

УДК 691-023.815

DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-172-178

## ПОЛУЧЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

*Э.К. Сардарбекова*

*Аннотация.* Проведен анализ исследований влияния комплексной активации глинозольной смеси на физико-механические и эксплуатационные свойства керамического материала. Результаты исследований показали, что совместная механическая активация суглинка с золой с последующей активацией поверхностно-активными добавками способствует раннему спеканию керамического кирпича с улучшенными физико-механическими свойствами. Определен рациональный состав шихты керамического кирпича на основе комплексно активированного глинозольного сырья. Установлено, что уменьшению пор способствуют разрушенные частицы золы сферолитового строения и повышенное содержание стеклофазы. Затягивание пор образует прочную монолитную структуру, которая способствует получению морозостойкого кирпича без высолов.

*Ключевые слова:* суглинки; зола; глинозольная смесь; комплексная активация; пластифицирующая добавка; водопоглощение; огневая усадка.

## ЖЕРГИЛИКТУУ СЫРЬЁНУН НЕГИЗИНДЕ СУУККА ЧЫДАМДУУ КЕРАМИКАЛЫК КИРПИЧТИ ЧЫГАРУУ

*Э.К. Сардарбекова*

*Аннотация.* Бул макалада керамикалык материалдын физикалык, механикалык жана эксплуатациялык касиеттерине чийки чопо-күлдү комплекстүү активациялоонун таасирин талдоо келтирилген. Изилдөөлөрдүн жыйынтыктары көрсөтүп тургандай, топурак менен күлдүн биргелешкен механикалык активдештирүүсү жана андан кийинки ийкемдетүүчү кошулмалар менен активдештирүү керамикалык кирпичтин эртереек бышканына жардам берет жана физикалык-механикалык касиеттерин жакшыртат. Комплекстүү активдештирилген чийки топурак менен күлдүн заттын негизинде керамикалык кыштын оптималдуу курамы аныкталды. Көңдөйчөлөрдүн азайышына сфералуу күл бөлүкчөлөрдүн бузулушунун жана айнек фазасынын көбөйүшүнүн көмөктөшкөндөрү аныкталган. Көңдөйчөлөрдү бекемдөө күчтүү монолиттүү түзүлүштү түзөт, ал үшүккө чыдамдуу, туздуулуксуз кирпичти өндүрүүгө өбөлгө түзөт.

*Түйүндүү сөздөр:* курамында чопо менен кум көбүрөөк болгон топурак; күл; чопо-күлдүк аралашма; комплекстик активациялоо; ийкемдетүүчү кошулмалар; сууну сиңирүү; күйүү жыйрылуусу.

## OBTAINING FROST-RESISTANT CERAMIC BRICK BASED ON LOCAL RAW MATERIALS

*E.K. Sardarbekova*

*Abstract.* The paper presents the analysis of studies on the impact of complex activation of aluminosilicate mixture on the physical-mechanical and operational properties of ceramic material. The research results showed that combined mechanical activation of loam with fly ash followed by activation with surfactant additives promotes early sintering with improved physical-mechanical properties. A rational composition for ceramic brick batch based on complexly activated aluminosilicate raw materials was determined. It was found that reduced porosity is promoted by the destruction of spherulitic ash particles and increased glass phase content. The filling of pores forms a solid monolithic structure, which contributes to the production of frost-resistant bricks without efflorescence.

*Keywords:* loam; ash; ash-clay mixture; complex activation; plasticizing additive; water absorption; fire shrinkage.

Несмотря на большое разнообразие выпускаемых стеновых изделий, керамический кирпич не теряет своей актуальности во все времена. Однако современные строительные материалы должны удовлетворять ряду требований, среди которых прочность, устойчивость к неблагоприятным погодным условиям, а также экологическая безопасность. Одним из важных критериев является морозостойкость. Морозостойкость определяется способностью строительного материала выдерживать многократные циклы замораживания и оттаивания без ущерба для его целостности, прочности и массы. Этот критерий особенно важен для климатических условий Кыргызстана с сильными перепадами температур, где зима может быть суровой, а лето жарким. Если материал не устойчив к этим условиям, он может быстро разрушиться, что приведет к высоким затратам на ремонт и реконструкцию.

Суглинки для производства керамического кирпича в республике характеризуются как закарбонизованное, засоленное сырье с низкой пластичностью. Стеновой материал на основе такого сырья будет обладать малой прочностью, неоднородной пористой структурой с высолом.

В работе [1] было предложено вводить золоотходы в сырьевую смесь для производства кирпича, что помимо энергосбережения будет играть и роль отощителя. Несгоревшие частички угля в них способствуют интенсивному спеканию материала. Однако полученное керамическое изделие на основе зологлиняного сырья характеризуется пористой структурой с высоким водопоглощением и, соответственно, пониженной плотностью.

Цель данной работы – разработка составов на основе местных суглинков и золоотходов для получения морозостойкого керамического материала без высолов.

В качестве сырья были использованы лессовидные суглинки Ивановского месторождения и зола Бишкекской ТЭЦ. Химический состав суглинков приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав суглинков

Сырье	Химический состав, % по массе									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ппп	Σ
Суглинок	52,4	12,9	4,1	11,3	3,1	0,9	1,01	1,28	11,5	99,79
Зола БТЭЦ	51,57	21,87	3,70	3,09	1,24	1,47	0,52		16,54	100

Комплексную активацию проводили следующим образом. Глинистое сырье вместе с золой БТЭЦ (0–75 %) подвергали механической активации в смесителе-активаторе, работающем по принципу центробежной мельницы, в течение 3-х минут. Время активации было принято на основе проведенных ранее исследований [2]. Затем вводили пластифицирующую добавку – нафтенат натрия ПО-ПБ-7 в количестве 0,1 % от массы с водой затворения, и формовали образцы-цилиндры методом пластического формования. Данная дозировка обусловлена тем, что при введении более 0,1 % ПО-ПБ-7 добавки будет способствовать вовлечению в смесь более 5 % воздуха, что может увеличить пластичность, но снизить при этом пластическую прочность структуры [3].

После высушивания при 105–110 °С образцы обжигали в интервале температур 900–1000 °С с шагом 50 °С в лабораторной муфельной печи.

Испытания проводили по лабораторным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ.

При испытании на морозостойкость поры керамического материала, заполненные водой при замораживании, еще больше расширяются. В результате этого разрушение материала происходит быстрее. Поэтому на этапе определения плотности также определяли водопоглощение золокерамических образцов на основе глинозольных (исходных) и комплексно активированных глинозольных (КА) смесей.

По результатам экспериментов были построены графики (рисунки 1 и 2). На графиках зависимостей значений плотности и водопоглощения образцов от температуры обжига и компонентных

составов видно (рисунок 1), что с введением золы до 75 % в керамические массы значения плотности уменьшаются, а водопоглощения увеличиваются, что, в целом, приводит к увеличению пористости.

Это вызвано следующими причинами. Во-первых, содержащиеся в золе остатки топлива при спекании сгорают, оставляя за собой пустоты, которые увеличивают пористость керамического черепка. Во-вторых, зола содержит полые сферические частицы. При спекании эти частицы могут разрушаться или деформироваться, что также приводит к увеличению пористости. И в-третьих, керамические массы на основе глинозольных смесей содержат высокую формовочную влажность. Введение золы в суглинок выполняет роль пептизатора (деагрегатора), что приводит к повышению уровня гидратации частиц [3].

Результаты исследований экспериментальных образцов на основе КА смесей показали значительное повышение плотности и понижение водопоглощения с повышением температуры обжига (рисунок 2). Принудительная активация способствовала более интенсивному разрушению частиц суглинка и золы, тем самым уплотнив их между собой. Кроме того, совместная механическая активация суглинка и золы ослабила пептизирующую роль золы, что поспособствовало уменьшению формовочной влажности глинозольной массы.

С увеличением доли зольной составляющей до 45 % при 900 и 950 °С можно получить керамический черепок с плотностью 1,61 и 1,63 г/см<sup>3</sup> и водопоглощением 17,5 и 17,9 % соответственно, т. е. при 900 °С можно получить спекшийся черепок. Этот факт подтверждает утверждение о том, что зола, совместно диспергированная с суглинком, активно взаимодействуя с глинистыми минералами,

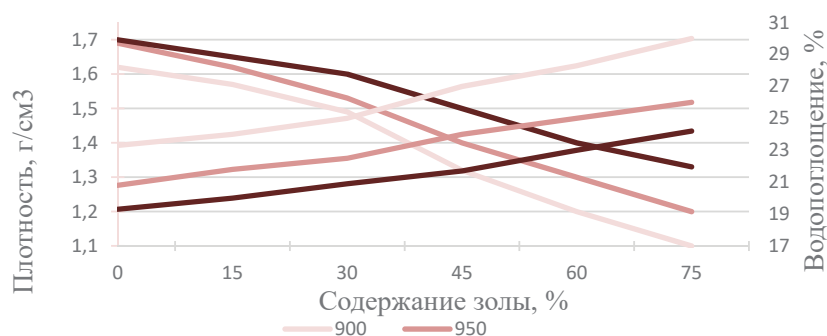


Рисунок 1 – Зависимость плотности и водопоглощения образцов на основе исходного глинозольного сырья от содержания золы и температуры обжига

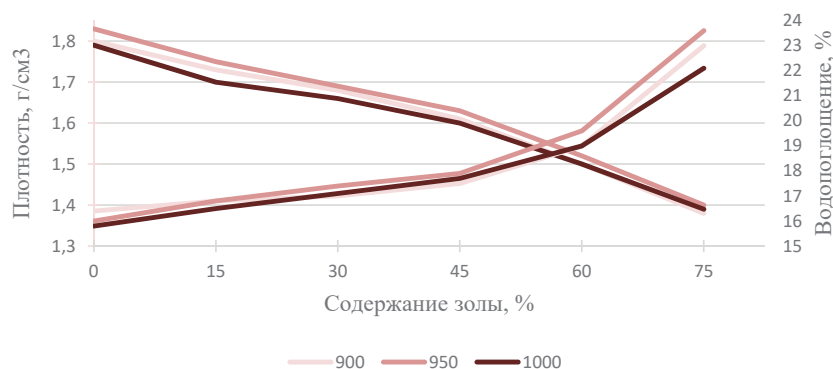


Рисунок 2 – Зависимость плотности и водопоглощения образцов на основе КА глинозольного сырья от содержания золы и температуры обжига

способствует муллитобразованию, а также играет роль активного плавня, интенсифицируя процесс спекания [3].

Активизирующее влияние КА глинозольных смесей на механические свойства подтверждают полученные значения прочности при сжатии (рисунок 3), а спечённость черепков можно проследить по общей усадке (рисунок 4).

Полученные результаты показали, что прочность образцов на основе КА значительно повышается по сравнению с исходными (рисунок 3). При вводе золы более 45 % показатель прочности уменьшается. Хорошие результаты были получены при температуре 900 °С. Показатель прочности черепков на основе КА глинозольных составов растет по сравнению с исходными с 7,2 до 17,5 МПа при 900 °С, с 9,5 до 10,4 МПа при 950 °С, с 11,9 до 17,4 МПа при 1000 °С, соответственно. Значения огневой усадки при этом составляют 0,28; 0,29 и 0,31 соответственно температурам обжига: 900, 950 и 1000 °С (рисунок 4).

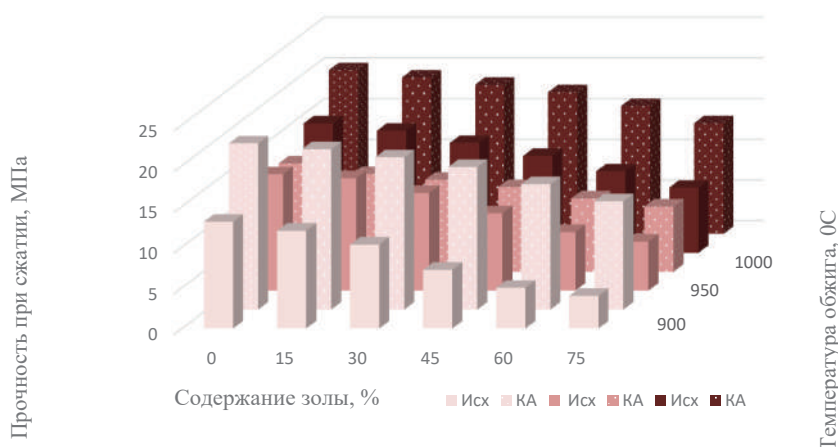


Рисунок 3 – Изменение прочности при сжатии образцов на основе глинозольных смесей (Исх.) и комплексно активированных глинозольных смесей (КА)

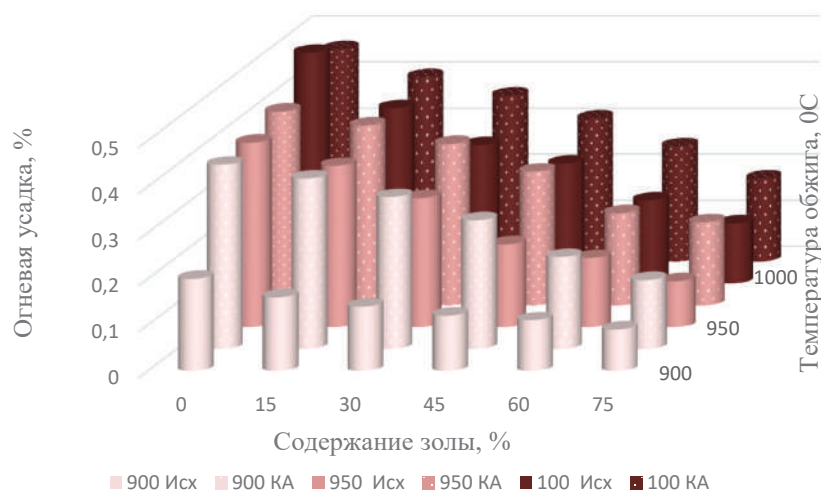


Рисунок 4 – Изменение огневой усадки образцов на основе глинозольных смесей (Исх.) и комплексно активированных глинозольных смесей (КА)

Анализ результатов проведенных исследований позволяет установить, что для полноценного спекания материала добавление золы БТЭЦ в КА глинозольной смеси можно увеличить до 45 %, а температуру обжига – до 900 °С (рисунок 5, 1). Как видно, огневая усадка незначительна и не превышает 0,31 %. Дальнейшее увеличение температуры до 950–1000 °С неэффективно, так как увеличения прочности не наблюдается. О достаточном количестве стеклофазы в процессе обжига свидетельствуют значения огневой усадки. Таким образом, для дальнейших исследований был принят рациональный состав комплексно активированной глинозольной смеси в соотношении: 55 % суглинок; 45 % зола БТЭЦ.

Рентгенофазовый анализ обожженных образцов на основе суглинка и золы, обожженных при 900 °С (рисунок 5, 1) показал наличие в них муллита (3,791 Å), кварца (4,31; 3,331; 2,451; 2,121; 1,812; 1,660; 1,575; 1,454 Å), полевых шпатов (2,842; 2,443; 1,930; 1,601 Å), гематита (2,443; 1,68 Å), кальциев (3,3; 1,930 Å) и однокальциевого алюмината (3,791; 2,082 Å).

В образцах на основе КА смеси видно увеличение количества муллита по дополнительным пикам (2,538; 1,895; 1,518 Å) (рисунок 5, 2).

Образование анортита идентифицируется по отражениям: 3,852; 3,182; 2,084; 1,762 Å, при этом свободный оксид кальция в черепке отсутствует и значительно уменьшается алюминат кальция.

Исследования микроструктуры фотографий на поверхностях излома образцов показали (рисунок 6, а), что средний размер сферических частиц составляет 3,858 мкм.

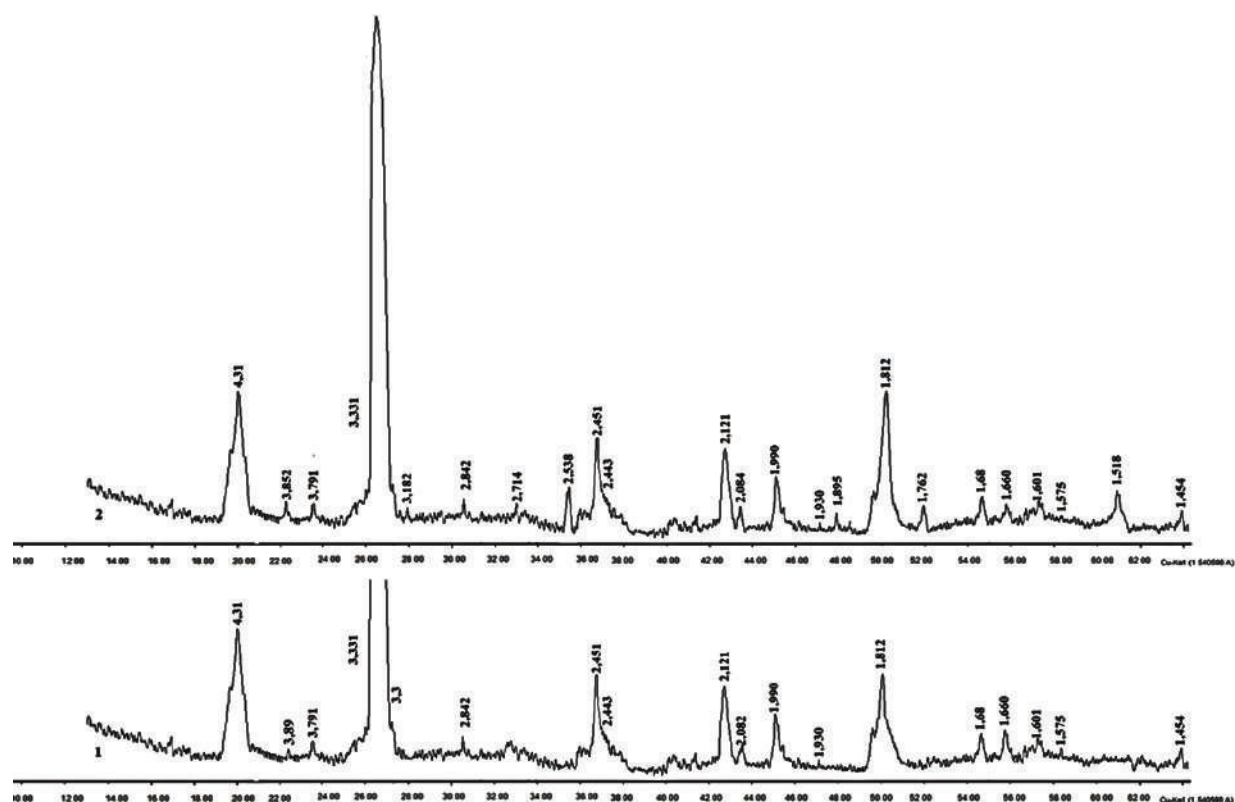


Рисунок 5 – Рентгенограммы обожженных образцов при температуре 900 °С на основе суглинка с золой – 1; КА суглинка с золой – 2

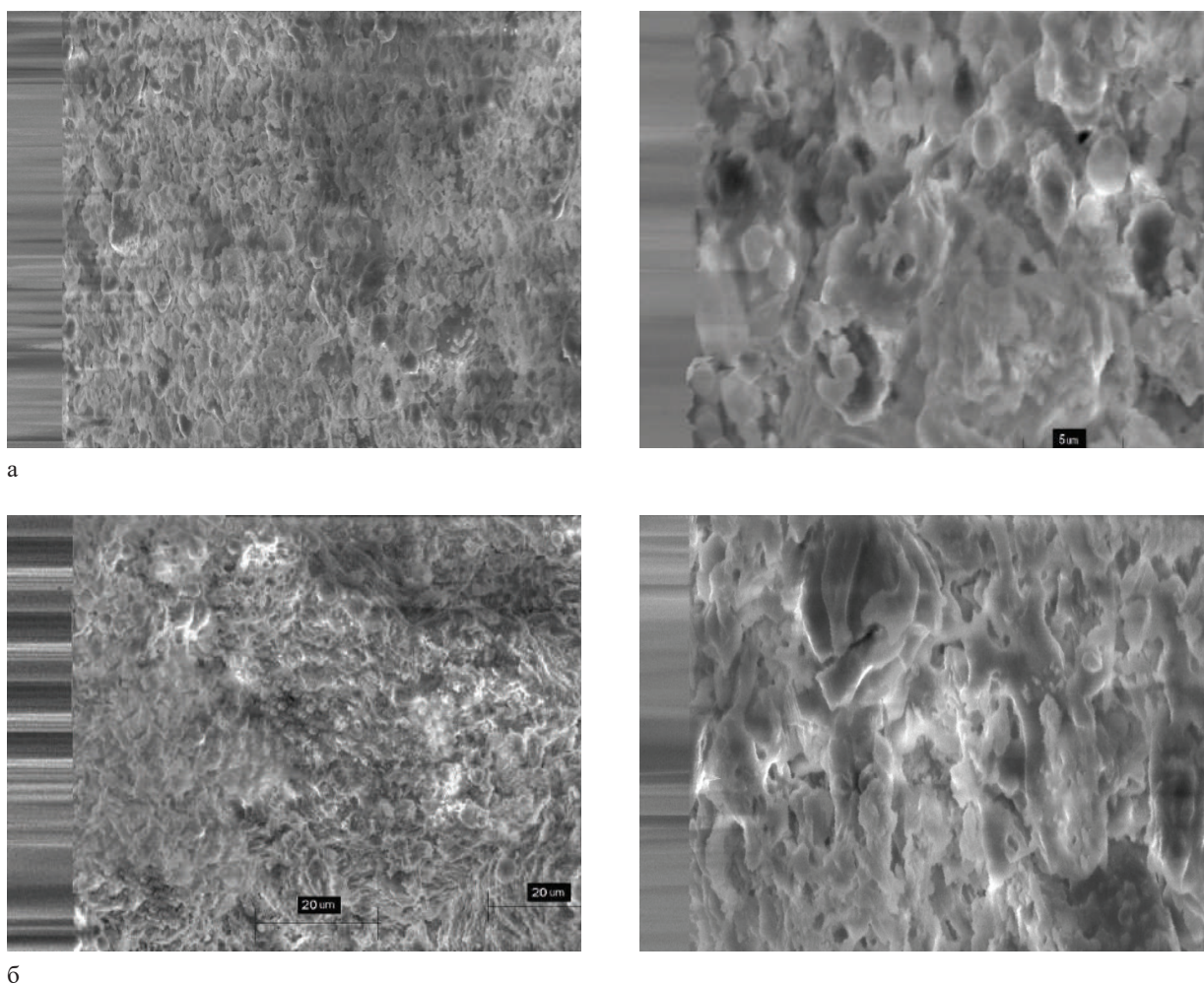


Рисунок 6 – Фотографии микроструктуры черепков на основе:  
а – исходного и б – МА при увеличении в 1 – 400х и 2 – 1600х, обожженных при 900 °С

Диаметр открытых пор достигает 5 мкм, средний диаметр закрытых – 1 987 мкм. Благодаря интенсивному развитию образовавшегося расплава, в образце на основе КА глинозольных смесей снижается размер пор черепка со средним диаметром 1,581 мкм (рисунок 6, б).

Образование упрочняющих фаз – муллита и анортита при 900 °С у образцов на основе КА зологлиняного сырья свидетельствует о раннем образовании легкоплавких соединений, обусловленных выгоранием измельченных ококсованных остатков золы, а также интенсификацией процессов спекания в уменьшенных агрегатах частиц. Совместное диспергирование суглинка с золой способствовало их интенсивному измельчению и образованию реакционноспособных участков на поверхностях частиц.

Уменьшению пор способствуют аморфизированные и частично разрушенные частицы золы сферолитового строения, а также повышенное содержание стеклофазы как цементирующего вещества, способствующего затягиванию открытых пор, образуя прочную монолитную структуру.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что образцы на основе КА глинозольных смесей рациональных составов, изготовленные пластическим методом формования,

обладают достаточно высокими физико-механическими показателями и имеют марку М150, морозостойкость – F25 согласно ГОСТ 530–2012, и характеризуются улучшенными технико-эксплуатационными свойствами без высолов.

Поступила: 20.05.24; рецензирована: 03.06.24; принята: 05.06.24.

*Литература*

1. *Абдрахимов В.З.* Использование отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамического кирпича – один из современных приоритетов развития «зеленой» экономики / В.З. Абдрахимов, Д.А. Лобачев, Е.С. Абдрахимова // Вестник ПТО РААСН. 2016. Вып. 19. С. 296–303.
2. *Мавлянов А.С.* Влияние механической активации глинистого сырья на гранулометрический состав и технологические свойства керамического материала / А.С. Мавлянов, Э.К. Сардарбекова // Вестник Таджикского нац. ун-та. 2017. № 1/4. С. 127–133.
3. *Мавлянов А.С.* Исследование влияния комплексной активации на реологические и технологические характеристики керамических масс / А.С. Мавлянов, Э.К. Сардарбекова // Вестник КРСУ. 2019. Т. 19. № 4. С. 71–76.
4. *Лемешев В.Г.* Использование золы-унос в технологии производства керамических стеновых материалов / В.Г. Лемешев, Д.О. Лемешев // Матер. II Всерос. научн. конф. «Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий». Томск: Изд. ТПУ. 2002. Т. 1. С. 90–92.