

Мавлянов Абдырахман Субанкулович, д.т.н., профессор,  
Сардарбекова Эльмира Карагуловна, к.т.н., доцент, КРСУ,  
Касымбеков Султангазы Наргозуевич, к.т.н., Институт  
природных ресурсов ЮО НАН КР,  
sultangazy@mail.ru

### **ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ**

*В работе приведен анализ исследований физико-механических характеристик керамического черепка, полученного на основе комплексной активации глинозольного сырья с пластифицирующей добавкой. Установлено, что комплексная активация интенсифицирует процесс спекания керамического материала. Определен рациональный состав шихты керамического кирпича на основе комплексно активированного глинозольного сырья.*

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

Мавлянов Абдырахман Субанкулович, т.и.д., проф.,  
КР ИАнын корр.-мүчөсү,  
Сардарбекова Эльмира Карагуловна, т.и.к., доцент, КРСУ,  
Касымбеков Султангазы Наргозуевич, т.и.к., доцент,  
“Жаратылыш байлыктары институту, Түштүк бөлүмү УИАКР

### **ЖЕРГИЛИКТҮҮ ЧИЙКИ ЗАТТАРДАН ЖАСАЛГАН КЕРАМИКА МАТЕРИАЛДЫН ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫК САПАТТАРЫН ЖОГОРУЛОО**

*Бул иште комплекстүү активдештирилген чопо-күл чийки зат менен ийкемдетүү кошулмасынын негизинде даярдалган керамикалык карапанын физика механикалык касиеттеринин изилдөө анализи келтирилген. Комплекстик активациялоо керамикалык материалдын бышуу процесстерин интенсификациялантаарын аныкталды. Комплекстүү активдештирилген чопо-күл чийки заттын негизиндеги шихтанын рационалдык курамы аныкталды.*

*Негизги сөздөр: суглинок, күл, чопо-күлдүк аралашма, комплекстик активациялоо, ийкемдеткич кошулмалар, суу сиңиримдүүлүгү, күйүү жыйрылуусу.*

Mavlyanov Abdyrakhman Subankulovich - D.T.S., prof.,  
Correspondent member NAS KR,  
Sardarbekova Elmira Karagulovna - C.T.S., assoc. prof., KRSU,  
Kasymbekov Sultangazy Nargozuevich - C.T.S., assoc. Prof.,  
INR, SB NAS KR

### **IMPROVEMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CERAMIC MATERIAL BASED ON LOCAL RAW MATERIALS**

*In this work gives results of analysis of researches of physical-mechanical characteristics of the ceramic crock received on the basis of complex activation of clay-ash raw materials with the plasticizing additive. It is established that joint complex activation*

*intensifies process of agglomeration of ceramic material. The rational composition of furnace charge of a ceramic brick on the basis of in a complex activated clay/ash raw materials is defined.*

*Key words: loam; ash; ash-clay mixture; complex activation; plasticizing additive, water absorption, firing shrinkage.*

**Введение.** В основе ресурсосберегающих технологий стеновой керамики лежит использование отходов промышленности, отличающихся большим разнообразием свойств и по-разному влияющих на качество продукции на их основе.

В Кыргызстане, как и в ряде стран ближнего и дальнего зарубежья самыми многотоннажными являются отходы зол ТЭЦ, которые могут быть сокращены и в дальнейшем ликвидированы только при рациональном их использовании в производстве строительных материалов, в том числе керамическом производстве.

В настоящее время использование золошлаковых отходов отражено в многочисленных исследованиях Абдрахимова В.З., Сайбулатова С.Ж. и др. Достоинство заключается в том, что в их составе содержатся как минеральные частицы, так и остатки несгоревшего угля, которые образуют готовый отощающе-выгорающий комплекс [1, 2].

Известно, что в изделиях пластического формования глинистые частицы более равномерно распределяются по массе золы, обволакивая его зерна. Повышение прочности кирпича при обжиге обусловлено жидкой фазой, которая связывает после остывания тугоплавкие частицы, и твердофазными реакциями, при которых образуются минералы в контактных зонах, связывающие частицы в результате срастания с ними и образующие в конечном итоге керамический камень.

Однако, золокерамические изделия характеризуются низкой плотностью и высоким водопоглощением. Поэтому в керамическом производстве, включающих введение золошлаковых отходов, необходимо учитывать экономически эффективные современные методы массоподготовки, а именно совместную предварительную обработку глинистого сырья и золы. Это касается физических способов воздействия на материал, механической и химической (комплексной) активации.

Целью данной работы было исследование влияния комплексной активации на физико-механические свойства керамического материала из глинозольных смесей различного состава и определение рациональных составов шихт.

**Материалы и методы.** В качестве сырьевых материалов использованы лессовидные суглинки месторождений Баш-Карасуу (СМБ), Токмок (СМТ) и Аджидар (СМА) и зола Бишкекской ТЭЦ (ЗБТЭЦ).

Суглинки относятся к гидрослюдисто-каолинитовым и характеризуются как высококарбонатные, средnezасоленные и непластичные. СМБ и СМА относятся к кислуму ( $Al_2O_3$  – 11,88% и 12,9%), СМТ – к полукислуму (15,88%) с высоким содержанием красящих оксидов.

Результаты исследований гранулометрического состава суглинков (табл.2) позволили установить, что СМБ и СМА являются грубодисперсным (менее 0,005 мм – 9,6 и 12,5%), у сырья СМТ фракций менее 0,005 мм содержится 16,29%, что относит его к низкодисперсному. По числу пластичности СМТ относится к умереннопластичному, а СМБ и СМА – к малопластичным.

В качестве техногенных отходов использована зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ). По химическому составу (табл. 1) зола характеризуется высоким содержанием кремнезема и глинозема. Повышенное содержание потерь массы при прокаливании, которые косвенно характеризуют количество остаточного топлива (8-10%), позволяет использовать золу в качестве выгорающей добавки, что приводит к снижению расхода топлива на обжиг изделий. Исследуемая ЗБТЭЦ представляет собой рыхлый материал черно-серого цвета средней плотностью 870 кг/м<sup>3</sup>, удельной поверхностью 2240 см<sup>2</sup>/г,

что относит ее к среднедисперсным. [3] Содержание водорастворимых солей – 0,28 % (незасоленное сырье).

Таблица 1

Химический и гранулометрический состав

Месторождения суглинков	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
Баш-Карасуу	55,45	11,88	3,30	9,42	3,35	0,82	3,1	1,86	10,64	99,82
Токмок	61,79	15,88	5,02	4,46	2,10	0,3	2,55	1,07	7,55	100
Аджидаар	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

Таблица 2

Гранулометрический состав суглинков

Месторождения	Фракции, мм					
	менее 0,005мм	0,005-0,01мм	0,01-0,25мм	0,25-0,5 мм	0,5-1 мм	1-2 мм
Баш-Карасуу	9,6	41,5	42,65	2,05	1,2	3,0
Токмок	16,29	11,16	48,12	6,71	10,31	7,41
Аджидаар	12,5	31,34	52,98	1,3	1,7	0,18
Зола БТЭЦ	6,6	11,48	51	7,36	15,36	8,2

В качестве поверхностно-активного вещества использована пластифицирующая добавка «ПО-ПБ-7», изготовленная по ТУ 0258-001-57548485-2003. ПАВ представляет собой водный раствор нафтената натрия (мылонафт)  $C_5H_9(CH_2)_nCOONa$  и модифицирующей добавки. По основным показателям ПО-ПБ-7 относится к пластифицирующе-воздухововлекающему и гидрофобизирующему видам добавок. Нафтенат натрия получают из щелочных отходов нефтехимического производства. По внешнему виду реагент представляет собой легкоподвижную жидкость темно-коричневого цвета плотностью 1,01—1,03 г/см<sup>3</sup>, массовая доля %, нефтяных кислот - 42; минеральных масел - 56; натриевых солей – 2.

Комплексную активацию проводили следующим образом. Глинистое сырье совместно с золой в количестве от 0 до 75% подвергали механической активации (МА) в смесителе-активаторе, работающем по принципу центробежной мельницы, в течение 3 минут. Время МА активации было принято на основе проведенных ранее исследований [4,5]. В глинозольные механоактивированные смеси вводили добавку 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 будет способствовать вовлечению в смесь более 5% воздуха, что может увеличить пластичность, но снизить при этом пластическую прочность структуры. После высушивания при 105-110 °С образцы обжигались в интервале температур 900-1000 °С с шагом 50°С в лабораторной муфельной печи.

Испытания проводились по лабораторным методикам в соответствии с требованиями ГОСТа.

**Результаты исследований.** Для оценки степени спекания керамического материала на основе комплексно активированных (КА) и неактивированных (исходных) глинозольных составов были определены плотность, водопоглощение (рис. 1-3), а также изменение предела прочности при сжатии и огневой усадки образцов (рис. 4.) в зависимости от их компонентного состава и температуры обжига.

**Обсуждение результатов.** Исследованиями установлено, что ввод золы в керамические массы, в целом, приводит к ухудшению этих показателей (рис.1-3): с увеличением доли зольной составляющей происходит уменьшение плотности и

увеличение водопоглощения, а, следовательно, увеличение пористости, характерное для золокерамических изделий, обусловленное значительным газообразованием структуры. Причиной этого являются процессы выгорания остаточного топлива и разрывов полых сферических частичек, содержащихся в золе, способствующие поризации структуры. Уменьшению плотности способствовало также увеличение формовочной влажности зологлиняных масс. Известно, что пористая структура улучшает теплофизические свойства изделий, однако является причиной низкой морозостойкости. Кроме того, содержащиеся в суглинках соли, свободно перемещаются по порам на поверхность изделия, образуя высолы на поверхности готового изделия.

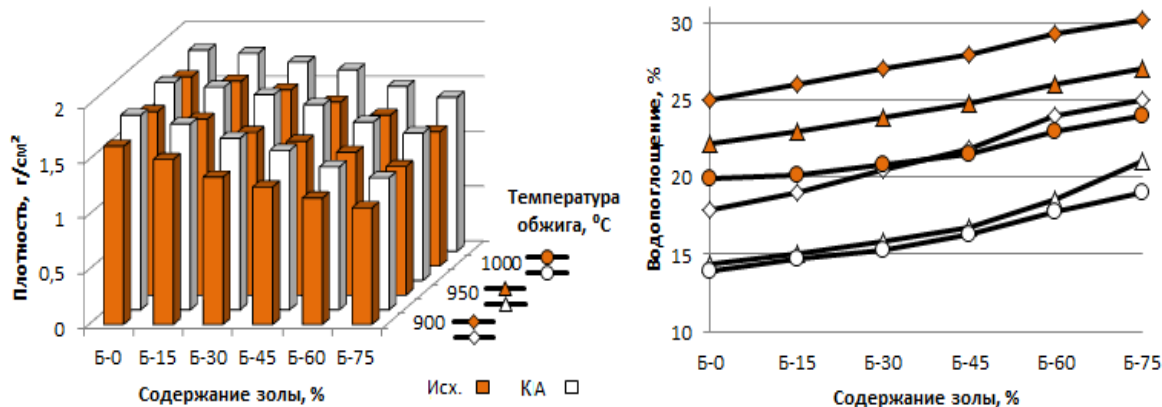


Рис. 1. Зависимость плотности и водопоглощения образцов на основе СМБ от содержания золы и температуры обжига.

Так, при введении в СМБ золы от 15 до 75% (рис 1) уменьшается значение средней плотности, а при повышении температуры обжига с 900 до 950 и 1000 °С – увеличивается. Значения водопоглощения при этом меняются в обратной зависимости. Как видно из рисунка, кривые приобретают более пологий характер с точки Б-15, т.е. ввод золы более 15% приводит к большему уменьшению плотности и увеличению водопоглощения.

КА глинозольных составов на основе СМБ (рис. 1) существенно влияет на повышение плотности и понижение водопоглощения в зависимости от температуры обжига. Это обусловлено увеличением дисперсности частиц глинистой и зольной составляющих и деформации их кристаллической решетки, что обеспечивает максимальную упаковку припекающихся частиц и увеличению количества контактных точек образования расплава [ 5 ]. При увеличении доли зольной составляющей до 45% в пределах температур 950 и 1000 °С можно получить керамический черепок с плотностью 1,6 и 1,65 г/см³ и водопоглощением 17 и 16,5% соответственно. Т.е. при 950 °С можно получить спекшийся черепок.

Это объясняется тем, при КА частицы суглинка и золы перетираясь и соударяясь друг друга, более активно взаимодействует с глинистыми минералами, способствуя муллитообразованию. Кроме того, разрушенные сферические частички, которые составляют стекловидную фазу золы, способствовали интенсификации жидкофазного спекания.

Сравнение полученных результатов изменения плотности и водопоглощения образцов на основе суглинков СМТ (рис. 2) и СМА (рис. 3) исходных и КА зологлиняных масс с различным содержанием золы и, обожженных при разных температурах обжига, показало, что КА зологлиняной смеси способствует уменьшению поризации структуры.

На кривых зологлиняных составов на основе СМТ (рис. 2) наглядно видно, что резкое уменьшение плотности и увеличение водопоглощения происходит при увеличении добавки золы более 30% у исходных и более 60% - у КА компонентных

составов при равных температурах обжига. Из рис. 2 следует, что КА глинозольной смеси с 60% золой при температуре обжига 950 °С приводит к снижению водопоглощения керамического черепка (17,2%), что на 45% ниже по сравнению с исходным составом. При обжиге 1000 °С водопоглощение снижается незначительно - 17%, т.е. нет необходимости повышать температуру обжига.

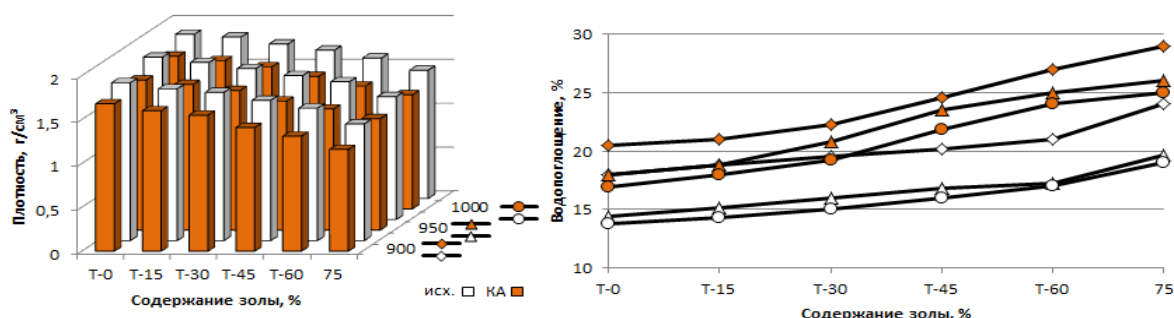


Рис. 2. Зависимость плотности и водопоглощения образцов на основе СМТ от содержания золы и температуры обжига.

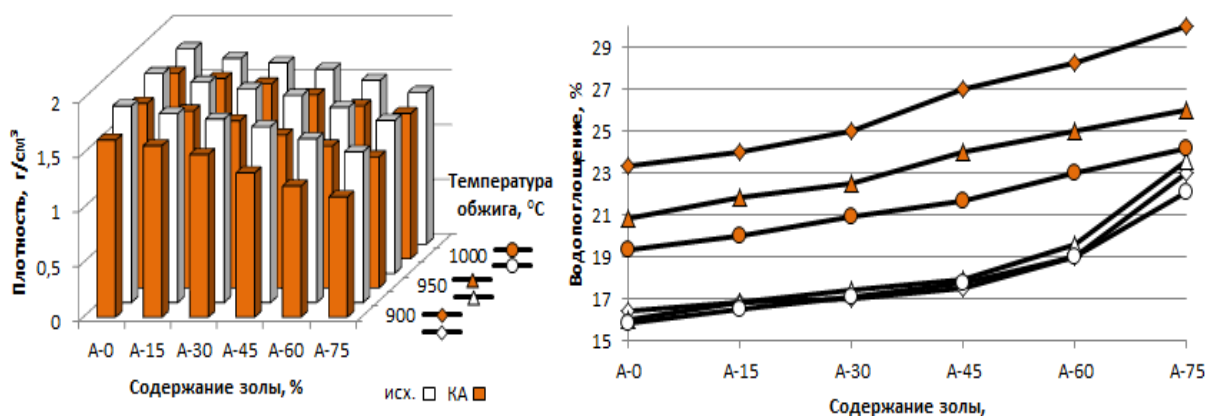


Рис. 3. Зависимость плотности и водопоглощения образцов на основе СМА от содержания золы и температуры обжига /

У золокерамических образцов на основе СМА (рис. 3) оптимальные значения плотности и водопоглощения получены у образцов, содержащих до 30% золы, а при КА – с содержанием золы до 45%. Средняя плотность – 1,61 г/см<sup>3</sup> и водопоглощение 17,5% получены при температуре обжига 900 °С, при увеличении 950 °С плотность составляет 1,63 г/см<sup>3</sup>, водопоглощение 17,9%, а при увеличении температуры обжига до 1000 °С эти показатели составляют 1,6 г/см<sup>3</sup> и 17,7% соответственно. По-видимому, КА суглинка с золой способствовало раннему образованию жидкой фазы и появлению упрочняющих фаз.

Предел прочности при сжатии образцов на основе исходных глинозольных масс заметно снижается с увеличением доли зольной составляющей. Кроме того, при визуальном осмотре, в ряде случаев, зафиксированы глубокие отбитости и отколы отдельных фрагментов образцов. Это происходит из-за того, что сферические частички, находящиеся в исходном материале, взрываются из-за содержания в них остатков частиц угля. Из приведенных результатов исследований установлено, что КА глинозольных составов значительно увеличивает показатель прочности при сжатии.

Активизирующее влияние КА глинозольных смесей на переход от конденсационной к кристаллизационной структуре подтверждают полученные значения прочности при сжатии и огневой усадки (рис. 4).

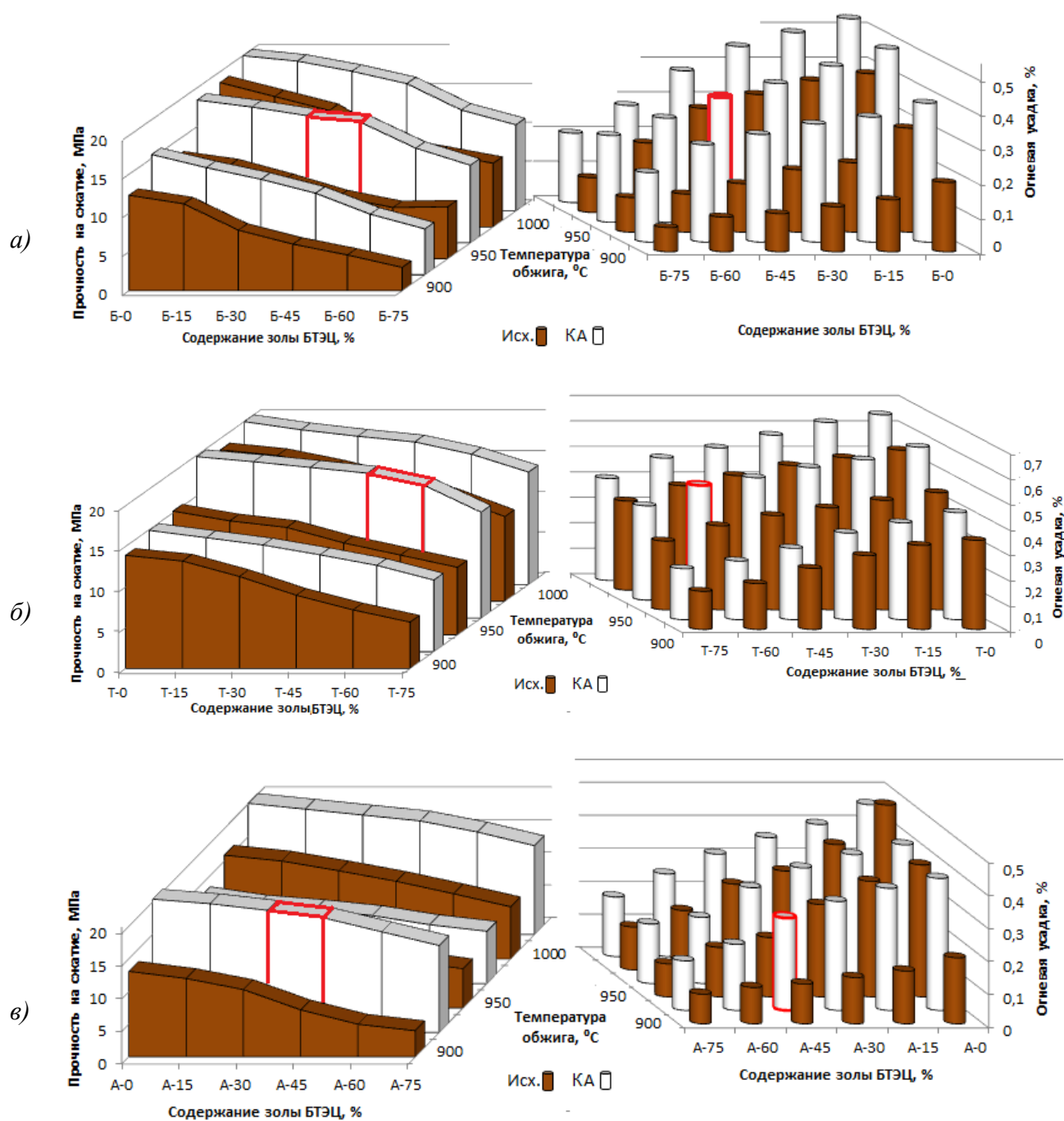


Рис. 4. Керамические свойства образцов на основе исходных и КА глинозольных масс (КА): а – СМБ; б – СМТ; в – СМА/

Так, при добавлении до 45% золы в СМБ (рис. 4, а) прочность по сравнению с исходными составами растет с 6 до 10,5 МПа при 900 °С, с 8 до 15,5 МПа при 950 °С и с 10,7 до 16,4 МПа при 1000°С. Как было установлено ранее [5], увеличение дисперсности частиц твердой фазы обусловило увеличение сил поверхностного натяжения, ускорив при этом скорость сближения частиц и увеличению его растворимости в жидкой фазе при увеличении температуры обжига с 900 до 950 °С, поэтому огневая усадка растет с 0,31 до 0,36%, дальнейшее увеличение температуры до 1000 °С усадка увеличивается незначительно – до 0,38%.

Из данных (рис. 4, в) следует, что незначительное уменьшение прочности при сжатии образцов на основе КА СМА с золой наблюдается при введении золы также до 45%, большее введение золы вызывает резкое уменьшение этого показателя. Причем

наилучшие результаты 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.

Как видно, огневая усадка незначительна и не превышает 0,45 %. Это сопровождается повышением вязкости системы [6], усугубляющимся процессом растворения аморфного кремнезема в эвтектическом расплаве.

Максимальное количество золы в КА глинозольной смеси на основе СМТ составляет 60% (рис. 4, б). При этом в процессе обжига образуется достаточное количество связующего глинистого минерала, количество которого значительно больше, чем в остальных суглинках, для прочной связи глинозольной структуры. Прочность образцов составляет от 10,6 до 16,3 МПа при температурах обжига от 900 до 950 °С. Дальнейшее увеличение температуры до 1000 °С неэффективно, т.к. увеличения прочности не наблюдается. О достаточном количестве стеклофазы в процессе обжига свидетельствуют значения огневой усадки: 0,23; 0,45 и 0,48% при 900, 950 и 1000 °С соответственно. Испытания КА образцов на капиллярный подсос показали, что на образцах на основе рациональных шихт с добавкой золы водорастворимые соли отсутствуют. Уменьшение открытых и закрытых пор препятствовали миграции сульфатов на поверхность изделия. Кроме того частичная замена в шихте золы (45-60%), характеризующееся как незасоленное сырье уменьшило количество сульфатов, а также при механоактивации происходит не только диспергирование частиц, но и пластические деформации, а растворимость вещества, как известно, пластически деформированного лучше, чем недеформированного. Поэтому сульфаты кальция и натрия, находящиеся в лессовидной породе подвергаются процессам разложения при сравнительно низкой температуре.

#### Заключение

Ввод золы без КА более 15% в суглинистое сырье в целом ухудшает физико-механические показатели керамических образцов.

В результате КА сырья зола активно взаимодействует с глинистыми минералами, способствуя образованию жидкой фазы и появлению упрочняющих фаз; разрушение сферических частичек, которые составляют стекловидную фазу золы, способствуют интенсификации жидкофазного спекания; увеличение дисперсности частиц твердой фазы обусловило увеличение сил поверхностного натяжения, ускорив при этом скорость процесс спекания при низких температурах обжига.

Определены рациональные составы шихт керамического кирпича на основе КА глинозольных смесей на основе СМБ и СМА с содержанием золы до 45%; на основе СМТ – 60%. Оптимальная температура обжига составила для образцов на основе СМБ и СМТ – 950 °С и для СМА – 900 °С. Образцы на их основе имеют предел прочности при сжатии – 15,5-17,5 МПа, водопоглощение – 17-18% без трещин и высолов.

#### Литература:

1. **Сайбулатов, С.Ж.** Золокерамические стеновые материалы. [Текст] / С.Т. Сулейменов, А.В. Ралко // Алма-Ата: Наука, 1982. -292 с.
2. **Абдрахимов, В.З.** Использование отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамического кирпича — один из современных приоритетов развития «зеленой» экономики. [Текст] / Д.А. Лобачев, Е.С. Абдрахимова // Вестник ПТО РААСН, выпуск 19, Нижний Новгород, 2016 г. –С. 296-303.
3. **Караханиди, С.Г.** Использование золы как вторичного сырья в строительстве. – Ф.: Кыргызстан, 1990. – 120 с.
4. **Мавлянов, А.С.** Влияние механической активации глинистого сырья на гранулометрический состав и технологические свойства керамического материала.

[Текст] / Э.К. Сардарбекова // Известия ВУЗов Кыргызстана. Бишкек, 2017. №3. С. 29-34.

5. **Мавлянов, А.С.** Спекание керамического материала на основе механоактивированного глинистого сырья [Текст] / Э.К. Сардарбекова // Вестник Таджикского национального университета. - Душанбе, 2017. -№1/4. -С. 70-76.
6. **Павлов, В. Ф.** Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики / Павлов В. Ф. – М.: Стройиздат, 1977. – 270с