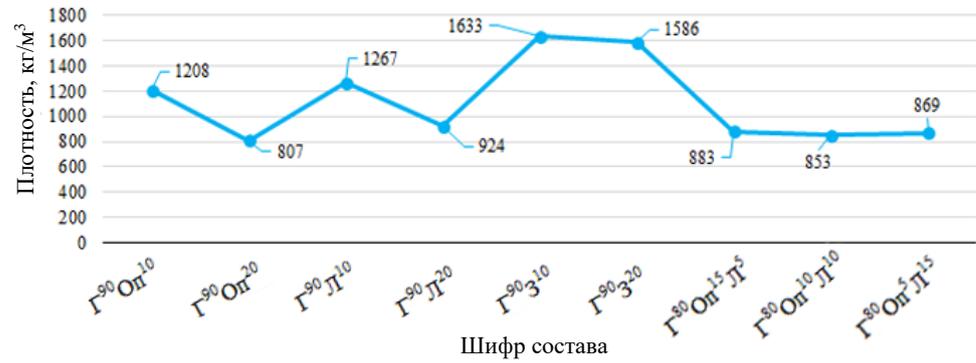


Рис. 7. Средняя плотность полученных керамических изделий
Fig. 7. Average density of ceramic products

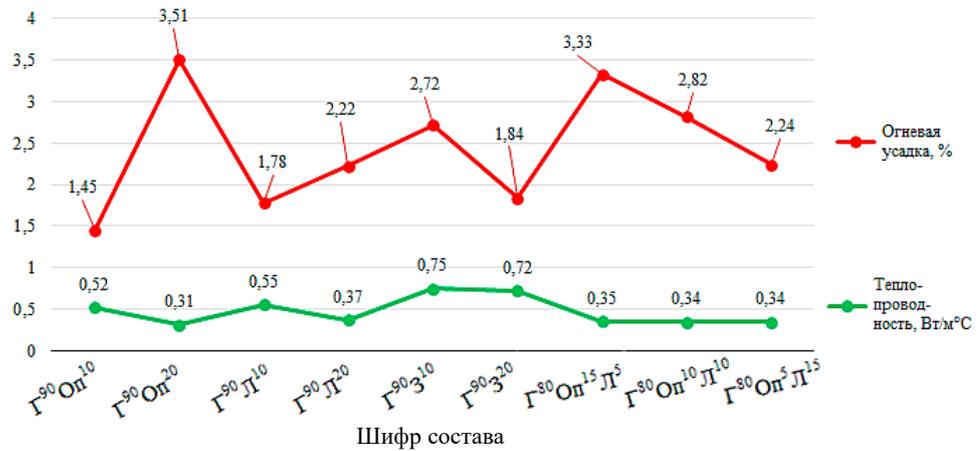


Рис. 8. Теплопроводность и огневая усадка полученных керамических изделий
Fig. 8. Thermal conductivity and fire shrinkage of ceramic products

Усадка керамики при сушке и обжиге существенно влияет на свойства конечных изделий.

Лигнин в составах Г⁸⁰Оп¹⁵Л⁵, Г⁸⁰Оп¹⁰Л¹⁰ и Г⁸⁰Оп⁵Л¹⁵ выполняет роль комплексной выгорающей добавки, снижая огневую усадку, формируя при этом относительно равномерную пористость. Древесные опилки, используемые в качестве армирующего компонента, способствуют снижению деформаций сырьевой массы во время сушки. Однако при обжиге, особенно при наличии крупных частиц опилок, деформации, вызванные огневой усадкой, увеличиваются. Это подтверждается результатами экспериментов с составами Г⁹⁰Оп¹⁰ и Г⁸⁰Оп²⁰. Полученные данные согласуются с выводами авторов [21].

На рис. 9 приведены значения прочности при сжатии полученных керамических изделий.

Результаты испытаний на прочность при сжатии полностью коррелируются с общей динамикой изменения свойств при изменении состава и содержа-

ния выгорающих добавок. Наибольшая прочность при сжатии, как и наибольшая плотность, обеспечивается у составов с добавкой золы-уноса. Керамический черепок характеризуется плотной, хорошо закристаллизованной структурой. Полученные результаты с зольными выгорающими добавками согласуются с данными авторов [22].

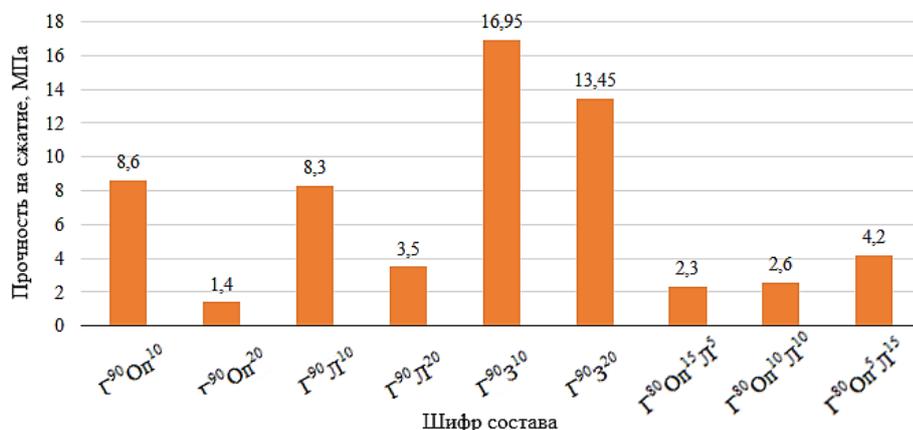


Рис. 9. Прочность на сжатие полученных керамических изделий
Fig. 9. Compressive strength of ceramic products

Применение комплексных добавок, содержащих лигнин и опилки, а также монодобавок лигнина и опилок приводит к снижению прочности по сравнению с добавкой золы-уноса. Как было описано выше, структура таких образцов более рыхлая, с анизотропной пористостью. Наиболее эффективными среди рассмотренных составов являются составы с монодобавкой лигнина или опилок в объеме 10 %, лигнина в объеме 20 %, а также комплексная добавка состава 5 + 15 %, опилки и лигнин соответственно.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение золы-уноса Абаканской ТЭЦ в качестве выгорающей добавки является неэффективным, поскольку плотность керамического черепка снижается незначительно. Золу-унос рекомендуется применять в качестве комплексной отошающей добавки, т. к. она снижает огневую усадку изделия.
2. Использование лигнина в качестве комплексной выгорающей добавки позволило достичь наилучших показателей. Применение лигнина приводит к снижению коэффициента теплопроводности и дает возможность получить керамику повышенной эффективности со средней плотностью до 1000 кг/м³.
3. Содержание комплексной добавки лигнина с опилками не должно превышать 20 % от общей керамической массы.
4. Применение лигнина в качестве выгорающей добавки не приводит к разрыхлению структуры керамического черепка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аниканова Л.А. Особенности применения вторичного ангидритового сырья для производства керамических материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 2. С. 148–156. EDN: NELLGY
2. Вакалова Т.В., Сергеев Н.П., Толеженов Д.Т., Толеженова Д.Ж., Митина Н.А. Перспективы использования красного шлама для получения высокопрочной строительной керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 2. С. 171–184. EDN: PUJLFN
3. Singh D., et al. A comprehensive review on valorisation of octal by-product as supplementary admixtures in the production of fired and unfired bricks // Construction and Building Materials. 2023. V. 408. P. 133641. DOI: 10.1016/2023.133641
4. Завадский В.Ф. Лигноминеральные строительные материалы и изделия. Новосибирск : НГАСУ, 2004. 180 с.
5. Никифоров Ю.Е., Селиванов В.М. Гидролизный лигнин как сырье для производства теплоизоляционных материалов // Строительные материалы и изделия из местного сырья Восточной Сибири. Вып. 1. Красноярск : КПИ, 1970. С. 43–45.
6. Шibaева Г.Н., Ибе Е.Е. Отделочные и изоляционные строительные материалы на основе местного сырья РХ. Абакан : Хакасское книжное изд-во, 2016. 100 с.
7. Молоков В.С., Балабанов В.Б. Исследование влияния добавок гидролизного лигнина на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей // Инновации и инвестиции. 2024. № 3. С. 569–572. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65601662> (дата обращения: 09.12.2024).
8. Любов В.К., Цыпнятов И.И. Повышение эффективности энергетического использования биотоплива // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 1 (391). С. 172–185. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-172-185
9. Береговой В.А., Езунов Д.А., Сорокин Д.С. Строительные материалы и вяжущие вещества на основе гидролизного лигнина // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 3 (32). С. 75–79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30488641> (дата обращения: 03.01.2025).
10. Волочко А.Т., Азаркова Е.А., Хорт Н.А., Манак П.И. Исследование влияния высококалорийных и низкокалорийных выгорающих добавок на характеристики поризованной керамики // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2020. № 16. С. 47–51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-vysokokaloriynyh-i-nizkokaloriynyh-vygorayuschih-dobavok-na-harakteristiki-porizovannoy-keramiki> (дата обращения: 09.12.2024).
11. Кара-сал Б.К., Монгуш Д.С., Хойлаарак З.К. Влияние выгорающей добавки на свойства керамических изделий // Техника и технология. 2012. № 4. С. 29–33.
12. Мавлюбердинов А.Р. К вопросу изучения теплопроводности керамических пористо-пустотелых материалов // Известия КазГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 273–277. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-izucheniya-teploprovodnosti-keramicheskikh-poristo-pustotelyh-materialov> (дата обращения: 05.12.2024).
13. Дороганова О.В., Мирошниченко Н.А., Свергузова С.В., Дороганова Е.В. Использование отработанного сорбционного материала в качестве выгорающей добавки к керамическим смесям // Экономика строительства и природопользования. 2019. № 2 (71). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-otrabotannogo-sorbtsionnogo-materiala-v-kachestve-vygorayuschey-dobavki-k-keramicheskim-smesyam> (дата обращения: 20.11.2024).
14. Гостев Д.В., Крюкова А.А., Измайлов А.М., Абдрахимов В.З. Эколого-экономическая и практическая целесообразность использования золошлака в производстве стенового материала на основе монтмориллонитовой глины // Уголь. 2023. № 4 (1166). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-i-prakticheskaya-tselesoobraznost-ispolzovanie-zoloshlaka-v-proizvodstve-stenovogo-materiala-na-osnove> (дата обращения: 03.01.2025).
15. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных и стекольных отходов для получения самоглазующейся облицовочной керамики // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 11. С. 38–42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41321615> (дата обращения: 09.12.2024).

16. Макаров Д.В., Мелконян Р.Г., Суворова О.В., Кумарова В.А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов // ГИАБ. 2016. № 5. С. 254–281. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-promyshlennyh-othodov-dlya-polucheniya-keramicheskikh-stroitelnyh-materialov> (дата обращения: 09.12.2024).
17. Khomenko O., et al. Thermal conductivity study of different engobed ceramic brick // *Cerâmica*. 2024. V. 70. P. eZAOY1947. DOI: 10.1590/ZAOY1947
18. Dele-Afolabi T.T., et al. Organic waste-derived pore formers for macroporous ceramics fabrication: A review on synthesis, durability properties and potential applications // *Materials Today Sustainability*. 2024. P. 100824.
19. Козлов А.И., Махновецкий С.И. Применение гидролизного лигнина в качестве выгорающей добавки // *Строительные материалы*. 1960. № 12. С. 28–36.
20. Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 3 (29). С. 35–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18003754> (дата обращения: 09.12.2024).
21. Ибе Е.Е., Чекалова А.Ю., Шibaева Г.Н. Поризованная керамика на основе гидролизного лигнина // *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 7 (79). С. 311–319. URL: [item.asp?id=46459820](https://elibrary.ru/item.asp?id=46459820). EDN: FCWPCN
22. Скрипникова Н.К., Григорьевская Д.К., Семеновых М.А. Исследование влияния зольных микрофер на свойства керамических изделий // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2020. Т. 22. № 2. С. 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-2-112-119

REFERENCES

1. Anikanova L.A. Acid Fluoride in Ceramic Material Production. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (2): 148–156. DOI:10.31675/1607-1859-2024-26-2-148-156. EDN: NELLGY (In Russian)
2. Vakalova T.V., Sergeev N.P., Tolegenov D.T., Tolegenova D.Zh., Mitina N.A. Red Mud in High-Strength Ceramics Production. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (2): 171–184. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-171-184. EDN: PUJLFN (In Russian)
3. Singh D., et al. A Comprehensive Review on Valorisation of Octal By-Product as Supplementary Admixtures in the Production of Fired and Unfired Bricks. *Construction and Building Materials*. 2023; 408: 133641.
4. Zavadskii V.F. Lignomineral Building Materials and Products. Novosibirsk: NGASU, 2004. 180 p. (In Russian)
5. Nikiforov Yu.E., Selivanov V.M. Hydrolytic Lignin as Raw Material for the Production of Thermal Insulation Materials. *Stroitel'nye materialy i izdeliya iz mestnogo syr'ya Vostochnoi Sibiri*. Krasnoyarsk, 1970; (1): 43–45. (In Russian)
6. Shibaeva G.N., Ibe E.E. Finishing and Insulating Materials Based on Local Raw Materials of the Republic of Khakassia. Abakan, 2016. 100 p. (In Russian)
7. Molokov V.S., Balabanov V.B. Influence of Hydrolytic Lignin Additives on Physical and Mechanical Properties of Asphalt Concrete Mixes. *Innovatsii i investitsii*. 2024; (3): 569–572. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65601662> (accessed December 9, 2024). (In Russian)
8. Lyubov V.K., Tsyornyatov I.I. Improving the Efficiency of Energy Use of Biofuels. *Lesnoy Zhurnal. Russian Forestry Journal*. 2023; 1 (391): 172–185. Available: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-172-185> (accessed December 9, 2024). (In Russian)
9. Beregovoi V.A., Egunov D.A., Sorokin D.S. Construction Materials and Bindings Based on Hydrolytic Lignin. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017; 3 (32): 75–79. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30488641> (accessed January 3, 2025). (In Russian)
10. Volochko A.T., Azarkova E.A., Khort N.A., Manak P.I. Effect of High- and Low-Calorie Burn-Out Additives on Porous Ceramics Properties. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*. 2020; 16: 47–51. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekt-vysokokalorinykh-i-nizkokalorinykh-vypalivayemykh-dobavok-na-svoystva-porozhnykh-keramicheskikh-materialov>

- leninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-vysokokaloriynyh-i-nizkokaloriynyh-vygorayuschih-dobavok-na-harakteristiki-porizovannoy-keramiki (accessed December 9, 2024). (In Russian)
11. Kara-sal B.K., Mongush D.S., Khoilaarak Z.K. Influence of Burnout Additive on Properties of Ceramic Products. *Tekhnika i tekhnologiya*. 2012; (4): 29–33. (In Russian)
 12. Mavliuberdinov A.R. On Thermal Conductivity of Ceramic Hollow-Porous Materials. *Izvestiya KazGASU*. 2014; 4 (30): 273–277. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-izucheniya-teploprovodnosti-keramicheskikh-poristo-pustotelyh-materialov> (accessed December 5, 2024). (In Russian)
 13. Doroganova O.V., Miroshnihenko N.A., Sverguzova C.B., Doroganova E.V. Use of Waste Sorption Material as a Burnout Additive to Ceramic Mixtures. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2019; 2 (71). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-otrabotannogo-sorbtsionnogo-materiala-v-kachestve-vygorayushey-dobavki-k-keramicheskim-smesyam> (accessed November 20, 2024). (In Russian)
 14. Gostev D.V., Kryukova A.A., Izmailov A.M., Abdrakhimov V.Z. Ecological, Economic and Practical Feasibility of Using Ash Slag in Wall Material Production based on Montmorillonite Clay. *Ugol'*. 2023; 4 (1166). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-i-prakticheskaya-tselesoobraznost-ispolzovanie-zoloshlaka-v-proizvodstve-stenovogo-materiala-na-osnove> (accessed January 3, 2025). (In Russian)
 15. Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Polymer and Glass Wastes in Production of Self-Glazing Facing Ceramics. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2019; 23 (11): 38–42. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41321615> (accessed December 9, 2024). (In Russian)
 16. Makarov D.V., Melkonyan R.G., Suvorova O.V., Kumarova V.A. Prospects for Using Industrial Waste in Production of Ceramic Building Materials. *GIAB*. 2016; 5: 254–281. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-promyshlennykh-othodov-dlya-polucheniya-keramicheskikh-stroitelnykh-materialov> (accessed December 9, 2024). (In Russian)
 17. Khomenko O., et al. Thermal Conductivity of Different Engobed Ceramic Brick. *Cerâmica*. 2024; 70: eZAOY1947.
 18. Dele-Afolabi T.T., et al. Organic Waste-Derived Pore Formers for Macroporous Ceramics Fabrication: A Review on Synthesis, Durability Properties and Potential Applications. *Materials Today Sustainability*. 2024; 100824.
 19. Kozlov A.I., Makhnovetskii S.I. Application of Hydrolytic Lignin as a Burnout Additive. *Stroitel'nye materialy*. 1960; 12. (In Russian)
 20. Selivanov Yu.V., Shil'tsina A.D., Selivanov V.M., Loginova E.V., Korol'kova N.N. Composition and Properties of Ceramic Thermal Insulation Materials Made of Low-Temperature Foaming Masses Based on Clay Raw Materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2012; 3 (29): 35–40. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18003754> (accessed December 9, 2024). (In Russian)
 21. Ibe E.E., Chekalova A.Yu., Shibaeva G.N. Porous Ceramics Based on Hydrolyzed Lignin. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2021; 7 (79): 311–319. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46459820> (accessed December 9, 2024). (In Russian)
 22. Skripnikova N.K., Grigorevskaya D.K., Semenovikh M.A. The Influence of Ash Microspheres on Ceramic Properties. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020; 22 (2): 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-2-112-119 (In Russian)

Сведения об авторах

Ибе Екатерина Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент, Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, 655017, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27, katerina.ibe@mail.ru

Миронов Святослав Евгеньевич, магистрант, Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, 655017, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27, miks0070@mail.ru

Шibaева Галина Николаевна, канд. техн. наук, доцент, Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, 655017, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27, shibaevagn@mail.ru

Authors Details

Ekaterina E. Ibe, PhD, A/Professor, Khakassian Technical Institute, SibFU Affiliate, 27, Shchetinkin Str., 655017, Russia, Abakan, katerina.ibe@mail.ru

Svyatoslav E. Mironov, Graduate Student, Khakassian Technical Institute, SibFU Affiliate, 27, Shchetinkin Str., 655017, Russia, Abakan, miks0070@mail.ru

Galina N. Shibaeva, PhD, A/Professor, Khakassian Technical Institute, SibFU Affiliate, 27, Shchetinkin Str., 655017, Russia, Abakan, shibaevagn@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.01.2025
Одобрена после рецензирования 16.04.2025
Принята к публикации 21.04.2025

Submitted for publication 12.01.2025
Approved after review 16.04.2025
Accepted for publication 21.04.2025