

УДК: 691.3:666.72.05
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.7
EDN: GHOVQA



Влияние аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения на структуру пористости теплоизоляционного материала

В.З. Абдрахимов¹

¹Самарский государственный экономический университет,
Самара. Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Для снижения трат натурального компонента в целях производства теплоизоляционного кирпича требуется замена натурального природного сырья на отходы топливно-энергетического комплекса. Например, отходы углеобогащения, которые по накоплению не только в Китае, Индии и др. стран, но и в России находятся уже под № 1. В настоящее время только в Кузбассе функционируют на постоянной основе около 55 обогатительных фабрик, что составляет практически 50% от всего добываемого в России угля, а в целом в Кемеровской области извлекается около 60% угля от общего объема. *Цель работы:* оценить комплементарный фактор влияния аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения на технические характеристики и пористую структуру на основе межсланцевой глины теплоизоляционного материала и его фазовый состав. *Задачами исследования являются:* рекомендовать рациональную корректировку по утилизации крупнотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса для создания производства теплоизоляционного кирпича; исследовать структуру пористости, которая определяет ключевые параметры теплоизоляционного кирпича.

Результаты. Показано, что наилучшие предпочтения для производства теплоизоляционного кирпича имеет состав, содержащий 80% межсланцевой глины и соответственно 20% аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения в качестве отощителя и выгорающей добавки. Интегральные и дифференциальные порограммы препарированных экземпляров (образцов), произведенных методом ртутной порометрии, выявили, что «опасных» пор с радиусом от 10^{-5} до 10^{-7} м в образцах только из межсланцевой глины – 55%, а в оптимальном составе, содержащем 20 отощителя – 42%. *Выводы.* Подчеркнуто, что предпочтительным составом для производства легковесного кирпича – является композиция, охватывающая глину межсланцевую – 80%, а оставшиеся 20% – отходы аргиллитоподобной флотации углеобогащения. Такой теплоизоляционный кирпич по плотности относится к классу Б, а в сухом положении по коэффициенту теплопроводности – к группе – эффективные. Ввод отощителя снижает содержание «опасных» пор.

Ключевые слова: аргиллит, отходы флотации, углеобогащение, межсланцевая глина, теплоизоляционный кирпич, структура пористости

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Влияние аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения на структуру пористости теплоизоляционного материала // Известия КГАСУ, 2025, № 1(71), с. 77-91, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.7, EDN: GHOVQA

The effect of argillite-like waste from carbon enrichment flotation on the porosity structure of thermal insulation material

V.Z. Abdrakhimov¹

Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* To reduce the cost of natural raw materials for the production of cost-effective thermal insulation bricks, it is necessary to replace natural raw materials with waste from the fuel and energy complex., for example, waste from coal enrichment, which is already Number 1 in terms of accumulation not only in China, India and other countries, but also in Russia. Currently, about 55 processing plants are operating on a permanent basis in Kuzbass alone, which is almost 50% of all coal produced in Russia, and in general, about 60% of the total coal is extracted in the Kemerovo region. *The purpose of the work* is to evaluate the complementary factor of the influence of argillite-like waste from coal enrichment flotation on the technical characteristics, porous structure and phase composition of the thermal insulation material based on inter-shale clay. *The objectives of the study* are to recommend rational adjustments for the disposal of large-tonnage waste from the fuel and energy complex to create a production of thermal insulation bricks and to investigate the porosity structure, which determines the key parameters of the thermal insulation brick.

Results. It is shown that the best preferences for the production of thermal insulation bricks have a composition containing 80% of inter-shale clay and, accordingly, 20% of argillite-like waste from coal enrichment flotation as a leaner and a burn-out additive. Integral and differential porograms of the prepared specimens (samples) produced by mercury porosimetry method revealed that 55% of the “dangerous” pores with a radius of 10^{-5} to 10^{-7} m in samples are made from inter-shale clay alone, and 42% in the optimal composition containing 20% of the leaner.

Conclusions. It is noted that for the production of lightweight bricks, the preferred composition is the composition including 80% inter-shale clay, and the remaining 20% is waste from argillite-like flotation of coal enrichment. Such a thermal insulation brick belongs to class B in terms of density, and in a dry position according to the coefficient of thermal conductivity it belongs to the effective group. The introduction of a leaner reduces the content of “dangerous” pores.

Keywords: argillite, flotation waste, coal enrichment, inter-shale clay, thermal insulation brick, porosity structure

For citation: Abdrakhimov V.Z. The effect of argillite-like waste from carbon enrichment flotation on the porosity structure of thermal insulation material // News of KSUAE, 2025, № 1(71), p. 77-91, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.7, EDN: GHOVQA

1. Введение

Пористость. Структура (это то, что обеспечивает материалу целостность) пористости является одним из ключевых параметров, создающих результативные физико-механические, искусственные (химические), технические характеристики и определяющих качество теплоизоляционных изделий [1-3].

Структура пористости – это кумулятивное понятие, используемое для объяснения термина пористости, включающее не только размеры пор, но и разеляющее их по габаритам морфологии разнообразной сложности поровых каналов, шершавости граней и сферы, очертания пор и т.д. [4, 5]. Пористая структура особенно материалов теплоизоляционного назначения включает твердый фрагмент и сами поры [6, 7].

В существующих публикациях представлены попытки систематизации пористости, однако классификация ее пока не разработана. Финальная структура в теплоизоляционных материалах анализируется неудовлетворительно. Приоритетной задачей в структуре детализируемого изделия является интерпретация объема пор и рассредоточение их по размерам [1, 8].

Смысл экспериментов и анализов, связанных с пористостью, должен основываться на сравнительной ценности качественных и количественных особенностей выстраивания

пор по параметрам и их всевозможных корреляций (например: открытые, закрытые, тупиковые и т.д.) в теплоизоляционных материалах [1, 8, 9]. Исходя из произведенных обсуждений (экспериментов, анализов и т.д.) пористости теплоизоляционных изделий, выработаны постулаты о комплексе неоднородных пор и исследуемой пористости, кооперирующийся по неоднородным индикаторам, параметрам и уникальностью пористых конфигураций. Однако общепринятой систематизации пористости пока не существует [10-12].

По предположению авторов работ [12-14], в наибольшей степени для керамических изделий «опасными» являются поры размером от 10^{-6} до 10^{-7} м, так как значительное их количество, входящее в общий состав пористости, способствует низкой морозостойкости.

Экологическая ситуация. Степень утилизации отходов ТЭК (топливно-энергетический комплекс) в настоящее время не превышает 10%, оставшиеся 90% складываются в отвалы. Поэтому масштабные селитебные площади, не без влияния отходов производств, становятся промзонами, которые охватывают районы не только с повышенным количеством проживающего населения, но и включают сельскохозяйственные угодья, зоны с водными истоками, используемыми в потребительских целях и земли, рассчитанные для строительства зданий, как для жилья, так и для производства [15-17]. Вследствие такого функционирования, неблагоприятно обостряется экологическая ситуация.

В настоящее время на Кузбассе функционируют на постоянной основе около 55 обогатительных фабрик, благодаря которым переработка угля с каждым годом возрастает и достигла уже более 192 млн. т. Это составляет практически 50% от всего добываемого в России угля, а в целом в Кемеровской области извлекается около 60% угля от общего объема [15-17].

Обогатительные фабрики реализуют двойственную роль. С одной стороны, совершенствуют качество извлекаемого угля за счет устранения пустых пород и потенциальных побочных примесей, которые негативно влияют, с другой стороны, не только на атмосферный воздух, но и на экологические системы. В утилизированном сырье обогатительных фабрик вполне возможно пребывают как внушительные фракции, складываемые в отвалах, так и мелкие фрагменты величиной до 30 мкм [17-19]. Отходы ТЭК, которые можно отнести к материалам, аккумулирующим масштабное количество отходов. А с учетом того, что в отходах углеобогащения органическая составляющая колеблется в диапазоне 14-18%, рационально употреблять в генерации теплоизоляционных изделий в качестве выгорающей добавки.

Креативные технологии, практикуемые в формировании теплоизоляционных изделий, рекомендуют рециклинг отходов углеобогащения как выгорающий модификатор и отощитель в продукцию теплоизоляционного направления, что частично решит проблемы потерь натурального природного сырья и утилизации отходов ТЭК.

Разумная эксплуатация отходов ТЭК для проектирования выгодной продукции, а именно теплоизоляционных изделий, нуждается в комплексной оценке отходов ТЭК по содержанию в них оксидов, минералов, фракций, технологических показателей и иных свойств.

Аргиллитоподобное сырье. Авторы статей [20, 21] проанализировали целесообразность классификации залежей аргиллитов и аргиллитоподобных глин на три класса:

- естественного происхождения;
- искусственного месторождения, образующиеся при извлечении угля, но чаще при его обогащении;
- связанные с вскрышными, попутными и вмещающими породами.

Аргиллитоподобное сырье второго класса появляется при обогащении угля и отвечает условиям ГОСТа 21216-2014 «Сырье глинистое. Практика испытаний» Аргиллиты, образовавшиеся при углеобогащении, ассоциируются с хрупкими конгломератами (влажность 3-7%), должны быть тщательно изучены.

Единой формулировки для аргиллитов пока нет, но в некоторых случаях литифицированные (модификация рыхлых пород в конгломераты) аргиллитовые глинистые породы разделяют на: а) размокающие и б) не размокающие [21-23]. Некоторые

виды керамических материалов авторы работ [24-26] получили на основе аргиллитов. Следует отметить, что несмотря на изученные положительные свойства аргиллитоподобного сырья оно в керамических материалах строительного направления не нашло своего применения. Одной из причин можно считать отсутствие информативности по химико-минералогическим и фракционным составам, технологическим параметрам и другим показателям [21, 27].

Исчерпывание доминирующих сырьевых материалов натуральной разработки для генерации теплоизоляционных изделий определило неизбежность ротации натурального сырья на отходы ТЭК, которые по накоплению в России находятся на первом месте. В передовых странах такой инструментарий применяется еще и для безопасности окружающей среды.

Цель работы: оценить комплементарный фактор влияния аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения на технические характеристики, и пористую структуру на основе межсланцевой глины теплоизоляционного материала и его фазовый состав.

Задачами исследования являются: рекомендовать рациональную корректировку по утилизации крупнотоннажных отходов ТЭК для создания производства теплоизоляционного кирпича. Исследовать структуру пористости, которая определяет ключевые параметры теплоизоляционного кирпича. *Объектом исследования являются:* аргиллитоподобные отходы флотации углеобогащения, межсланцевая глина, теплоизоляционный кирпич.

2. Материалы и методы

Поэлементные составы и микроструктуры сырьевых материалов анализировались с применением: растрового электронного микроскопа JSM 6390A фирмы Jeol, Япония. С использованием иммерсионных жидкостей петрографические исследования проводили под микроскопом МИН-8 и МИН-7. Прозрачные шлифы образцов анализировались по методикам, представленным в работах [28, 29].

Оценка пор по крупности выполнялась способом «ртутной порометрии» на порометрической установке П-3М [30, 31]. При такой оценке диаметр пор, называемый адекватным, описывался уравнением $D_{\text{экв.}} = (4\sigma \cos\theta)/P$, где σ — поверхностное натяжение ртути; θ — краевой угол смачивания; P — давление внешнее.

При расчете пор теплоизоляционных материалов регистрировали параметры: $\sigma = 471,6$ дин/см²; $\theta = 145^\circ$ ($\cos 145^\circ = 0,8192$); плотность ртути $\rho = 13,546$ г/см³ при 20 °С. Приведенное давление $P_{\text{прив.}}$ определялось по соответствующим значениям $P_{\text{прив.}} = P_{\text{ман.}} + P_{\text{нач.}} - \Delta P$, где $P_{\text{ман.}}$ — манометрическое давление, кг/см²; $P_{\text{нач.}}$ — давление начальное, кг/см²; ΔP — минимальное давление столбика ртути в капилляре дилатометра, кг/см². Методика прошла стандартизацию по ISO 15901-1:2005 «Распределение пор по размерам и определение пористости твердых материалов методами ртутной порометрии и адсорбции газа».

Исследование амплитуды крупинок отходов ТЭК осуществлялась металлографическим анализом при интенсификации в 200 раз на микроскопе МИН-8М. Крупинки отходов после растворения в спирте располагались на стекле и снимались фотоаппаратом. Пользование шкалой микромера ($l_{\text{дел.}} = 0,001$ мм), позволяет обнаружить средний размер отходов.

Для наглядного распознавания фазового состава приведены электронно-микроскопические фотоснимки, полученные на электронном микроскопе ЭМВ - 100Б. По лабораторным практикам [32, 33] и ГОСТу 530-2012 «Кирпич и камни керамические» диагностировались технические и технологические свойства и показатели.

Сырьевые материалы. В качестве сырьевых компонентов использовались: межсланцевая глина и аргиллитоподобные отходы флотации углеобогащения ГОФ «Томусинская». Базовые показатели и свойства отходов ТЭК: химические составы - усреднённый оксидный приведен табл. 1, а поэлементный химический состав в табл. 2, фракционный состав в табл. 3, технологические свойства в табл. 4, металлографический анализ представлен на рис. 1, минералогический на рис. 2, а микроструктура на рис. 3.

Таблица 1

Усредненный химический оксидный состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
1.Межсланцевая глина	45,40	13,87	5,60	11,30	2,30	3,5	18,03
2.Отходы флотации углеобогащения	50,54	18,19	6,38	1,29	0,20	4,45	18,91

Примечание: п.п.п. – потери при прокаливании; R₂O=K₂O+Na₂O

Таблица 2

Поэлементный химический состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание элементов, мас. %									
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	S
1.Межсланцевая глина	5,73	48,85	0,46	1,04	8,20	22,66	1,75	9,53	3,35	-
2. Отходы флотации углеобогащения	8,88	49,19	1,08	—	11,91	23,02	1,39	0,35	3,96	0,24

Таблица 3

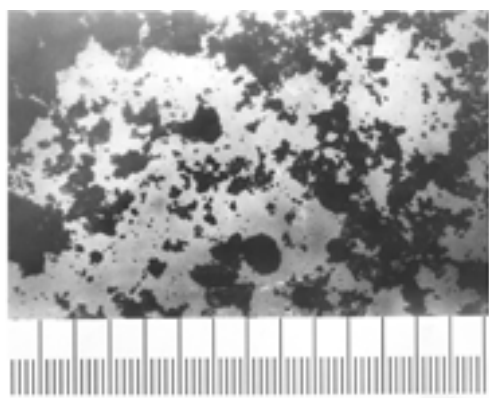
Фракционный состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
1.Межсланцевая глина	7	10	13	15	55
2.Отходы флотации углеобогащения	22	19	9	22	28

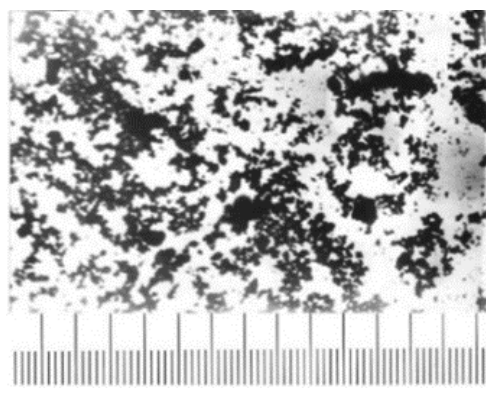
Таблица 4

Технологические показатели сырьевых компонентов материалов

Компонент	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °С		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
1.Межсланцевая глина	1200	1270	1310	1350
2. Отходы флотации углеобогащения	2700	1220	1260	1300



а)



б)

Рис. 1. Металлографический анализ сырьевых компонентов:

а) межсланцевой глины; б) отходы флотации углеобогащения (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Metallographic analysis of the raw material components:

a) inter-shale clay; b) coal enrichment flotation waste (illustration by the authors)

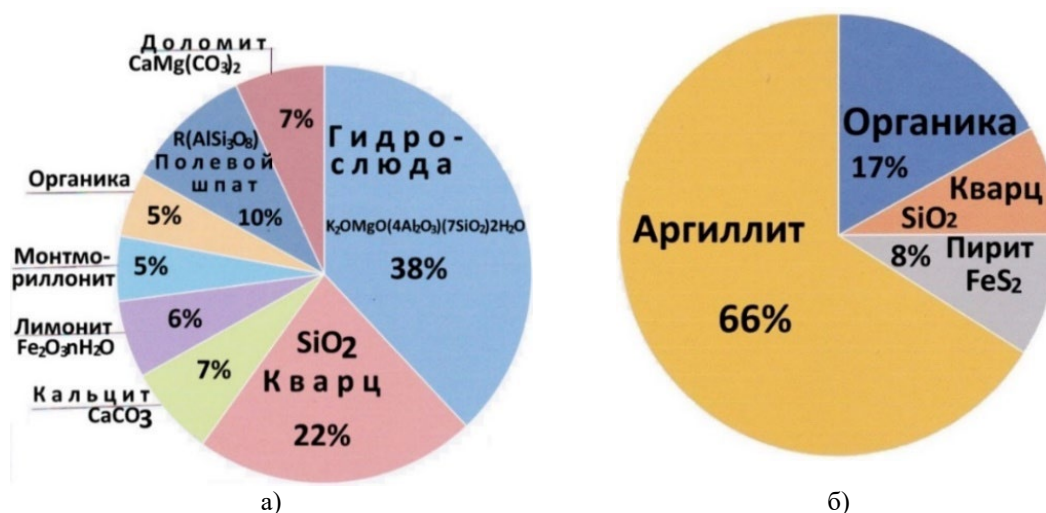


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых компонентов:
 а) межсланцевая глина; б) отходы флотации углеобогащения (иллюстрация авторов)
 Fig. 2. Mineralogical composition of the raw material components:
 а) inter-shale clay; б) coal enrichment flotation waste (illustration by the authors)

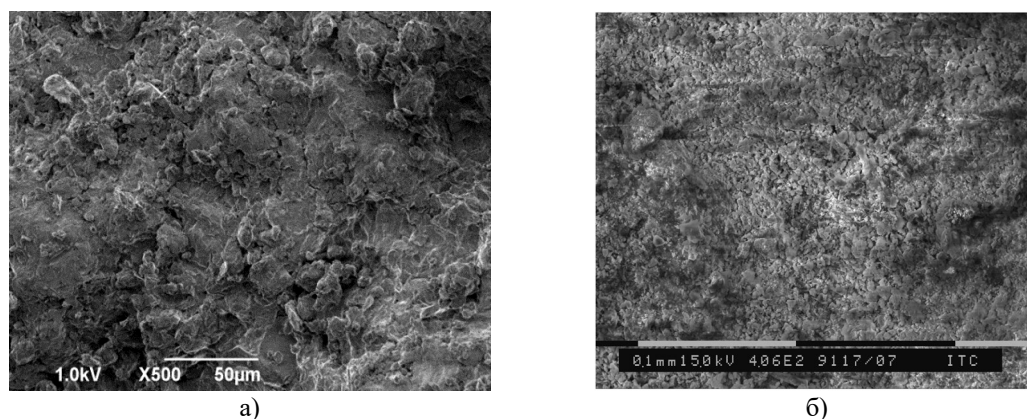


Рис. 3. Микроструктура сырьевых компонентов: а) межсланцевая глина; б) отходы флотации углеобогащения. Увеличение а) x500; б) x400 (иллюстрация авторов)
 Fig. 3. Microstructure of the raw material components:
 а) inter-shale clay; б) coal enrichment flotation waste. Magnification а) x500; б) x400 (illustration by the authors)

Межсланцевая глина. Используемая в качестве связующей межсланцевая глина достаточно подробно представлена в работе [19], а технические и технологические параметры обозначены в табл. 1-4 и на рис. 1-3. Межсланцевая глина (рис.1, а) черного цвета размером менее 10 мкм.

Аргиллитоподобные отходы флотации углеобогащения. В качестве отощителя и выгорающей добавки использовались отходы флотации углеобогащения ГОФ «Томусинская» (ГОФ – горно-обогатительная фабрика) [34]. На 66% отходы флотации состоят из аргиллита (рис. 2, б) в основном из мелких и средних включений (от 1-3 до 3-5 мкм, черного цвета, рис. 1, б), а базовые показатели представлены в табл. 1-4 и на рис.1-3.

Технология получения теплоизоляционного кирпича и его показатели.

Традиционная технология, как и в работах [19, 35], представлена следующими операциями: подсушка сырьевых материалов, измельчение до размера не более 1 мм, перемешивание согласно дозировке (табл. 5), пластическое формование кирпичей при влажности 21-23% (размером 250x120x65 см, стандартный кирпич по ГОСТу), которые высушивали в сушильном шкафу до остаточной влажности не более 5%, а затем обжигались при 1000°C. Технические (физико-механические) показатели теплоизоляционного кирпича представлены в табл. 6. Микроструктура образцов

оптимального состава рассмотрена на рис. 4, порограммы образцов составов №1 и №4 представлены по аналогии, как и в работе [14], на рис. 5, а фазовые составы микроструктур на рис. 6.

Таблица 5

Составы керамических масс и их пластичность

Компонент	Содержание отходов, мас. %				
	1	2	3	4	5
Межсланцевая глина	100	90	85	80	70
Отходы флотации углеобогащения	–	10	15	20	30
Пластичность, безразмерная величина	20	18	15	11	9

Таблица 6

Технические показатели теплоизоляционного кирпича

Показатель	Составы				
	1	2	3	4	5
1. Прочности при сжатии, МПа	9,5	10,7	12,8	13,1	12,2
2. Прочности при изгибе, МПа	2,0	2,5	2,8	2,9	2,7
3. Морозостойкость, циклы	18	24	28	36	27
4. Водопоглощение, %	14,7	13,2	12,0	11,4	12,5
5. Усадка, %	7,8	7,4	6,8	5,7	4,8
6. Плотность, кг/см ³	1720	1540	1370	1280	1210
7. Пористость, %:					
открытая,	30,2	35,4	38,8	40,7	44,5
закрытая,	2,7	5,4	6,7	7,4	7,8
общая	32,9	40,8	45,5	48,1	52,3
8. Теплопроводность, Вт/(м•°C)	0,49	0,44	0,37	0,31	0,23
9. Марочность кирпича	M75	M100	M125	M125	M100

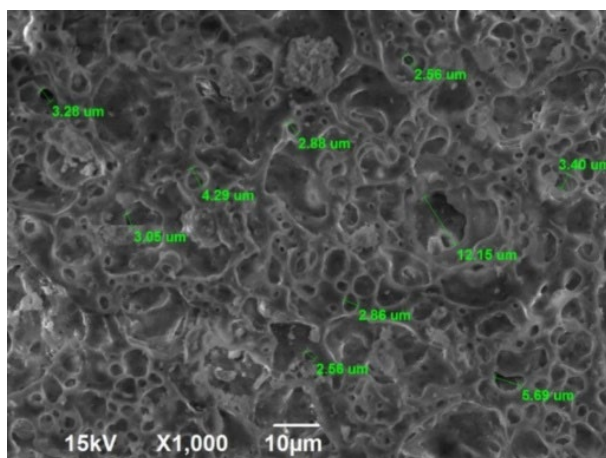


Рис. 4. Микроструктура образца из оптимального состава №4. Увеличение x1000
(иллюстрация авторов)

Fig. 4. Microstructure of a sample from optimal composition No.4. Magnification x1000
(illustration by the authors)

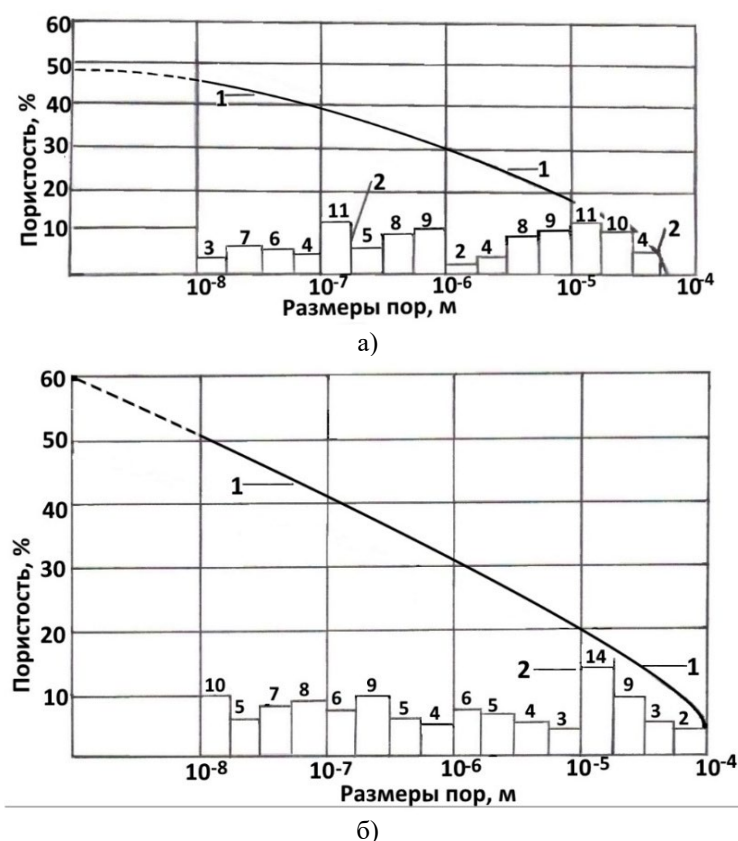


Рис. 5. Порограммы исследуемых образцов из составов №1 и №4, обожженных при температуре 1000°C: а) состав №1; б) состав №4

1 – интегральные порограммы (сумма объема пор);
2 – дифференциальные порограммы (% содержание пор по радиусу)
(иллюстрация авторов)

Fig. 5. Porograms of the studied samples from compositions No. 1 and No. 4, fired at a temperature of 1000° C.: a) composition No. 1; b) composition No. 4

1 – integral porograms (the sum of the pore volume; 2 – differential porograms (% of the pore content by radius) (illustration by the authors)

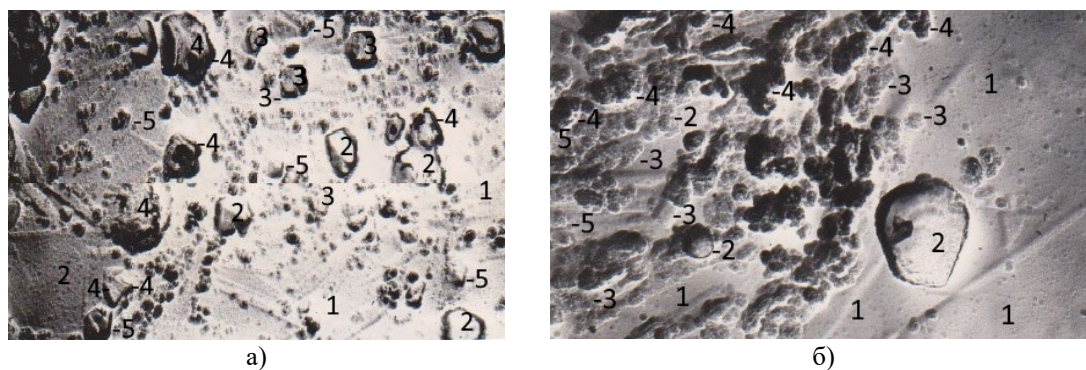


Рис. 6. Микроструктуры керамических образцов из составов №1 и №4

а) №1; б) №4. 1 – стеклофаза; 2 – кварц; 3 – кристобалит; 4 – гематит; 5 – анортит. Увеличение x15000 (иллюстрация авторов)

Fig. 6. Microstructures of ceramic samples from compositions No. 1 and No. 4

а) No. 1; б) No. 4. 1 – glass phase; 2 – quartz; 3 – cristobalite; 4 – hematite; 5 – anorthite. Magnification x15000 (illustration by the authors)

б)

3. Результаты и обсуждение

Дифференциация теплоизоляционных (легковесных кирпичей) применительно к плотности разграничивают по трем группам: А – от 700 до 1000 кг/м³; Б – от 1000 до 1300 кг/м³; В от 1300 до 1450 кг/м³. Факты табл. 6 неоспоримо аргументируют, что образцы из

состава №3 зачисляются в группу В, из составов №4 и №5 - к группе Б, а образцы из составов №4 и №5 – обыкновенный кирпич.

Данные табл. 6 согласно ГОСТа 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»: теплотехнические характеристики изделий оцениваются по коэффициенту теплопроводности в сухом состоянии λ Вт/(м °С) и показывают: образцы из составов №4 и №5 относятся к группе – эффективные, из составов № 2 и №3 к группе – условно эффективные, а образцы из состава №1 следует отнести к группе – малоэффективные (обычные). Оптимальным составом по плотности и коэффициенту теплопроводности с учетом марочности кирпича можно считать состав №4.

Полученные способом ртутной порометрии, порограммы интегрального и дифференциального характера, рассматриваемых образцов, отображены на рис. 5. Порограммы определили, что интегральный объем микропор величиной от 10^{-4} до 10^{-8} м достигают в образцах состава №1-0,148 см³/г, а в предпочтительном (оптимальном) составе №4 наблюдается рост – до 0,160 см³/г. А дифференциальная дистрибуция обусловлена в зависимости от величины микропор, для образцов состава №1, %: 10^{-4} - 10^{-5} – 25; 10^{-5} - 10^{-6} м – 23; 10^{-6} - 10^{-7} м – 32; 10^{-7} – 10^{-8} м – 20, а в образцах состава №4, %: 10^{-4} - 10^{-5} – 28; 10^{-5} - 10^{-6} м – 18; 10^{-6} - 10^{-7} м – 24; 10^{-7} – 10^{-8} м – 30.

Для керамических материалов особенно опасными, по предложению М.К. Гальпериной, интерпретируются малокапиллярные поры с радиусом от 10^{-5} до 10^{-7} м [8, 36, 37]. М.К. Гальперина этого вида поры именует «опасными», так как именно они создают изделия неморозостойкими. Процентное содержание «опасных» пор в образцах состава №1 – 55%, а в образцах состава №4 – 42% (рис. 5). В микропорах керамических материалов величиной $<10^{-7}$ м (0,1 мкм) располагается связанная вода, не переходящая в лед до -70°C , поэтому поры такой величины не приносят особого вреда физико-механическим и химическим показателям [13, 35, 37] керамических материалов. Процентное содержание именно «безопасных» пор в образцах составов №1 и №4 соответственно равны 20 и 30% (рис. 5 а и б).

Резервные микропоры (размер 10^{-4} – 10^{-5} м) группируются в сегмент безопасных пор, в которых хотя и концентрируется влага, но задержаться ей не удастся [13, 36, 37]. Содержание таких пор, как показали исследования, в образцах состава №4 превышают в образцах и соответственно равны 28 и 25% (рис. 5 а и б).

Взаимно соединяющиеся поры с диаметром более 10^{-4} м (200 мкм и выше) интерпретируются как «опасные» [13, 36, 37]. Авторы работ [8, 36, 37] микропоры размером (10^{-6} – 10^{-7} м) также оценивают как «опасные», которых в образцах состава №4 невелик в большей степени применительно к составу №1 и соразмерно равняются 32 и 24% (рис. 5 а и б).

В проверяемых легковесных кирпичах из №4 на рис. 5 при усилении роста $\times 1000$ замечены микропоры размером от 2,56 до $5,69 \cdot 10^{-6}$ м, а к резонансной можно отнести пору $12,15 \cdot 10^{-6}$ м.

Продиагностировав пористость, авторы работ [38-40] соприкоснулись с тремя типами пор причем в подавляющей степени: изометрические (отличительные категории каналов), щелевидные (косые, ассиметричные типы щелевых) и овальной конфигурации (эллипсообразные и округлые другие варианты), что констатируют вышеприведенные работы (рис. 5). Гетерогенная структуры пористости, вне всякого сомнения, не располагает позитивными последствиями на показатели теплоизоляционного кирпича, но тем не менее удлиненные – щелевидные поры, касательно к округлым, в большей степени наносят вред сопротивлению разрушению

Анализ фазовой композиции состава №1 выявил пребывание в образце стекломассы, которые состоят из оплавленных мелкой и средней величины оксида кремния чаще габитуса ромбоздрического (рис. 6, а), а габитусы анортита, гематита некоторых кристаллов α -кристобалита таблитчатые и тетрагональные. Появление стекломассы бесцветной возникло вследствие плавления полевых шпатов, а желтоватых и буроватых частично плавлению смешанных глинистых минералов (гидрослюда и монтмориллонита). За счет повышенного содержания оксидов щелочей и железа в отходе флотации (табл. 1) использование его в количестве 20% благоприятствует росту стеклофазы.

Микроскопические наблюдения показали, что образовавшая маловязкая жидкая фаза в образцах №4 заполняет капиллярные каналы, которые возникли в результате сгорания органики. Выявлен рост показателей преломления (n) от 1,48-1,52 до 1,55-1,57, что объясняется переход в расплав некоторой части оксида железа [24, 25]. Коэффициент преломления у SiO_2 равен 1,475, а у стеклофазы в образцах состава №4 1,55-1,57, что свидетельствует об образовании в исследуемом материале щелочезелезистого стекла, которое повышает прочность керамических изделий. У оксида кремния (SiO_2) n (коэффициент преломления) $n=1,55-1,57$, что констатирует формирование щелочезелезосодержащей стекломассы, которое наращивает рост прочности изделия.

4. Заключение

1. Отмечено, что для производства легковесного кирпича предпочтительным составом является композиция, включающая глину межсланцевую на 80%, а оставшиеся 20% - отходы аргиллитоподобной флотации углеобогащения ГОФ «Томусинская». Такой теплоизоляционный кирпич по плотности относится к классу Б, а в сухом положении по коэффициенту теплопроводности к группе – эффективные.

2. Методом сравнения интегральных и дифференциальных порограмм было выявлено, что «опасных» пор с радиусом от 10^{-5} до 10^{-7} м в образцах состава без применения отошителя было 55%, а в оптимальном составе, содержащем 20% отошителя - 42%.

3. Выявлено, что в образцах, не имеющих в своем составе отошитель, имеется невысокое содержание безопасных микропор ($10^{-7} - 10^{-8}$ м), а имеющих отошитель - повышенное, что соответственно составляет 20 и 30%. Микропоры размером $10^{-4}-10^{-5}$ м также оцениваются как безопасные, содержание которых в образцах с отошителем повышенное и составляет 28%, а без отошителя 25%.

4. При исследовании фазового состава электронным микроскопом выявлено, что образование щелочезелезистого стекла способствует повышению прочности керамических изделий.

Список литературы / References

1. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Mossbauer Spectroscopy Study of the Iron Oxides, Phase Composition, and Porosity Structure in Ceramic Brick Based on Intershale Clay and Lignite Slag // Glass and Ceramics. 2019. Vol. 76. No.1-2. P. 56-62.
2. Евдокимов П.В., Тихонова С.А., Киселёва А.К., Филиппов Я.Ю., Новоселецкая Е.С., Ефименко А.Ю., Путляев В.И. Влияние размера пор на биологическую активность резорбируемых макропористых керамических материалов на основе $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, полученных методом фотополимеризации // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 66. С. 1507-1513.
Evdokimov P.V., Tikhonova S.A., Kiseleva A.K., Filippov Ya.Yu., Novoseletskaia E.S., Efimenko A.Yu., Putlyaev V.I. The effect of pore size on the biological activity of resorbable macroporous ceramic materials based on $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ obtained by photopolymerization // Journal of Inorganic Chemistry. 2021. Vol. 66. P. 1507-1513].
3. Фандеев В.П., Самохина К.С. Методы исследования пористых структур. // Интернет-журнал «Науковедение» 2015. Т.7. №4. С. 2-12. DOI: 10.15862/34TVN415 (<http://dx.doi.org/10.15862/34TVN415>).
Fandeev V.P., Samokhina K.S. Methods of studying porous structures. // Online journal "Science Studies" 2015. Vol.7. No.4. P. 2-12. DOI: 10.15862/34TVN415 (<http://dx.doi.org/10.15862/34TVN415>).
4. Зими́на В.А. Экспериментальное исследование структуры, упругих и прочностных характеристик пористой корундовой керамики // Вестник Томского государственного университета. 2020. №67. С. 117-126.
Zimina V.A. Experimental study of the structure, elastic and strength characteristics of porous corundum ceramics // Bulletin of Tomsk State University. 2020. No. 67. P. 117-126. DOI 10.17223/19988621/67/11.
5. Смолин А.Ю., Еремина Г.М., Коростелев С.Ю. Зависимости механических свойств

- керамики с бимодальным распределением пор по размерам от пористости на разных масштабных уровнях // Известия высших учебных заведений. Физика. 2019. Т. 62, № 8. С. 128-136.
- Smolin A.Yu., Eremina G.M., Korostelev S.Yu. Dependences of the mechanical properties of ceramics with a bimodal pore size distribution on porosity at different scale levels // News of higher educational institutions. Physics. 2019. Vol. 62, No. 8. P. 128-136.
6. Капустин Р.Д., Кириллов А.О., Уваров В.И., Закоржевский В.В. Исследование влияния морфологии исходных порошков на структурно-размерные характеристики пористых керамических материалов на основе SiC. //Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2023. Т. 89. №11. С. 44-51. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-11-44-51>.
- Kapustin R.D., Kirillov A.O., Uvarov V.I., Zakorzhevsky V.V. Study of the effect of morphology of initial powders on the structural and dimensional characteristics of porous ceramic materials based on SiC. //Factory laboratory. Diagnostics of materials. 2023. Vol. 89. No. 11. P. 44-51. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-11-44-51>
7. Кислицын А. А., Потапов А.Г. Исследование распределения пор по размерам в пористой среде с помощью ядерного магнитного резонанса // Вестник Тюменского государственного университета. Серия: Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2015. Т. 1, № 3. С. 52-59.
- Kislitsyn A. A., Potapov A.G. Study of pore size distribution in a porous medium using nuclear magnetic resonance // Bulletin of the Tyumen State University. Series: Physical and mathematical modeling. Oil, gas, and energy. 2015. Vol. 1, No. 3. P. 52-59.
8. Гальперина М.К., Егев В.М. Изменение пористой структуры фасадных плиток при испытании их на морозостойкость // Тр. ин-та НИИстройкерамики, 1985. Вып. 56. С.71-82.
- Galperina M.K., Egerev V.M. Changing the porous structure of facade tiles when testing them for frost resistance // Tr. in-ta NIISTroikeramiki, 1985. Iss. 56. P.71-82.
9. Салахов А.М., Тагиров Л.Р., Салахова Р.А. Поры и прочностные характеристики строительных материалов // Строительные материалы. 2011. №12. С. 25-28.
- Salakhov A.M., Tagirov L.R., Salakhova R.A. Pores and strength characteristics of building materials // Building materials. 2011. No.12. P. 25-28.
10. Федяев В.Л., Галимов Э.Р., Беляев А.В., Сироткина Л.В. Влияние пористости технических материалов на их прочностные свойства // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 2 (156). С. 28-35. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-2-28-35, EDN: GTJXGR.
- Fedyayev V.L., Galimov E.R., Belyaev A.V., Sirotkina L.V. Influence of porosity of technical materials on their strength properties // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023. No. 2 (156). P. 28-35. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-2-28-35, EDN: GTJXGR.
11. Морозов Н. М., Боровских И. В., Хозин В. Г., Галеев А. Ф. Исследование свойств цементных систем с комплексными наполнителями // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 7. – С. 217-220. – EDN TUUILB.
- Morozov N. M., Borovskikh I. V., Khozin V. G., Galeev A. F. Study of the properties of cement systems with complex fillers // Bulletin of the Technological University. - 2015. - Vol. 18, No. 7. - P. 217-220. - EDN TUUILB.
12. Хасанов Д.И., М.А. Лоншаков Исследование масштабного эффекта и понятия элементарного представительного объема горных пород применительно к пористости. // Георесурсы. 2020. №4. С. 55–69. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.55-69>
- Khasanov D.I., M.A. Lonshakov Investigation of the large-scale effect and the concept of an elementary representative volume of rocks in relation to porosity. // Geo resources. 2020. No.4. P. 55-69. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.55-69>.
13. Абдрахимова Е.С., Рошупкина И.Ю., Абдрахимов В.З., Кайракбаев А.К., Колпаков А.В. Влияние топливосодержащих отходов на структуру пористости теплоизоляционного материала // Строительство и реконструкция. 2018. №2. С.

- 113-120.
Abdrakhimova E.S., Roshchupkina I.Yu., Abdrakhimov V.Z., Kairakbaev A.K., Kolpakov A.V. The effect of fuel-containing waste on the porosity structure of thermal insulation material // Construction and reconstruction. 2018. No.2. P. 113-120.
14. Абдрахимов В.З. Определение структуры пористости кислотоупоров на основе отходов цветной металлургии методами ртутной порометрии и диффузного РМУ // Новые огнеупоры. 2024. №11. С. 50-56.
Abdrakhimov V.Z. Determination of the porosity structure of acid-resistant materials based on non-ferrous metallurgy waste by mercury porometry and diffuse PMU // New refractories. 2024. No. 11. P. 50-56.
15. Масаев Ю. А., Копытов А.И., Масаев В. Ю., Яковченко М.А. Влияние развития угледобычи на экологическую обстановку в Кузбассе // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности 2019. №4. С. 68-76.
Masaev Yu. A., Kopytov A.I., Masaev V. Yu., Yakovchenko M.A. The impact of coal mining development on the environmental situation in Kuzbass // Bulletin of the Scientific Center for safety of work in the coal industry 2019. No.4. P. 68-76.
16. Тарзанов Г. И. Итоги работы угледобывающей промышленности России за январь-июнь 2018 г - журнал «Уголь», № 10, 2018. С. 47-59. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-47-59.
Tarzanov G. I. Results of the work of the Russian coal mining industry in January-June 2018 – Journal “Coal”, No. 10, 2018. P. 47-59. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-47-59.
17. Соколова С.В., Баранова М.Н., Васильева Д.И., Холопова Ю.А. Перспективы применения промышленных отходов для повышения долговечности и огнеупорности жаростойких бетонов // Строительство и реконструкция. 123-133. №2. С. 123-133. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133.
Sokolova S.V., Baranova M.N., Vasilyeva D.I., Kholopova Yu.A. Prospects for the use of industrial waste to increase the durability and fire resistance of heat-resistant concrete // Construction and reconstruction. 123-133. No. 2. P. 123-133. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133.
18. Бижанов А.М., Макавецкас А.Р. Рудоуглеродные брикеты на основе продуктов переработки золошлаковых смесей ТЭС // Кокс и химия. 2024. №4. С. 44-51. DOI: 10.52351/00232815_2024_4_44.
Bizhanov A.M., Makavetskias A.R. Ore-carbon briquettes based on products of processing of ash and slag mixtures of thermal power plants // Coke and Chemistry. 2024. No.4. P. 44-51. DOI: 10.52351/00232815_2024_4_44.
19. Абдрахимов В.З., Абдрахимов Д.В. Исследование влияния золошлаковой смеси на сушильные свойства керамического образца с использованием метода регрессивного анализа // Строительство и реконструкция. 2024. №3. С. 113-122. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-113-3-113-122
Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimov D.V. Investigation of the effect of ash and slag mixture on the drying properties of a ceramic sample using the regression analysis method // Construction and reconstruction. 2024. No.3. P. 113-122. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-113-3-113-122
20. Журавлева Н.В. Методы оценки влияния процессов добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экономическое состояние природной среды // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности ООО «ВостЭКО». Кемерово. 2016. Выпуск 4. С. 102-112.
Zhuravleva N. V. Methods for assessing the impact of coal mining and processing processes in the Kuznetsk coal basin on the economic state of the natural environment // Bulletin of the Scientific Center for the safety of work in the coal industry of VostECO LLC. Kemerovo. 2016. Iss. 4. P. 102-112.
21. Абдрахимова Е.С. Использование отходов углеобогащения и межсланцевой глины в производстве керамического кирпича // Уголь. 2021. №7. С. 52-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-52-55
Abdrakhimova E.S. The use of coal-enrichment waste and inter-shale clay in the

- production of ceramic bricks // Coal. 2021. No. 7. P. 52-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-52-55.
22. Черкасова Т.Г., Тихомирова А.В., Пилин М.О., Баранцев Д.А., Ченская В.В. Комплексная переработка высокоуглеродных отходов от обогащения и сжигания угля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023 № 5 (159). С. 65-72. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-65=72, EDN: UDSAMF.
Cherkasova T.G., Tikhomirova A.V., Pilin M.O., Barantsev D.A., Chenskaya V.V. Complex processing of high-carbon waste from coal enrichment and combustion // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023 No. 5 (159). P. 65-72. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-65=72, EDN: UDSAMF.
23. Котляр А.В., Талпа Б.В., Лазарева Я.В. Особенности химического состава аргиллитоподобных глин // Строительные материалы. 2016. №4. С. 10-13.
Kotlyar A.V., Talpa B.V., Lazareva Ya.V. Features of the chemical composition of argillite-like clays // Building materials. 2016. No.4. P. 10-13.
24. Котляр В.Д., Козлов А.В., Котляр А.В., Терёхина Ю.В. Особенности камневидных глинистых пород Восточного Донбасса как сырья для производства стеновой керамики // Вестник МГСУ. 2014. № 10. С. 95-105.
Kotlyar V.D., Kozlov A.V., Kotlyar A.V., Terekhina Yu.V. Features of the stone-like clay rocks of the Eastern Donbass as a raw material for the production of wall ceramics // Bulletin of MGSU. 2014. No. 10. P. 95-105.
25. Талпа Б.В., Котляр А.В. Минерально-сырьевая база литифицированных глинистых пород Юга России для производства строительной керамики // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 31-33.
Talpa B.V., Kotlyar A.V. Mineral resource base of lithified clay rocks of the South of Russia for the production of building ceramics // Building materials. 2015. No. 4. P. 31-33.
26. Кара-сал Б.К., Котельников В.И., Сапелкина Т.В. Получение керамического стенового материала из вскрышных пород углеобогащения // Естественные и технические науки. 2015. № 2. С. 160-163.
Kara-sal B.K., Kotelnikov V.I., Sapelkina T.V. Production of ceramic wall material from overburden rocks of coal enrichment // Natural and technical sciences. 2015. No. 2. P. 160-163.
27. Котляр А.В., Талпа Б.В. Особенности аргиллитоподобных глин юга России как сырья для производства клинкерного кирпича. Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием. Ростов-на-Дону. 2015. 19 февраля. С. 51-53.
Kotlyar A.V., Talpa B.V. Features of argillite-like clays of the South of Russia as raw materials for the production of clinker bricks. Proceedings of the scientific conference of students and young scientists with international participation. Rostov-on-Don. 2015. February 19. P. 51-53.
28. Nunes K.G.P. Illi J.C., Dávila I.V.J., Feris L.A Use of coal beneficiation tailings as solid sorbents in the treatment of nitrate-contaminated real wastewater /// Applied Water Science. 2020, Vol. 10, No. 4, P. 14.
29. Исакова Е.В., Иванов Ф.И., Карев Д.А. Эколого-экономическая оценка технологий утилизации угольных отходов на примере котельной ЦОФ «Абашевская» // Фундаментальные и практические аспекты устойчивого развития ресурсных регионов. Материалы IV (XXI) Всероссийской научной конференции с международным участием. Под общей редакцией О.С. Андреевой. Кемеровский государственный университет, Новокузнецк. 2023. С. 99-101.
Isakova E.V., Ivanov F.I., Karev D.A. Ecological and economic assessment of coal waste disposal technologies using the example of the Abashevskaya Central Research Institute boiler house // Fundamental and practical aspects of sustainable development of resource regions. Materials IV (XXI) All-Russian Scientific Conference with international participation. Under the general editorship of O.S. Andreeva. Kemerovo State University, Novokuznetsk. 2023. P. 99-101.
30. Хамзина Т.А. Состояние флотации угольных шламов // Глобус. 2022 №4(73). С.

- 158-159.
Khamzina T.A. The state of coal sludge flotation // Globus. 2022 No.4(73). P. 158-159.
31. Тогжанов И.А., Чердабаев А.Ш., Сайбулатов С.Ж., Абдрахимов В.З. Формирование пористой структуры керамического материала из глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд. // Известия академии наук СССР. Неорганические материалы. 1989. Т25. С 874-875.
Togzhanov I.A., Cherdabaev A.Sh., Saibulatov S.Zh., Abdrakhimov V.Z. Formation of the porous structure of ceramic material from the clay part of the “tailings” of gravity of zircon-ilmenite ores. // Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Inorganic materials. 1989. Vol. 25. P. 874-875.
32. Сулейменов С.Т., Сайбулатов С.Ж., Тогжанов И.А. Исследование влияния температурно-газовых параметров обжига на формирование пористой структуры золокерамика // Журнал прикладной химии. 1986. Т. №5. С. 1052-1056.
Suleimenov S.T., Saibulatov S.Zh., Togzhanov I.A. Investigation of the influence of temperature and gas parameters of firing on the formation of a porous structure of ash ceramics // Journal of Applied Chemistry. 1986. Vol. No. 5. P. 1052-1056
33. Андреева Т.А. Отходы производства в угольной промышленности // X Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая», Кемерово, 24-27 апреля 2018 г. Кемерово: КузГТУ им. Т.Ф. Горбачёва, 2018 С. 53301.1-53301.4.
Andreeva T.A. Production waste in the coal industry // X All-Russian scientific and practical conference of young scientists “Young Russia”, Kemerovo, April 24-27, 2018 Kemerovo: KuzSTU named after T.F. Gorbachev, 2018 P. 53301.1-53301.4.
34. Абдрахимов В.З. Влияние аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича // Известия вузов. Строительство. 2025. №1. С. 76-87. DOI:10.32683/0536-1052-2025-793-1-76-87
Abdrakhimov V.Z. The influence of argillite-like waste from coal enrichment flotation on the technical parameters and phase composition of ceramic bricks // News of universities. Construction. 2025. No. 1. P. 76-87. DOI:10.32683/0536-1052-2025-793-1-76-87
35. Куликов В.А., Ковков И.В., Абдрахимов В.З. Исследование фазового состава керамзита на основе монтмориллонитовой глины и отходов горно-обогатительной фабрики при обогащении угля» // Известия вузов. Строительство. 2010 №10. С. 25-29.
Kulikov V.A., Kovkov I.V., Abdrakhimov V.Z. Investigation of the phase composition of expanded clay based on montmorillonite clay and waste from a mining and processing plant during coal enrichment // News of universities. Construction. 2010. No. 10. P. 25-29.
36. Абдрахимов В.З. Исследование методом ЯГР-спектроскопии оксидов железа и фазового состава в керамическом кирпиче на основе отходов ТЭК // Кокс и химия. 2023. №12. С. 29-35.
Abdrakhimov V.Z. Investigation by NGR spectroscopy of iron oxides and phase composition in ceramic bricks based on waste fuel and energy complex // Coke and Chemistry. 2023. No.12. P. 29-35.
37. Лавриненко А.А., Свечникова Н.Ю., Коновницына Н.С., Игуменшева Е.А., Куклина О.В., Хасанзянова А.И. Использование отходов флотации битуминозных углей в производстве керамического кирпича // Химия твердого топлива. 2018 №6. С. 64-68.
Lavrinenko A.A., Svechnikova N.Yu., Konovnitsyna N.S., Igumensheva E.A., Kuklina O.V., Khasanzyanova A.I. The use of bituminous coal flotation waste in the production of ceramic bricks // Chemistry of solid fuels. 2018 No. 6. P. 64-68.
38. Innovation in dewatering process of flotation tailings by study of particle interaction in colloidal environment / Malíková P., Thomas J., Chromíková J., Vidlár J., Kupka J. // Perspectives in Science. 2016, Vol. 7, P. 171-177.
39. Абдрахимов В. З. Термогравиметрические и электронномикроскопические

исследования композиции на основе межсланцевой глины и аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения // Новые огнеупоры. 2025. №1. С. 58-67.
Abdrakhimov V. Z. Thermogravimetric and electron microscopic studies of compositions based on inter-shale clay and argillite-like waste from coal enrichment flotation // New refractories. 2025. No. 1. P. 58-67.

40. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование структуры пористости керамического материала крепостной стены Жироны (Испания) // Стекло и керамика. 2020. №7. С. 42-46.

Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Investigation of the porosity structure of the ceramic material of the fortress wall of Girona (Spain) // Glass and ceramics. 2020. No.7. P. 42-46.

Информация об авторе

Абдрахимов Владимир Закирович, доктор технических наук, профессор, Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Российская Федерация

E-mail: 3375892@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1832-2572

Information about the author

Vladimir Z. Abdrakhimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation

E-mail: 3375892@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1832-2572