



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 11, № 1, 2020

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.1.09

УДК 691.666.35.17

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ АНТРАЦИТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЖИДКОСТЕКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.З. Абдрахимов

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 20 ноября 2019
Принята: 20 января 2020
Опубликована: 27 марта 2020

Ключевые слова:

пористый заполнитель, керамзит, отходы флотационного обогащения антрацитов, жидкое стекло, пористость.

АННОТАЦИЯ

Сокращение запасов традиционного природного сырья для производства пористых заполнителей заставляет искать новые способы его замещения различными видами техногенного сырья. В то же время опыт передовых западных стран показал практическую, экономическую, экологическую и техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения. В статье показано, что наиболее целесообразно использовать много-тоннажные отходы топливно-энергетического комплекса в производстве теплоизоляционных материалов, например пористых заполнителей, теплопроводность которых не более 0,25 Вт/м·°С. В качестве отощителя и выгорающей добавки использовались отходы флотационного обогащения антрацитов. Отходы флотационного обогащения антрацитов имеют повышенное содержание п.п.п (потери при прокаливании) – 42,4 % – и углерода (С = 13,84 %), поэтому использовались для производства пористого заполнителя не только в качестве отощителя, но и в качестве выгорающих добавок. На основе отходов флотационного обогащения антрацитов и жидкостекольных композиций разработаны составы для получения пористых заполнителей, которые имеют высокие показатели на прочность при сжатии и коэффициент размягчения, при этом марка по насыпной плотности не превышает М400. Исследования показали, что пористость на внешнем виде изделия, в отличие от внутреннего, практически не видна, т.е. отходы флотационного обогащения антрацитов способствуют получению в пористом заполнителе замкнутых пор. Наличие пор изометричной формы и овальной закрытой пористости в пористом заполнителе придает ему механическую прочность, а щелевидные поры оказывают негативное влияние. Разработаны инновационные предложения по получению пористого заполнителя. На разработанный способ получения пористого заполнителя на основе жидкостекольной композиции выдан патент РФ.

© ПНИПУ

APPLICATION OF ANTHRACITE FLOTATION ENRICHMENT WASTE IN PRODUCTION OF POROUS AGGREGATE BASED ON LIQUID-GLASS COMPOSITIONS

V.Z. Abdrakhimov

Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 November 2019
Accepted: 20 January 2020
Published: 27 March 2020

Keywords:

porous aggregate, expanded clay,
waste of anthracite flotation enrichment,
liquid glass, porosity.

ABSTRACT

Reduction of reserves of traditional natural raw materials for production of porous aggregates forces to look for new ways of its replacement by various types of technogenic raw materials. At the same time, the experience of advanced Western foreign countries has shown the practical, economic, environmental and technical feasibility of this direction and application as a tool for protecting the natural environment from pollution. In the present work it is shown that the most appropriate use wastes fuel and energy complex in the manufacture of insulating materials, such as porous aggregates with heat conductivity not more than 0.25 W/m²•operating system. Waste from anthracite flotation enrichment was used as a thinning agent and burnout additive. Waste flotation enrichment of anthracites have an increased content of PP (loss during calcination = 42.4 %) and carbon content (C = 13.84 %), so they were used for the production of porous aggregate not only as a thinner, but also as burnout additives. Developed on the basis of waste flotation enrichment of anthracites and beet compositions for porous aggregates, which have high rates of compressive strength and softening factor, and the mark on the bulk density does not exceed M400. Studies have shown that the porosity on the exterior of the product, in contrast to the internal almost no form, ie waste flotation enrichment of anthracites contributes to the porous filler closed pores. The presence of pores of isometric shape and oval closed porosity in the porous filler gives it mechanical strength, and slit-like pores have a harmful effect. Innovative proposals for obtaining a porous aggregate have been developed. A patent of the Russian Federation was obtained for the obtained method of producing a porous filler based on a liquid-glass composition.

© PNRPU

Введение

Сокращение для производства пористых заполнителей запасов традиционного природного сырья заставляет искать новые способы его замещения различными видами техногенного сырья [1]. В то же время опыт передовых западных стран показал практическую, экономическую, экологическую и техническую осуществимость этого направления и возможность его реализации еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения. Экологическая ситуация в России характеризуется высоким уровнем антропогенного воздействия на человека и окружающую среду. При этом необходимо отметить, что одним из основных источников загрязнения окружающей природной среды является топливно-электроэнергетический комплекс: а) выбросы в атмосферу (48 % всех выбросов в атмосферу), б) сбросы сточных вод (36 % всех сбросов), в) образование твердых отходов (30 % всех твердых загрязнителей) [2, 3]. Исследуемые в настоящей работе отходы флотационного обогащения антрацитов относятся к отходам топливно-энергетического комплекса, 15–30 % которых составляет органика различных классов, находящихся в разных агрегатных состояниях, что неблагоприятно сказывается на фауне и флоре данного региона [4–7]. Кроме того, комплекс органических веществ очень сложен по составу и содержит тысячи индивидуальных компонентов, различающихся физическими, химическими и токсикологическими свойствами [8–11].

Согласно европейскому законодательству (Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза 2008/98/ЕС) существует приоритетность методов управления отходами, среди которых наиболее приемлемым вариантом утилизации отходов с сопутствующим повышением энергоэффективности композитного производства является их переработка с целью повторного использования полученных при этом продуктов.

Одним из перспективных направлений использования многотоннажных отходов производств является применение их керамических материалов строительного направления, в том числе в теплоизоляционных изделиях [12]. За счет вовлечения промышленных отходов в производство теплоизоляционных материалов кардинально изменится сырьевая база России, что будет способствовать снижению экологической напряженности в регионах.

Постановка задачи: а) получение пористого заполнителя на основе жидкостекольной композиции и отходов флотационного обогащения антрацитов; б) исследование структуры пористости изделий.

1. Теплоизоляционные материалы

В настоящее время к основному классу керамических теплоизоляционных материалов относят, как правило, пористый заполнитель и легковесный кирпич [13, 14]. Интерес к теплоизоляционным материалам, теплопроводность которых не более $0,25 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$, в настоящее время значительно возрос – это связано с изменением требований к ограждающим конструкциям по теплотехническим параметрам [15]. Хотя в странах Европы и во многих регионах Северной Америки климат гораздо мягче, чем в России, производство и потребление теплоизоляционных материалов с теплопроводностью не более $0,25 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ гораздо выше.

Кроме того, около третьей части в теплоснабжении России составляют потери, а на отопление жилой площади расходуется в 2–3 раза больше энергии, чем в странах Европы, Канады и США. Например, на индивидуальные дома в России расходуется от 600 до 800 кВт/(м² · год), для сравнения: в Германии – 250 кВт/(м² · год), в Швеции – 139 кВт/(м² · год) [15]. Производство и использование теплоизоляционных материалов – пористого заполнителя и легковесного кирпича – позволит в России значительно снизить расход на отопление жилой площади с 600–800 до 300–400 кВт/(м² · год).

В теплоизоляционных материалах на физико-механические свойства влияет поровая структура, которая во многом зависит от равномерности распределения пор, их концентрации, формы и размеров [16, 17]. В строительном материаловедении в настоящее время актуальной задачей, решение которой позволит увеличить долговечность теплоизоляционных материалов, является формирование рациональной поровой структуры, что позволит обеспечить наилучшее сочетание в изделиях эксплуатационных характеристик. Одним из материалов, используемых в качестве связующего, на основе которого можно получить пористый заполнитель с рациональной поровой структурой, является жидкое стекло [18].

2. Теоретическое обоснование получения пористого заполнителя на основе жидкостекольных композиций

В своей работе П.Н. Григорьев и М.А. Матвеев [19] при изучении диаграммы состояния $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ и $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ обнаружили, что содержание гидратной воды отражается на температуре плавления щелочного силиката, и даже при содержании 20 % гидратной

воды в жидком стекле силикат плавится при 100 °С. А при быстром нагревании исследуемого силиката до 200 °С он разжижается и способствует превращению гидратной воды в пар, который задерживается в исследуемом материале, вследствие большой вязкости расплавленного силиката, образуя пузыри с тонкими стенками. Исследователи отметили, что получить однородную массу можно только при введении в составы жидкостекольных композиций наполнителей, которые позволят структурировать систему [19].

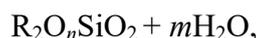
Аналогичные работы, проведенные В.И. Коневым и В.В. Даниловым, также показали, что плавление тройной системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ начинается при относительно невысоких температурах (100–120 °С) [20]. Полученные результаты вышеуказанные авторы объясняют тем, что катионы и анионы ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) связывают только электростатическое взаимодействие и слабые водородные связи между молекулами воды, поэтому при невысоких температурах кристаллическая структура разрушается и кристаллогидрат плавится в собственной воде.

Введение в жидкое стекло коагуляторов (HCl) приводит к растворению хлористого натрия, что способствует понижению силикатного модуля. В свою очередь снижение силикатного модуля приводит к уменьшению числа силоксановых связей, что существенно облегчает переход ионов щелочного металла в раствор и движение молекул воды в фазу стекла [21]. При этом происходит коагуляция смеси и повышается вязкость, что дает возможность формовать различные изделия любого размера.

Жидкое стекло уже до температур 150–500 °С способно образовывать твердую неорганическую пену [19], поэтому является уникальным материалом.

3. Практический аспект

Сырьевые материалы. В качестве связующего в настоящей работе использовалось жидкое стекло, химический состав которого может быть выражен формулой



где R – щелочной катион (Na^+ , K^+ , Li^+ или NH_4^+); n – силикатный модуль жидкого стекла (отношение кремнеземистого компонента к щелочному); m – количество молекул воды.

Для получения пористых заполнителей использовалось товарное натриевое жидкое стекло плотностью 1,41 г/см³ по ГОСТ 13075–81. Необходимо отметить, что высокая адсорбционная способность жидкого стекла делает процесс перемешивания весьма затруднительным, поэтому в качестве добавки-коагулятора в настоящей работе использовался хлористый натрий (ГОСТ 13830–97, производства ОАО «Бассоль»), размолотый до размера менее 0,3 мм. Введение в жидкое стекло хлорида натрия в количестве от 1 до 5 % после тщательного перемешивания приводит к растворению его, что способствует понижению силикатного модуля.

В качестве отощителя и выгорающей добавки использовались отходы флотационного обогащения антрацитов. Отходы флотационного обогащения антрацитов имеют повышенное содержание п.п.п (потери при прокаливании) – 42,4 % (табл. 1) и углерода (C = 13,84 %, табл. 2), поэтому данное техногенное сырье использовалось для производства пористого заполнителя не только в качестве отощителя, но и в качестве выгорающей добавки.

Таблица 1

Оксидный химический состав отхода флотационного обогащения антрацитов

Table 1

Oxide chemical composition of anthracite flotation enrichment waste

Содержание оксидов, %						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	п.п.п.
30,4	14,34	2,53	1,24	5,83	3,24	42,4

Таблица 2

Поэлементный химический состав отхода флотационного обогащения антрацитов

Table 2

Element chemical composition of anthracite flotation enrichment waste

Элементы								
C	O	Al	Si	Na	K	Ca	Fe	Mg
13,84	49,23	11,91	19,03	0,8	1,39	0,88	2,48	0,44

Отошители применяют в керамических смесях для снижения чувствительности шихты к сушке для уменьшения усадки, деформационных искривлений и сокращения сроков сушки изделий [13].

Способ получения. Композиции для производства пористого заполнителя, представленные в табл. 3, готовили путем измельчения до прохождения сквозь сито № 1 (1 мм) хлорида натрия и отхода флотационного обогащения антрацитов, затем тщательно перемешивали компоненты.

Таблица 3

Составы композиции для производства пористого заполнителя

Table 3

Compositions of the composition for the production of porous aggregate

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %			
	1	2	3	4
Натриевое жидкое стекло	75	65	55	45
Хлорид натрия	1	2	3	5
Отходы флотационного обогащения антрацитов	24	33	42	50

Получение необходимых смесей производилось в мешалке принудительного действия в определенном порядке: сначала в мешалку загружались отходы флотационного обогащения антрацитов и хлорид натрия, которые тщательно перемешивались, затем в готовую сухую смесь при включенной мешалке заливалось натриевое стекло тонкой струйкой. Перемешивание всех компонентов производилось до получения однородной композиции (массы), но не менее 5 мин.

Хорошо перемешанная композиция специальной системой ножей разрезалась на отдельные гранулы, которые обжигались в печном грануляторе в интервале температур 250–300 °С. Полученные гранулы при вспучивании приобретали вид шарообразных полуфабрикатов, которые помещались в электрическую разогретую до температуры 1000 °С печь, где выдерживались 10–12 мин, затем охлаждались до комнатной температуры при

скорости охлаждения 40 °С/мин. На вышепредставленный способ производства пористого заполнителя на основе жидкостекольной композиции выдан патент Российской Федерации [22]. Полученный пористый заполнитель (внешний и внутренний вид) представлен на рис. 1.

Физико-механические показатели полученного пористого заполнителя представлены в табл. 4.

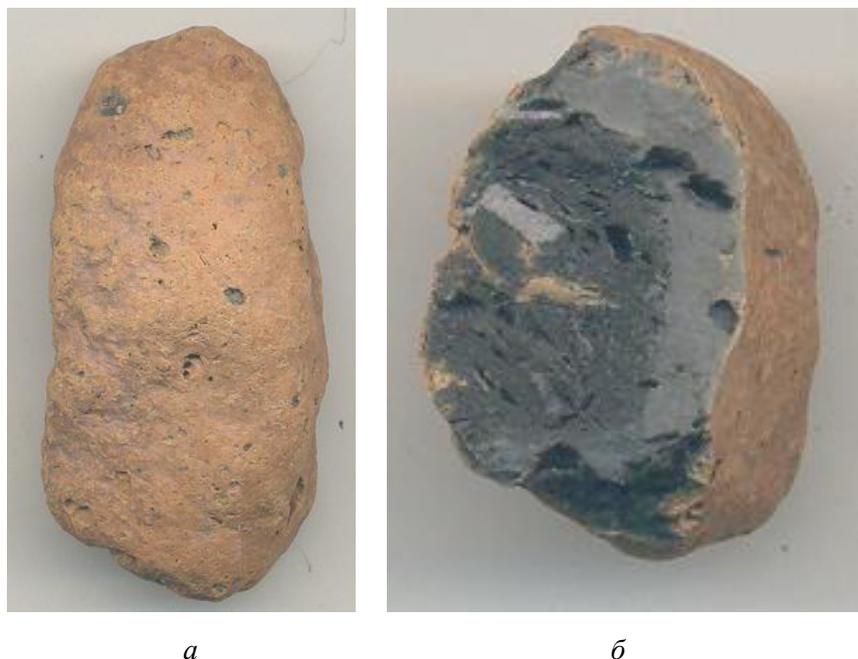


Рис. 1. Фото пористого заполнителя, вид: *a* – внешний; *б* – внутренний
 Fig. 1. Photo of porous filler, type: *a* – external; *b* – internal

Таблица 4

Физико-механические показатели

Table 4

Physical and mechanical parameters

Показатель	Состав			
	1	2	3	4
Прочность на сжатие, МПа	3,28	3,1	2,97	2,64
Насыпная плотность, кг/м ³	410	370	315	295
Потери при 5-минутном кипячении, %	0,23	0,24	0,26	0,28
Коэффициент размягчения, %	96,2	96,4	96,8	97,5
Марка по насыпной плотности	400	350	300	250
Теплопроводность, Вт/(м · °С)	0,24	0,21	0,193	0,191

Как видно из табл. 4, полученные пористые заполнители из предложенных составов № 1–4 имеют высокие физико-механические показатели: прочность при сжатии, коэффициент размягчения, но при этом марка по насыпной плотности не превышает 400, а теплопроводность – менее 0,25 Вт/(м · °С). Оптимальным можно считать состав № 3, у которого марка по насыпной плотности не превышает 300, а прочность при этом снизилась, по отношению к составу № 2, незначительно (см. табл. 4). Полученный образец представлен на рис. 1, *a*.

Как видно из рис. 1, *a*, пористость на внешнем виде, в отличие от внутреннего, практически не видна, т.е. отходы флотационного обогащения антрацитов способствуют получению в пористом заполнителе замкнутых пор. Микроструктура образца состава № 3 представлена на рис. 2.

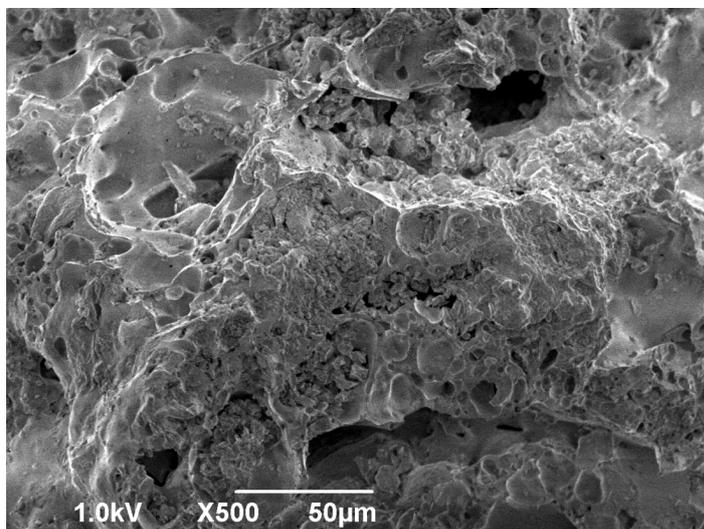


Рис. 2. Микроструктура образца состава № 3
Fig. 2. Microstructure of samples of composition No. 3

В исследуемом образце состава № 3 чаще всего встречаются поры трех типов: щелевидные, изометрические и поры, если использовать терминологию В.Ф. Павлова [23], причудливой формы. Кроме того, в исследуемом образце № 3 (рис. 2) присутствуют сравнительно крупные поры (до 30 мкм) овальной формы и изометричные поры типа «каналов». Именно такие поры, как считает автор работы [23], определяют водопоглощение теплоизоляционных материалов. Состав № 3 считается оптимальным (см. табл. 4) по физико-механическим показателям. Наличие пор изометричной формы и овальной закрытой пористости в пористом заполнителе придает ему механическую прочность [23].

Выводы

1. На основе жидкостекольной композиции и отходов флотационного обогащения антрацитов получен пористый заполнитель с высокими физико-механическими показателями.
2. Исследования показали, что отходы флотационного обогащения антрацитов способствуют получению в пористом заполнителе замкнутых пор, которые способствуют повышению теплоизоляционных свойств.
3. Установлено, что состав, содержащий 42 % отходов флотационного обогащения, считается оптимальным по физико-механическим показателям. Наличие пор изометричной формы и овальной закрытой пористости в пористом заполнителе придает ему механическую прочность.
4. Безусловным достоинством использования многотоннажных отходов флотационного обогащения антрацитов является разгрузка экологической обстановки и способствует решению следующих задач:
 - а) утилизация промышленных отходов и, как следствие, уменьшение воздействия на окружающую среду;

- б) вовлечение техногенных образований в производственный оборот для производства строительных материалов;
- в) освобождение значительных земельных участков от воздействия негативных антропогенных факторов и рациональному использованию ингредиентов промышленных отвалов на объектах стройиндустрии;
- г) снижение стоимости пористых заполнителей;
- д) расширение сырьевой базы для получения пористых заполнителей.

Библиографический список

1. Абдрахимов В.З. Использование отходов минеральной ваты в производстве керамических стеновых материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 53–60.
2. Исмаилов Э.К. Экологические и экономические аспекты утилизации золошлаков котельных // Вестник КРСУ. – 2012. – Т. 12, № 6. – С. 117–121.
3. Хансевяров Р.И. Влияние топливно-энергетического комплекса на окружающую среду // Экономика и управление. – 2012. – № 1. – С. 130–135.
4. Estimation of ecotoxicity of petroleum hydrocarbon mixtures in soil based on HPLC – GCXGC analysis / D. Mao, R. Lookman, H. Van de Weghe, R. Weltens, G. Vanermen, N. De Brucker, L. Dies // Chemosphere. – 2009. – Vol. 7, № 1. – P. 1508–1513.
5. Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil under different attenuation Conditions / J. Tang, X. Lu, Q. Sum, W. Zhu // Agriculture, Ecosystems Environment. – 2012. – Vol. 149. – P. 109–117.
6. Biodegradation of semi- and non-volatile petroleum hydrocarbons in aged, contaminated soils from a sub-Arctic site: Laboratory pilot-scale experiment at site temperatures / W. Chang, M. Dyen, L. Spagnuolo, P. Simon, L. Whyte, S. Ghoshal // Chemosphere. – 2010. – Vol. 80. – P. 319–326.
7. Human risk assessment of contaminated soils by oil products: total TPH content versus fraction approach / J. Pinedo, R. Ibez, J. Lizen, P.A., A. Irabien // Hum Ecol. Risk Assess. Int. J. – 2014. – Vol. 20, N 5. – P. 1231–1248.
8. Study of the Effect of Al₂O₃ on Acid and Thermal Shock Resistance of Acid-Resistant Refractories Using a Regression Analysis Method / A.K. Kairakbaev, V.Z. Abdrakhimov, E.S. Abdrakhimova, A.V. Kolpakov // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015. – Vol. 56, iss. 3. – P. 276–280.
9. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Study of Phase Composition of Ceramic Materials Based on Nonferrous Metallurgy Chemical, and Petrochemical Industry Aluminum-Containing Waste // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015. – Vol. 56, iss. 5. – P. 5–10.
10. Сулейменов С.Т. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах и минеральных отходов промышленности. – М.: МОНУСКРИП, 1996. – 298 с.
11. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Ралко А.В. Золокерамические стеновые материалы. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 292 с.
12. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С., Абдрахимова И.Д. Получение теплоизоляционного материала на основе жидкого стекла и отходов углепереработки, образующихся при обогащении коксующихся углей // Уголь. – 2017. – № 4. – С. 64–67.
13. Абдрахимов В.З., Колпаков А.В., Кайракбаев А.К. Исследование физических свойств теплоизоляционного кирпича методом линейной регрессии // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 3. – С. 110–116.

14. Селиванов Ю.С., Верещагин В.И., Шильцина А.Д. Получение и свойства пористой строительной керамики // *Известия Томского политехнического университета*. – 2004. – № 1. – С. 107–110.
15. Влияние топливосодержащих отходов на структуру пористости теплоизоляционного материала / Е.С. Абдрахимова, И.Ю. Рощупкина, В.З. Абдрахимов, А.В. Колпаков // *Строительство и реконструкция*. – 2018. – № 2. – С. 113–120.
16. Особенности поровой структуры стеновых керамических материалов на основе углеотходов / А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, С.В. Дружинин, В.Н. Зоря, В.И. Злобин // *Строительные материалы*. – 2014. – № 4. – С. 46–48.
17. Керамические строительные материалы с улучшенными теплоизоляционными свойствами / В.П. Лузин, А.В. Корнилова, К.Г. Николаев, Л.П. Лузина // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2010. – № 8. – С. 32–36.
18. Лотов В.А., Кутугин В.А. Формирование пористой структуры пеносиликатов на основе жидкостекольных композиций // *Стекло и керамика*. – 2008. – № 1. – С. 6–10.
19. Григорьев П.Н. Матвеев М.А. Растворимое стекло. – М.: Стройиздат, 1956. – 443 с.
20. Конев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла. – Л.: Стройиздат, 1991. – 177 с.
21. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Высокопористый теплоизоляционный материал на основе жидкого стекла // *Физика и химия стекла*. – 2017. – Т. 43, № 2. – С. 222–230.
22. Способ получения водостойкого пористого заполнителя: пат. Рос. Федерация / Абдрахимов В.З., Семенычев В.К., Куликов В.А., Абдрахимова Е.С., Вдовина Е.В. – № 2476394; заявл. 27.04.2010; опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23.
23. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. – М.: Стройиздат, 1977. – 240 с.

References

1. Abdrakhimov V.Z. Ispol'zovaniye otkhodov mineral'noy vaty v proizvodstve keramicheskikh stenovykh materialov [The Use of waste mineral wool in the production of ceramic wall materials]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 53-60.
2. Ismailov E.K. Ekologicheskiye i ekonomicheskkiye aspekty utilizatsii zoloshlakov kotel'nykh [Environmental and economic aspects of disposal of ash / boiler]. *Vestnik KRSU*, 2012, vol. 12, no. 6, pp. 117-121.
3. Hadseviarov R.I. Vliyaniye toplivno-energeticheskogo kompleksa na okruzhayushchuyu sredu [Influence of the fuel and energy complex on the environment]. *Economy and management*, 2012, no. 1, pp. 130-135.
4. Mao D., Lookman R., Van de Weghe H., Weltens R., Vanermen G., De Brucker N., Dies L. Estimation of ecotoxicity of petroleum hydrocarbon mixtures in soil based on HPLC – GCXGC analysis. *Chemosphere*, 2009, vol. 77, no. 1, pp. 1508-1513.
5. Tang J., Lu X., Sum Q., Zhu W. Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil under different attenuation Conditions. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 2012, vol. 149, pp. 109-117.
6. Chang W., Dye M., Spagnuolo L., Simon P., Whyte L., Ghoshal S. Biodegradation of semi- and non-volatile petroleum hydrocarbons in aged, contaminated soils from a sub-Arctic site: Laboratory pilot-scale experiment at site temperatures. *Chemosphere*, 2010, vol. 80, pp. 319-326.
7. Pinedo J., Ibbes R., Lizen J., P.A., Irabien A. Human risk assessment of contaminated soils by oil products: total TPH content versus fraction approach. *Hum Ecol. Risk Assess. Int. J.*, 2014, vol. 20, no. 5, pp. 1231-1248.

8. Kairakbaev. A.K., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S., Kolpakov A.V. Study of the effect of Al_2O_3 on acid and thermal shock resistance of acid-resistant refractories using a regression analysis method. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2015, vol. 56, iss. 3, pp. 276-280.

9. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Study of phase composition of ceramic materials based on nonferrous metallurgy chemical, and petrochemical industry aluminum-containing waste. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2015, vol. 56, iss. 5, pp. 5-10.

10. Suleimenov S.T. Fiziko-khimicheskiye protsessy strukturoobrazovaniya v stroitel'nykh materialakh i mineral'nykh otkhodov promyshlennosti [Physico-chemical processes of structure formation in building materials and mineral wastes of industry]. Moscow, Manuscript, 1996, 298 p.

11. Saybulatov S.J., Suleimenov S.T., Ralko A.V. Zolokeramicheskiye stenovyye materialy [Ash-ceramic wall materials]. Alma-ATA, Nauka, 1982, 292 p.

12. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimova I.D. Polucheniye teploizolyatsionnogo materiala na osnove zhidkogo stekla i otkhodov uglepererabotki, obrazuyushchikhsya pri obogashchenii koksuyushchikhsya ugley [Receipt of heat-insulating material on the basis of liquid glass and waste of coal processing formed at enrichment of coking coals]. *Ugol'*, 2017, no. 4, pp. 64-67.

13. Abdrakhimov V.Z., Kolpakov A.V., Kayrakbaev A.K. Issledovaniye fizicheskikh svoystv teploizolyatsionnogo kirpicha metodom lineynoy regressii [A study of the physical properties of the insulating brick using linear regression]. *Construction and reconstruction*, 2015, no. 3, pp. 110-116.

14. Selivanov Y.S., Vereshchagin V.I., Chilzina A.D. Polucheniye i svoystva poristoy stroitel'noy keramiki [The preparation and properties of porous building ceramics]. *Proceedings of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, no. 1, pp. 107-110.

15. Abdrakhimova E.S., Roshchupkina I.Yu., Abdrakhimov V.Z., Kolpakov A.V. Vliyaniye toplivosoderzhashchikh otkhodov na strukturu poristosti teploizolya-tсионного materiala [Influence of fuel-containing wastes on porosity structure of heat-insulating material]. *Construction and Reconstruction*, 2018, no. 2, pp. 113-120.

16. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Druzhinin S.V., Zorya V.N., Zlobin V.I. Osobennosti porovoy struktury stenovykh keramicheskikh materialov na os-nove ugleotkhodov [Features of the pore structure of wall ceramic materials based on carbon waste]. *Building materials*, 2014, no. 4, pp. 46-48.

17. Luzin V.P., Kornilov A.V., Nikolaev K.G., Luzina L.P. Keramicheskiye stroitel'nyye materialy s uluchshennymi teploizolyatsionnymi svoystvami [Ceramic building materials with improved insulating properties]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2010, no. 8, pp. 32-36.

18. Lotov V.A., Kutugin V.A. Formirovaniye poristoy struktury penosilikatov na osnove zhidkostekol'nykh kompozitsiy [Formation of porous structure of foam silicates on the basis of beet compositions]. *Tomsk Polytechnic University*, 2008, no. 1, pp. 6-10.

19. Grigoriev P.N., Matveev M.A. Rastvorimoye steklo [Soluble glass]. Moscow, Stroizdat, 1956, 443 p.

20. Konev V.I., Danilov V.V. Proizvodstvo i primeneniye rastvorimogo stekla [Production and application of soluble glass]. Leningrad, Stroizdat, 1991, 177 p.

21. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Vysokoporistyy teploizolyatsionnyy material na osnove zhidkogo stekla [Highly porous heat-insulating material based on liquid glass]. *Physics and chemistry of glass*, 2017, vol. 43, no. 2, pp. 222-230.

22. Abdrakhimov V.Z., Semenychev V.K., Kulikov V.A., Abdrakhimova E.S., Vdovina E.V. Sposob polucheniya vodostoykogo poristogo zapolnitelya [Method of obtaining a water-resistant porous aggregate]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2476394 (2011).

23. Pavlov V.F. Fiziko-khimicheskiye osnovy obzhiga izdeliy stroitel'noy keramiki [Physico-chemical bases of firing of products of construction ceramics]. Moscow, Stroizdat, 1977, 240 p.