

УДК 553:552.52:691

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44539](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44539)

Оригинальная статья

Композиционные вяжущие вещества из промышленных отходов

Б.Д. Тотурбиев, д.т.н., проф., С.А. Мамаев, к.т.н., А.Б. Тотурбиев, к.т.н.

Институт геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук,
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75,
e-mail: totbat@mail.ru*Статья поступила: 26.10.2019, после рецензирования: 21.11.2019, принята к публикации: 12.12.2019*

Аннотация: Актуальность. Утилизация многотоннажных отходов черной и цветной металлургии, теплоэнергетики и угольной промышленности в производстве строительных материалов является важной проблемой, решение которой позволит обеспечить промышленность и, прежде всего, строительный комплекс богатейшим источником дешевого, зачастую уже подготовленного сырья и создаст реальные возможности экономии топлива, энергии, сокращения капиталовложений. **Объект исследования** – композиционные вяжущие вещества. **Цель работы** – вовлечение промышленных отходов в производство строительных материалов для получения композиционных вяжущих веществ. **Методы исследования:** лабораторные исследования физико-механических прочностных свойств композиционных объектов. **Результаты работы.** Приведены результаты использования отходов пемза-шлак, шлаки ваграночные, топливные шлаки, зола для получения композиционных вяжущих веществ; теоретические основы формирования структуры тонкоизмельченной силикатнатриевой композиции безводных натриево-калиевых силикатов и промышленных отходов. Результаты экспериментальных исследований показали, что управление основными свойствами композиционного вяжущего вещества можно осуществлять изменяя ряд технологических факторов, таких как содержание силиката натрия в композиции (20-30 масс %), тонкость помола компонентов (2000-2500 см²/г), количество воды затворения (17-20%), степень уплотнения смеси, применение тех или иных тонкомолотых отходов. Вяжущие свойства композиций проявляются главным образом за счет приобретения безводным силикатом натрия и калия адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента. Когезионная прочность клеевых контактов, прочность и долговечность, в свою очередь, зависит от условий их образования. Установлено, что при нагревании композиции в интервале температур 90-100°C происходит наиболее интенсивное поверхностное растворение зерен силикат-глыбы и, как следствие, увеличение площади клеевых контактов. Последующее повышение температуры до 180-200°C приводит к почти полному обезвоживанию системы и ее упрочнению, вследствие резкого повышения когезионной прочности клеевых контактов. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность получения практически из любого вида отходов композиционных вяжущих на безводных натриево-калиевых силикатах. Вяжущие свойства этих композиций проявляются за счет приобретения безводным натриево-калиевым силикатом адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента, и когезионной прочности клеевых контактов, прочность и долговечность которых, в свою очередь, зависит от условий их образования.

Ключевые слова: безводные силикаты натрия, композиционные вяжущие вещества, производственные отходы: зола-унос, топливный шлак, ваграночный шлак, пемзошлак, натриево-калиевая силикат-глыба, процесс структурообразования, адгезионные и когезионные свойства, технологические факторы, клеевые контакты.

Для цитирования: Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Композиционные вяжущие вещества из промышленных отходов. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 140-148. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44539.

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44539](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44539)

Original paper

Composite binders from industrial waste

B.D. Toturbiev, S.A. Mamaev, A.B. Toturbiev

Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Russian Federation, e-mail: totbat@mail.ru

Received: 26.10.2019, revised: 21.11.2019, accepted: 12.12.2019

Abstract: Relevance. Utilization of large-tonnage wastes of ferrous and non-ferrous metallurgy, heat power engineering and the coal industry in the production of building materials is an important problem. The solution of this problem will provide the industry and the construction complex with the richest source of cheap, often already prepared raw materials and create real opportunities for saving fuel, energy, and reducing investment. The objects of the study are composite binders. **Aim.** The involvement of industrial waste in the production of building materials to obtain composite binders. **Methods.** Laboratory analysis of the physicomaterial strength properties of composite objects. **Results.** The results of using pumice slag waste, cupola slag, fuel slag, ash for the production of composite binders; theoretical foundations of the formation of the structure of finely divided sodium silicate composition from anhydrous sodium potassium silicates and industrial wastes. The results of experimental studies have shown that the basic properties of a composite binder can be controlled by changing a number of technological factors, such as the sodium silicate content in the composition (20-30 mass%), the fineness of the components (2000-2500 cm²/g), the amount of mixing water (17-20%), the degree of compaction of the mixture, the use of one or another fine-ground waste. The binding properties of these compositions are manifested mainly due to the adhesion properties determining the cementing power of this component by anhydrous sodium silicate and potassium silicate. The cohesive strength of adhesive contacts, strength and durability, in turn depends on the conditions of their formation. It was found that during composition heating within the temperature range 90-100°C, the most intense surface dissolution of the silicate block grains occurs and, as a result, the adhesive contact area increases. A subsequent increase in temperature to 180-200°C leads to an almost complete dehydration of the system and its hardening, due to a sharp increase in the cohesive strength of the adhesive contacts. Experimental investigations have shown the possibility of obtaining from virtually any type of waste composite binders on anhydrous sodium-potassium silicates. The binding properties of these compositions are manifested due to the acquisition of anhydrous sodium-potassium silicate adhesive properties that determine the adhesive ability of this component, and the cohesive strength of adhesive contacts, the strength and durability of which, in turn, depends on the conditions of their formation.

Keywords: anhydrous sodium silicates, composite binders, industrial waste: fly ash, fuel slag, cupola slag, pumice slag, sodium potassium silicate block, structure formation process, adhesion and cohesion properties, technological factors, adhesive contacts.

For citation: Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. Composite binders from industrial waste. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9(4): 140-148. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44539.

Известно, утилизация многотоннажных отходов черной и цветной металлургии, теплоэнергетики и угольной промышленности в производстве строительных материалов является важной проблемой, решение которой позволит обеспечить промышленность и, прежде всего, строительный комплекс богатейшим источником дешевого, зачастую уже подготовленного сырья, создает реальные возможности экономии топлива, энергии, сокращения капиталовложений [Абдрахимов В., Абдрахимов Е., 2014; Абдрахимов и др., 2013; Березовский, 2017; Ниязбекова, 2006; Определение качеств..., 2019; Павлов, 2003; Чантурия и др., 2007].

Если учесть к тому же экологический эффект, то решение проблемы широкого вовлечения промышленных отходов в производство строительных материалов становится настоящей необходимостью сегодняшнего дня.

В настоящее время некоторые виды этих вторичных продуктов применяются при изготовлении вяжущих материалов – цемента, ячеистых и плотных бетонов, пористых заполнителей, керамических стеновых изделий, дренажных труб и др. При этом удельные капиталовложения сокращаются в 2-2,5 раза по сравнению с использованием специально добываемого сырья, а себестоимость и трудозатраты в 1,2-2 раза.

Существующие объемы промышленных отходов в десятки раз превышают сегодняшние объемы их реализации, хотя и у нас в стране и за рубежом [Muñoz Velasco et al., 2014; Naganathan et al., 2015; Raut et al., 2011; Sena da Fonseca et al., 2015; Kizinievic et al., 2013; Benlalla et al., 2015; Ukwatta et al., 2015] проводятся большие научно-исследовательские и проектно- конструкторские работы по проблеме утилизации данных отходов.

Поэтому, поиск новых эффективных путей вовлечения промышленных отходов в производство строительных материалов является, несомненно, актуальной задачей.

В этой связи перспективными являются исследования, проведенные в лаборатории «Комплексных исследований горных пород и композиционных материалов» Института геологии ДФИЦ РАН [Тотурбиев Б., Тотурбиев А., 2010, 2011, 2012; Тотурбиев Б. и др., 2018а-в, 2019].

Теоретически и экспериментально обоснована возможность получения наноструктурированных композиционных вяжущих веществ из нерудного минерального сырья и техногенных отходов производства с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, получаемого путем совместного синтеза кремнезоля и безводного силиката натрия непосредственно в самой композиции.

В данной статье приведены результаты использования отходов (пемза-шлак, шлаки ваграночные, топливные шлаки, зола) для получения композиционных вяжущих.

В наших исследованиях, учитывая высокую энергоемкость клинкерных вяжущих и большие капитальные вложения в их производство, для получения композиционных вяжущих веществ в качестве связующего были использованы безводные натриево-калиевые силикаты натрия SiO_2 : (Na_2O , K_2O).

Теоретические основы формирования структуры тонкоизмельченной силикат-натриевой композиции из тонкомолотых безводных силикатов натрия и различных наполнителей приведены в монографии [Тотурбиев, 1988]. Формирование структуры композиции складывается из двух сложных процессов:

- придание вяжущих свойств силикат-натриевой композиции путем обводнения силикат-натриевого составляющего непосредственно в композиции;
- упрочнение полученной жидкостекольной композиции обезвоживанием, т.е. дегидратацией водного раствора силиката натрия под действием тепла.

Необходимые условия структурообразования – равномерное распределение тонкомолотых частиц силиката натрия в композиции, последующее их обводнение, хорошее смачивание поверхности частиц тонкомолотого компонента-наполнителя растворенным силикатом натрия и обезвоживание последнего путем термообработки. Равномерное распределение безводного силиката натрия обеспечивается совместным помолом составляющих композиций. При этом повышается химическая активность материала и ускоряются физико-химические процессы растворения безводного силиката натрия. С этой целью в него вводят оптимальное количество воды и подвергают тепловой обработке.

Частицы силиката натрия, растворяясь в воде, и под воздействием температуры равномерно распределяются, обволакивают тонкоизмельченные частицы другого компонента, образуя тончайшие пленки между ними. При этом прочность связи лимитируется, в основном, когезией этих пленок, а также адгезией наполнителей. Важнейшее условие упрочнения пленок водных растворов силиката натрия – его дегидратация в результате теплового воздействия.

Под действием температуры водные растворы силиката натрия постепенно переходят в малоустойчивое состояние, характеризующее начало процесса структурообразования. В наибольшей степени коллоидно-химический характер затвердения присущ высокомолекулярным жидким стеклам, обычно используемым в качестве связующих формовочных смесей. Если учесть при этом, что растворение безводного силиката натрия в самой композиции и его обезвоживание – непрерывные процессы, идущие один за другим, то можно предполагать, что отвердевание водных растворов силиката натрия в композиции обусловлено испарением воды и резким увеличением вязкости растворов. Это сопровождается коагуляцией аморфного и гидросиликатов натрия, что наблюдается при неполном

гидролизе безводных силикатов натрия в композиции.

Таким образом, упрочнение композиционных смесей – это следствие одновременно протекающих процессов, приводящих к повышению адгезионной и когезионной прочности. Одним из необходимых условий при этом, как уже отмечалось, является – хорошее смачивание связующим веществом, в данном случае – жидким стеклом, поверхности частиц наполнителя.

Поскольку водного раствора силиката натрия, представляющего собой клеевое связующее, не хватает в силикат-натриевой композиции для полного объемного омоноличивания структуры, то он «омоноличивает» систему путем склеивания частиц наполнителя в местах их контактов, т.е. происходит контактное омоноличивание. Способ этот основывается на общих принципах склеивания двух контактирующих поверхностей тонкими клеевыми прослойками.

Качество такого клеевого соединения зависит от двух условий. Это адгезия клеевой композиции к поверхности склеиваемых частиц и когезионная прочность самой клеевой прослойки. Поэтому прочность и долговечность контактной зоны зависит от таких физико-химических и технологических факторов, как природа склеиваемых частиц и состояние их поверхности, характер контакта клеящих композиций, возможность химического взаимодействия контактируемых частиц с клеевой композицией в условиях изготовления и эксплуатации изделия, площадь контакта, толщина клеевого шва, температура и характер окружающей среды, цикличность изменения этих ее параметров в процессе службы изделий.

В нашем случае прочность связей во многом зависит от свойств клеящего вещества – адгезива и его отношения к склеиваемому материалу. Химическое или физическое взаимодействие адгезива с твердой поверхностью определяет характер деформаций и разрушения контактно омоноличенного материала и ряд других его свойств.

В зависимости от соотношения SiO_2 : (Na_2O , K_2O), степени обводнения силиката (его концентрации в водном растворе) клеящие свойства растворимого стекла, равно как его вязкость, могут меняться в значительных пределах.

Из всего многообразия факторов, влияющих на прочность клеевых контактов, образующихся в материале при введении в формовочную смесь тонкоизмельченной силикат-глыбы является ее растворимость в воде при различных условиях.

Как известно, растворимость силикат-глыбы во многом зависит от ее кремнеземистого модуля. Низкомодульные разновидности силикат-глыбы (модуль не более 2) легко растворяются в воде, но создают нестойкие по отношению к ней клеевые контакты. Кроме того, из-за высокого содержания щелочного компонента водостойкость приготовленных на таких стеклах материалов низкая. Наоборот, для высокомодульных видов (модуль более 3) силикат-глыбы показательна весьма низкая растворимость даже при высоких температурах и давлении.

В наших исследованиях для получения композиционных вяжущих были использованы следующие отходы производства: пемза-шлак, шлаки ваграночные, топливные шлаки, пылевидная зола, а в качестве связующего компонента была применена натриево-калиевая силикат-глыба. Химический состав вышеперечисленных компонентов приведен в таблице 1.

При изучении вяжущих свойств композиций из вышеприведенных отходов на основе связующего – безводного натриево-калиевого силиката (силикат-глыбы) мы стремились установить зависимость прочности материала от таких технологических факторов как: количество силикат-глыбы в материале, ее дисперсность и равномерность распределения, исходная влажность формовочных масс, вид тонкодисперсного твердого компонента, его соотношение с силикат-глыбой в % по массе. Это позволило бы создать рациональные технологические приемы для наиболее полного использования этих зависимостей.

Необходимо было также доказать возможность получения композиционного вяжущего на основе безводного натриево-калиевого силиката и определить основные условия его изготовления. Для опытов использовали композиции, состоящие из силикат-глыбы и тонкомолотых твердых веществ, характеристики которых приведены выше.

На рисунке 1. показаны результаты испытаний образцов размером 5x5x5 см, изготовленных из различных видов и составов вяжущих подверженных тепловой обработке по режиму: подъем температуры от 20 до 90°C – 1,5 ч., выдержка при 90+5°C – 2,5 ч., подъем температуры до 200°C – 1 ч., выдержка 2 ч., которые позволяют сделать следующие выводы.

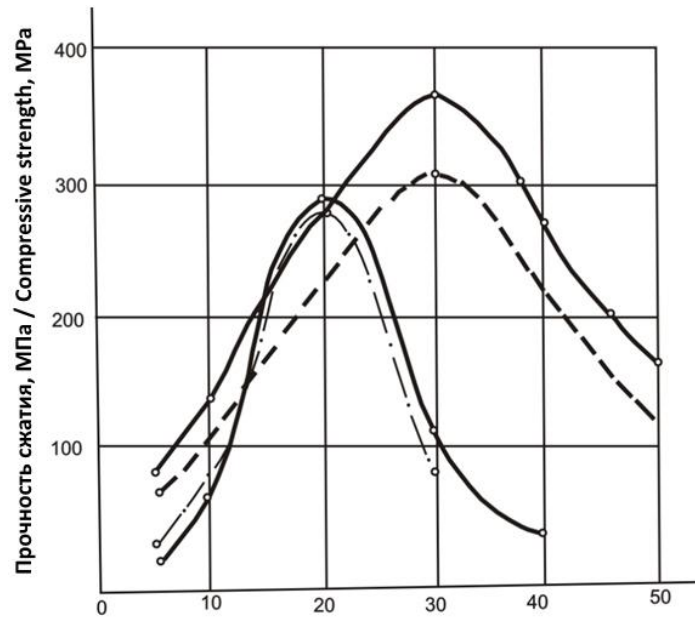


Рис. 1. Содержание силикат-глыбы.

Наполнители: 1 – ваграночный шлак; 2 – пемзошлак; 3 – зола-унос; 4 – топливный шлак. /

Fig. 1. The content of silicate blocks.

Fillers: 1 – cupola slag; 2 – pumice slag; 3 – fly ash; 4 – fuel slag.

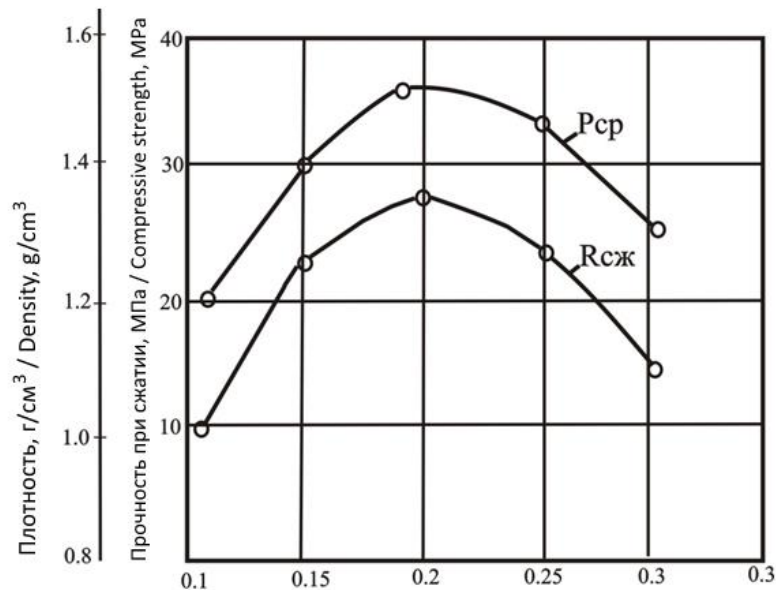


Рис. 2. Водовязующее отношение. /

Fig. 2. Water-binding ratio.

Содержание силикат-глыбы в композиционном вяжущем веществе существенно влияет на прочность высушенных образцов. Кривые зависимости имеют при этом экстремальный характер. По характеру левых восходящих ветвей можно сделать вывод о недостатке силикат-глыбы в композиции, что делает невозможным создание оптимального числа клеевых контактов. При 20–30% содержании в системе достигается максимум прочности.

На всех рассматриваемых кривых есть правые нисходящие ветви. Они свидетельствуют о спаде прочности при дальнейшем увеличении в системах содержания безводного натриево-калиевого силиката. Это объясняется рядом причин и, прежде всего, тем, что обводненный и затем высушенный силикат гораздо менее прочен, чем наполнитель. Кроме того, на растворение большого количества силиката расходуется много воды. В итоге при получении вяжущего и тепловой обработке образцов

появляется большое количество гидратированного силиката. Это и было причиной того, что при нагревании образцов до 150–200°C они вспучивались, давая значительный (до 20% и более) прирост объема.

Это объясняется объемным омоноличиванием порошков наполнителя обводненным силикатом. Установлено также, что обезвоживание силиката интенсивно протекает при 150–200°C и сопровождается вспучиванием материала, поскольку вязкость всей композиции достаточно высока для прорыва паров воды, так как свободных проходов при объемном омоноличивании для них нет.

При контактном омоноличивании тонкомолотого наполнителя вспучивания не было, так как пары воды через материал, не имеющий сплошности швов, проходят свободно. Следовательно, предельное содержание силикат-глыбы в композиции – 20–30% в зависимости от вида тонкомолотого наполнителя. При этом композиционные вяжущие имеют довольно высокую прочность (20–25 МПа). При таком содержании силикат-глыбы в вяжущем возникает предельное число клеевых контактов. Если их будет еще больше – система превратится в объемно-омоноличенную композицию.

Повышение содержания силикат-глыбы также нежелательно из-за большого количества щелочи, которая при этом образуется, и это существенно снижает водостойкость материалов.

Проводилось также исследование влияния технологических факторов на вяжущие свойства композиций из безводного натриево-калиевого силиката.

Зависимость плотности и прочности образцов, изготовленных с использованием в качестве тонкомолотой добавки золы-уноса, от водо-вяжущего фактора приведена на рис. 2.

Анализ кривых, характер которых подобен наблюдаемым в цементных растворах, показывает, что максимальной прочности вяжущего при равных условиях с учетом смачивания тонкомолотой золы-унос можно достичь при водо-вяжущем соотношении 0,1... 0,2.

Как уже отмечалось выше, необходимые условия структурообразования композиции – равномерное распределение в ней частиц силикат-глыбы, последующее обводнение, хорошее смачивание поверхности частиц минерала растворенным силикатом натрия и обезвоживание путем термообработки. Равномерное распределение силикат-глыбы в материале с наибольшим эффектом достигается при совместном сухом помоле компонентов, для чего можно использовать шаровые одно- и трехсекционные мельницы.

Как показали наши исследования, для получения силикатного вяжущего можно использовать не только золу-унос, но и другие виды техногенных отходов. Основные технические характеристики разработанных натриево-калиевых силикатных композиционных вяжущих представлены в таблице 1.

Таблица 1. / Table 1.

**Техническая характеристика натриево-калиевых силикатных вяжущих. /
Technical characteristics of sodium-potassium silicate binders.**

Состав в % по массе 80:20 / Composition in % by weight 80:20	Насыпная плотность силикат-натриевых композиций, кг/м ³ / Bulk density of sodium silicate compositions, kg/m ³	Плотность образцов после сушки при 200°C, кг/м ³ / The density of the samples after drying at 200°C, kg/m ³	Прочность после сушки при 200°C, МПа / Strength after drying at 200°C, MPa	Коэффициент размягчения после 3 суток в воде / Softening coefficient after 3 days in water
Золо-унос: силикат-глыба / Fly ash: silicate block	900–1000	1400–1500	26,0–30,0	0,85-0,9
Пемзошлак: силикат-глыба / Pumice slag: silicate block	1050	1700	30,0	0,85-0,9
Ваграночный шлак: силикат-глыба / Cupola slag: silicate block	1100	1600	26,0	0,75-0,8
Топливный шлак: силикат-глыба / Fuel slag: silicate block	1200	1800–1900	35,0	0,8-0,9

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность получения практически из любого вида отходов композиционных вяжущих на безводных натриево-калиевых силикатах (силикат-глыбе).

Вяжущие свойства этих композиций проявляются за счет приобретения безводным натриево-калиевым силикатом адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента, и когезионной прочности клеевых контактов, прочность и долговечность которых, в свою очередь, зависит от условий их образования.

Установлено, что при нагревании композиции в интервале температур 90–100°C происходит наиболее интенсивное поверхностное растворение зерен силикат-глыбы и, как следствие, увеличение площади клеевых контактов. Последующее повышение температуры до 160–200°C приводит к почти полному обезвоживанию системы и, следовательно, к ее упрочнению вследствие резкого повышения когезионной прочности клеевых контактов.

Экспериментальные исследования показали, что управление основными свойствами композиционного вяжущего можно осуществлять, изменяя ряд технологических факторов: содержание силикат-глыбы в композиции (20–30 масс %), тонкость помола компонентов (2000–3500 см²/г), количество воды затворения (17–20%), степень уплотнения смеси, применение тех или иных тонкомолотых отходов.

Достаточно высокие физико-механические свойства композиционных вяжущих, разработанных из отходов (зола-унос, топливный шлак, ваграночный шлак, пемзошлак) позволяют сделать предположение о том, что на их основе можно изготавливать легкие бетоны, вводя в качестве заполнителя различные виды пористых зернистых теплоизоляционных материалов (керамзит, аглопорит, гранулированный шлак, вспученный перлит и др.).

Литература

1. Абдрахимов В.З., Хасаев Г.Р., Абдрахимова Е.С. Колпаков А. В. Использование углеродсодержащих отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамических материалов различного назначения. // *Экология и промышленность России*. – 2013. – №9. – С. 30–33.
2. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование шлака от сжигания угля Канско-Ачинского бассейна в производстве керамических материалов на основе межсланцевой глины. // *Экология и промышленность России*. – 2014. – № 3. – С. 36–39.
3. Березовский, Н.И. Вовлечение промышленных отходов в процесс производства пористых строительных материалов. / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич. // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. – 2017. – Т. 2. – С. 104–106.
4. Ниязбекова Р.К. Свойства силикатных материалов, содержащих сталеплавильные шлаки. // *Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века: труды XIII Международного семинара Азиатско-Тихоокеанской академии материалов*. – Новосибирск. – 2006. – Т. 2. – С. 87–88.
5. Определение качественного и количественного анализа состава отходов и расчет класса опасности отходов [Электронный ресурс]. – Условия доступа: <http://www.ecobez.ru/klass-opasnosti-otходов.html>.
6. Павлов В.Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов. // *Строительные материалы*. – 2003. – №8. – С. 28–30.
7. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на силикат-натриевых композициях. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 208.
8. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б. Жаростойкое композиционное вяжущее. // *Бетон и железобетон*. – 2010. – №3. – С. 5–8.
9. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б. Теоретические предпосылки формирования структуры жаростойкого бетона на полисиликатнатриевом композиционном вяжущем. // *Бетон и железобетон*. – 2011. – №6. – С. 2–4.
10. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б. Исследования клеящей способности композиционного связующего на полисиликатах натрия. // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2012. – №3. – С. 59–61.

11. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., Абдулаев М.Ш., Абдулганиева Т.И. Использование аргиллитовых глин для производства керамзита. // Горный журнал – 2018а. – №3. – С. 58–62.
12. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д. Инновационные технологии производства экологически чистых строительных материалов нового поколения. // Геология и геофизика Юга России. – 2018б. – №4. – С. 149–155.
13. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д. Производство строительных материалов, с применением глинистых сланцев, аргиллитовых глин, кремнеземистого и техногенного сырья. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2018в. – №3(74). – С. 87–91.
14. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Использование низкообжиговых аргиллитовых глин для разработки наноструктурированных композиций. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Дагестана. Коллективная монография. ИИЕТ РАН. – 2019. – Т. IX. – С. 173–181.
15. Чантурия В.А., Чаплыгин Н.Н., Вигдергауз В.Е. Ресурсосберегающие технологии переработки минерального сырья и охрана окружающей среды. // Горный журнал. – 2007. – №2. – С. 91–96.
16. Benlalla A., Elmoussaouiti M., Dahhou M., Assafi M. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. // Applied Clay Science. – 2015. – V. 118. – Pp. 171–177.
17. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Mendivil Giry M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 63. – Pp. 97–107.
18. Naganathan S., Mohamed A.Y.O., Mustapha K.N. Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 96. – Pp. 576–580.
19. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // Construction and Building Materials. – 2011. – V. 25. – Pp. 4037–4042.
20. Sena da Fonseca B., Galhano C., Seixas D. Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks. // Applied Clay Science. – 2015. – V. 104. – Pp. 189–195.
21. Kizinievic O., Zurauskiene R., Kizinievic V., Zurauskas R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. // Construction and Building Materials. – 2013. – V. 41. – Pp. 464–473.
22. Ukwatta A., Mohajerani A., Setunge S., Eshtiaghi N. Possible use of biosolids in fired-clay bricks. // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 91. – Pp. 86–93.

References

1. Abdrakhimov V.Z., Khasaev G.R., Abdrakhimova E.S. Kolpakov A. V. Use of carbon-containing waste from the fuel and energy complex in the production of ceramic materials for various purposes. Ecology and industry of Russia. 2013. No. 9. pp. 30–33. (In Russ.)
2. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. The use of slag from coal combustion of the Kansk-Achinsk basin in the production of ceramic materials based on inter-shale clay. Ecology and industry of Russia. 2014. No. 3. pp. 36–39. (In Russ.)
3. Berezovskii N.I., N.P. Voronova E.K. Kostyukevich. Involvement of industrial waste in the production of porous building materials. Actual problems of modern science, technology and education. 2017. Vol. 2. pp. 104–106. (In Russ.)
4. Niyazbekova R.K. Properties of silicate materials containing steelmaking slags. Construction and decoration materials. In: 21st Century Standards: Proceedings of the 13th International Seminar of the Asia-Pacific Academy of Materials. Novosibirsk. 2006. Vol. 2. pp. 87–88. (In Russ.)
5. Determination of the qualitative and quantitative analysis of the composition of the waste and calculation of the hazard class of the waste [Electronic resource]. - Access conditions: <http://www.ecobez.ru/klass-opasnosti-othodov.html>. (In Russ.)
6. Pavlov V.F. A method of involving industrial waste in the production of building materials. Building Materials. 2003. No. 8. pp. 28–30. (In Russ.)
7. Toturbiev B.D. Building materials on sodium silicate compositions. Moscow. Stroyizdat, 1988. 208 p. (In Russ.)

8. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B. Heat-resistant composite binder. Concrete and reinforced concrete. 2010. No. 3. pp. 5–8. (In Russ.)
9. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B. Theoretical prerequisites for the formation of the structure of heat-resistant concrete on a polysilicate sodium composite binder. Concrete and reinforced concrete. 2011. No. 6. Pp. 2–4. (In Russ.)
10. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B. Studies of the adhesive ability of a composite binder on sodium polysilicates. Industrial and civil engineering. 2012. No. 3. pp. 59–61. (In Russ.)
11. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B., Abdulaev M.Sh., Abdulganieva T.I. The use of mudstone for the production of expanded clay. Gornyi Zhurnal. 2018a. No. 3. pp. 58–62. (In Russ.)
12. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbieva U.D. Innovative technologies for the production of environmentally friendly building materials of a new generation. Geology and Geophysics of Russian South. 2018b. No. 4. pp. 149–155. (In Russ.)
13. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbieva U.D. Production of building materials, using clay shale, mud clay, siliceous and technogenic raw materials. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2018. No. 3 (74). pp. 87–91. (In Russ.)
14. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. The use of low temperature calcination mudstone clays for the development of nanostructured compositions. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of Northern Dagestan. Collective monograph. IHST RAS. 2019. Vol. IX. pp. 173–181. (In Russ.)
15. Chanturiya V.A., Chaplygin N.N., Vigdergauz V.E. Resource-saving technologies for processing mineral raw materials and environmental protection. Gornyi Zhurnal. 2007. No. 2. pp. 91–96. (In Russ.)
16. Benlalla A., Elmoussaouiti M., Dahhou M., Assafi M. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. Applied Clay Science. 2015. Vol. 118. pp. 171–177.
17. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Mendivil Giry M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material. A review. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 63. pp. 97–107.
18. Naganathan S., Mohamed A.Y.O., Mustapha K.N. Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 96. pp. 576–580.
19. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. Construction and Building Materials. 2011. Vol. 25. pp. 4037–4042.
20. Sena da Fonseca B., Galhano C., Seixas D. Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks. Applied Clay Science. 2015. Vol. 104. pp. 189–195.
21. Kizinievic O., Zurauskiene R., Kizinievic V., Zurauskas R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. pp. 464–473.
22. Ukwatta A., Mohajerani A., Setunge S., Eshtiaghi N. Possible use of biosolids in fired-clay bricks. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 91. pp. 86–93.