

**Для цитирования:** Иващенко Ю.Г., Мамешов Р.Т., Мухамбеткалиев К.К. Глиносодержащие строительные композиты на основе химически активированного сырья и органических связующих. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45(3):185-193. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-3-185-193

**For citation:** Ivaschenko Yu.G., Mameshov R.T., Mukhambetkaliyev K.K. Clay construction composites based on chemically activated raw materials and organic connectors. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (3):185-193. (In Russ.) DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-3-185-193

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.4

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-3-185-193

### ГЛИНОСОДЕРЖАЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО СЫРЬЯ И ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ

**Иващенко Ю.Г.<sup>1</sup>, Мамешов Р.Т.<sup>2</sup>, Мухамбеткалиев К.К.<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,  
<sup>1,2</sup>410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, Россия,

<sup>3</sup>Управление энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Западно-Казахстанской области,

<sup>3</sup>090000, ул. Некрасова, 30/1, г. Уральск, Республика Казахстан,

<sup>1</sup>e-mail: psk@sstu.ru, <sup>2</sup>e-mail: mascara.t@list.ru, <sup>3</sup>e-mail: kairat\_mukh@mail.ru

**Резюме. Цель.** Целью данной работы является изучение теоретических аспектов и технологических возможностей химической активации и модификации органическими добавками местного глинистого сырья Поволжского региона для получения композиционных строительных материалов на базе ранее проведенных работ по разработке глиноцементных композитов. **Метод.** В связи с высокой физико-химической активностью глины и цемента в отношении органических добавок и минеральных солей, выражающаяся в высокой адсорбционной активности и чувствительности гидратационных процессов, исследования структурообразования глины изучали отдельно от цемента. Для определения изменения значения рН-показателя суспензий из глинистого и глиноцементного сырья изучали роль влияния продуктов ЭХА обработки водно-солевых растворов хлорида натрия и АЦФ смолы. **Результат.** Результаты испытаний показали, что изменяя значения рН-показателей глиноцементных образцов продуктами электрохимической активации водно-солевых растворов можно направленно воздействовать на активные центры поверхности глинистых частиц. Установлено снижение показателей адсорбции и емкости катионного обмена глинистого сырья при их модификации ацетонформальдегидной смолой. **Вывод.** Проведенные работы по исследованию структурообразования и характера влияния рН среды системы на процесс поконденсации АЦФ смолы создают предпосылки для проведения дальнейших исследований в области укрепления грунтов, их стабилизации и повышения эксплуатационных показателей.

**Ключевые слова:** электрохимическая активация (ЭХА), геополимер, грунтобетон, щелочная активация, щелочная среда, ацетонформальдегидная (АЦФ) смола

TECHNICAL SCIENCE  
BUILDING AND ARCHITECTURE

CLAY CONSTRUCTION COMPOSITES BASED ON CHEMICALLY ACTIVATED RAW MATERIALS AND ORGANIC CONNECTORS

Yuriy G. Ivaschenko<sup>1</sup>, Raman T. Mameshov<sup>2</sup>, Kayrat K. Mukhambetkaliev<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University,

<sup>1,2</sup> 77 Polytechnic Str., Saratov 410054, Russia,

<sup>3</sup> Management of energy and housing and communal services of the West Kazakhstan region,

<sup>3</sup> 30/1 Nekrasova Str., Uralsk 090000, Republic of Kazakhstan,

<sup>3</sup> Uralsk, Kazakhstan,

<sup>1</sup> e-mail: [psk@sstu.ru](mailto:psk@sstu.ru), <sup>2</sup> e-mail: [mascara.t@list.ru](mailto:mascara.t@list.ru), <sup>3</sup> e-mail: [kairat\\_mukh@mail.ru](mailto:kairat_mukh@mail.ru)

**Abstract. Objectives.** The aim of this work is to study the theoretical aspects and technological possibilities of chemical activation and modification of organic clay raw materials of the Volga region in organic additives to obtain composite building materials based on previous work on the development of clay cement composites. **Method.** In connection with the high physicochemical activity of clay and cement with respect to organic additives and mineral salts, expressed in the high adsorption activity and sensitivity of hydration processes, studies of the structure of clay were studied separately from cement. To determine the change in pH value of suspensions from clay and clay cement raw materials, the role of the influence of ECA products of treatment of aqueous-salt solutions of sodium chloride and ACF resin was studied. **Result.** The results of the tests showed that by changing the pH values of the clay cement samples by the products of electrochemical activation of water-salt solutions, it is possible to actively influence the active centers of the surface of clay particles. The adsorption and capacity of the cation exchange of clay raw materials are reduced when they are modified with acetone formaldehyde resin. **Conclusion.** The studies carried out to study the structure formation and the nature of the effect of the pH of the system environment on the process of the condensation of the ACF resin create the prerequisites for further research in the field of soil consolidation, their stabilization and enhancement of operational parameters.

**Keywords:** electrochemical activation (ECHA), geopolymer, ground-concrete, alkaline activation, alkaline environment, ACF resin

**Введение.** Индустрия строительных материалов является динамично развивающейся отраслью и вместе с тем одной из наиболее ресурсо- и энергоемких. В связи с чем, строительной промышленности необходим переход на современные экотехнологии производства, снижение ресурсоемкости, энергетических и трудовых затрат при строительстве и эксплуатации.

Зарубежная практика строительства показывает техническую возможность и экономическую целесообразность использования материалов из местного сырья, при котором технология производства отличается простотой изготовления, меньшей энерго- и материалоемкостью, широкой сырьевой базой.

**Постановка задачи.** В этой связи решение проблем комплексной переработки местных сырьевых ресурсов для производства композиционных строительных материалов с повышенными прочностными, деформационными и эксплуатационными характеристиками является весьма актуальным.

Под термином «геополимеры» следует понимать многокомпонентный искусственный строительный композит, сформировавшийся при твердении в естественных условиях, смеси из осадочных горных пород (глинистое сырье), вяжущего, добавок и воды. Добавки (минеральные и органические) вводятся с целью регулирования процессов структурообразования и создания каркаса кристаллизационной структуры, внутри которой расположены агрегаты с коагуляционным и конденсационным строением [1].

Геополимеры состоят из длинных цепей: сополимеров алюминия и алюмосиликатов, катионов металлов, которые стабилизируют их, чаще всего из натрия, калия, лития или кальция, а также связанной воды.

Основоположителем геополимерных материалов, а так же само понятие «геополимер» изначально было введено Джозефом Давидовицем в конце 70-х годов прошлого века и обозначало искусственно синтезированный материал, имеющий структуру с повторяющимися в цепях атомами кремния и алюминия [2].

В интерпретации советских ученых тождественным понятием были грунтобетоны и грунтосиликаты [3], разработкой и внедрением которых активно занимался В.В. Глуховский.

Простота получения, экологичность и энергоэффективность технологии геополимеров позволяет использовать их для получения целого ряда строительных композитов с повышенными механическими свойствами и огнестойкостью, кроме того они могут служить матрицей, обеспечивающей стабилизацию токсичных отходов [4].

Дж. Давидовицем было отмечено, что реакция получения геополимеров протекает в трех стадиях: на первой стадии происходит растворение оксидов кремния и алюминия в щелочной среде – концентрированном растворе NaOH или KOH, на второй стадии происходит расщепление природных полимерных структур на мономеры, на третьей – схватывание и уплотнение в результате превращения мономеров в полимерные материалы [5].

Указанное обстоятельство позволяет выявить ряд материалов, потенциально пригодных для использования в геополимерных композициях, при этом критерием подбора является характер взаимодействия органического вещества с глинистыми минералами, обеспечивая возможность процессов модификации. С этой позиции наиболее интересным представляется применение ацетонформальдегидных смол (АЦФ) [6].

Ранее были проведены исследования [7] с использованием цементного вяжущего, глинистого сырья и продуктов ЭХА обработки водно-солевых растворов в комплексе с добавкой АЦФ для получения строительных композиционных материалов.

Глина и цемент, использованные в исследованиях проявляют высокую физико-химическую активность в отношении органических добавок и минеральных солей, выражающаяся в высокой адсорбционной активности и чувствительности гидратационных процессов, в связи с чем, исследования структурообразования глины изучали отдельно от цемента.

**Методы исследования.** На начальном этапе исследования определяли роль влияния продуктов ЭХА обработки водно-солевых растворов хлорида натрия (пищевая соль, ГОСТ 13830-84) с минерализацией 5 г/л, полученные на установке СТЭЛ-4Н и АЦФ смолы на изменение значения рН-показателя суспензий из глинистого и глиноцементного сырья.

Установлено, что продукты ЭХА водно-солевых растворов изменяют значения рН-показателей во всех случаях, причем наибольшие изменения наблюдаются у суспензий, затворенных католитом: в глинистых суспензиях значения рН-показателя увеличены на 30%, а в глиноцементных на 2,5%.

Для глинистых суспензий затворенных анолитом характерно снижение значений рН-показателей на 16%, а для глиноцементных – на 5,24%.

По методике (ГОСТ 21216-2014 Сырье глинистое) определена степень влияния продуктов ЭХА водно-солевых растворов на основные свойства глиноцементного сырья – изменение числа пластичности и формовочной влажности, прочностных показателей, представленных в табл. 1.

Добавка АЦФ во всех случаях изменяет пластические свойства, снижает значения рН-показателей глинистых и глиноцементных суспензий, что подтверждается данными табл.2.

**Таблица 1. Свойства глиняных образцов**  
**Table 1. Properties of clay samples**

№ No.	Жидкость затворения Mixing	Число пластично- сти Number plasticity	Формовочная влажность, % Molding moisture, %	Прочность при изгибе, МПа, в возрасте, сут Flexural strength, MPa, at age, days	
				3	14
1	Неактивированная водопроводная вода Non-activated tap water	13	29	2,52	2,47
2	Анолит Anolyte	15	27	2,87	2,81
3	Католит Catholyte	16	28	3,64	3,7

В случае затворения глинистых суспензий католитом с добавкой АЦФ наблюдается прирост значения рН-показателя на 15%. Методом титрования (ГОСТ 21283-93 Глина бентонитовая для тонкой и строительной керамики. Методы определения показателя адсорбции и емкости катионного обмена), установлено снижение показателей адсорбции и емкости катионного обмена глинистого сырья при их модификации АЦФ.

**Таблица 2. Пластические свойства глинистых суспензий модифицированных АЦФ**  
**Table 2. Plastic properties of clay suspensions of modified ACF**

Добавка АЦФ, % от массы Additive ACF, % by weight	Влажность на границе текучести Humidity at the boundary of fluidity				Влажность на границе раскатывания Humidity on the rolling edge				Число пластич- ности Plasticity number
	$m_{\text{влаж С}}$ , г	$m_{\text{сух С}}$ , г	$m_{\text{сух}}$ , г	Влажн. W, %	$m_{\text{влаж С}}$ , г	$m_{\text{сух С}}$ , г	$m_{\text{сух}}$ , г	Влажн. W, %	
без добавки (контр.) with- out additive (counter.)	30,8	28,5	10,0	23,0	29,1	27,7	8,5	16,5	12,6
	29,0	26,5	7,7	32,5					
	29,1	26,6	7,9	31,6					
0,5	29,5	26,5	7,9	38,0	28,6	26,9	8,3	20,5	17,1
	32,1	28,5	9,7	37,1					
	30,9	27,5	9,0	37,8					
1,0	18,7	17,0	3,7	45,9	28,6	27,1	8,5	17,6	23,1
	29,0	26,2	7,4	37,8					
	27,1	24,8	6,0	38,3					

Отмечается, что АЦФ адсорбируется на поверхности глинистых частиц и участвуют в обменных реакциях. Результаты исследований по оценке физико-механических свойств глиноцементных образцов представлены в табл.3.

**Таблица 3. Свойства глиноцементных образцов при соотношении Г:Ц (90:10%)**  
**Table 3. Properties of clay cement samples at a ratio of Cl: Cm (90: 10%)**

Добавка АЦФ, % Additive ACF, %	Свойства образцов в зависимости от продолжительности выдержки в воздушно-влажных условиях Properties of samples depending on the duration of exposure in air-wet conditions					
	Через 1 час после формования 1 hour after molding		Через 1 сутки After 1 day		Через 3 суток After 3 days	
	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа
- (контр.)	1,6	0,8	1,61	1,9	1,62	3,5
	1,85	1,2	1,83	2,3	1,88	4,7
	2,05	1,9	2,01	2,8	2,06	6,2
0,5	1,7	0,9	1,62	1,9	1,62	4,5
	1,72	1,35	1,88	2,60	1,62	5,72
	1,9	2,9	2,1	4,20	1,9	8,2

В зависимости от давления прессования установлено изменение коэффициента водостойкости образцов с составом Г:Ц (90:10%) контрольного образца и с добавкой АЦФ (0,5%) (рис. 1).

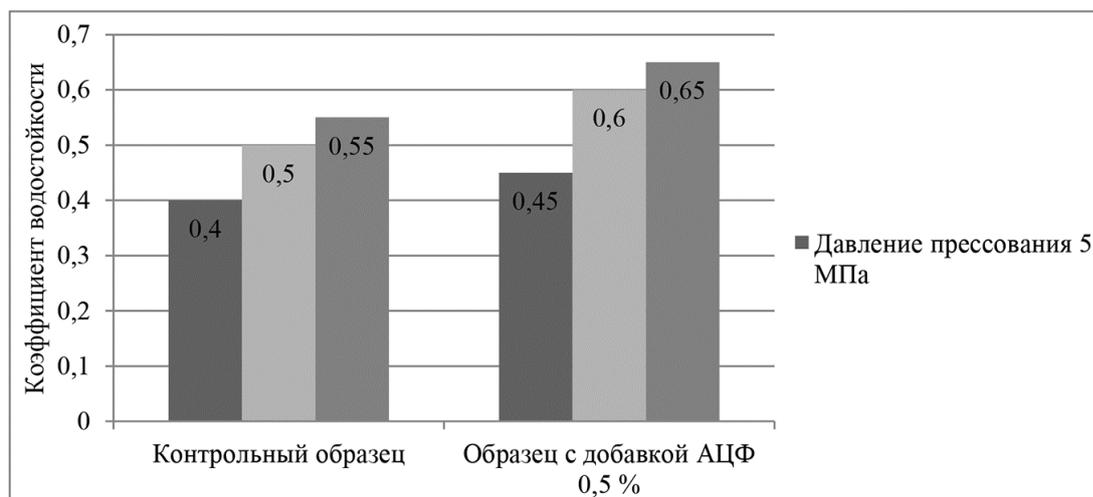


Рис. 1. Изменение показателя коэффициента водостойкости образцов

Fig. 1. Change in the coefficient of water resistance of samples

**Обсуждение результатов.** Установлено, что продуктами ЭХА обработки водно-солевых растворов можно направленно воздействовать на активные центры поверхности частиц. Механизмы модифицирующего воздействия продуктов ЭХА обработки водно-солевых растворов в комплексе с добавкой АЦФ на поверхность частиц глины, достигаются изменением внутренних сил дисперсной системы за счет  $\text{Na}^+$  катионного обмена, приводящее к самодиспергированию глинистых минералов, увеличению межпакетного пространства с интеркаляцией молекул АЦФ в их структуру.

Растворы католита диспергируют глинистые частицы, выражающиеся в повышении значений рН среды.

Снижение рН-показателя дисперсной системы от действия раствора анолита и от введения 3% добавки по массе АЦФ связано с адсорбционными свойствами глинистых частиц. Адсорбция АЦФ на поверхности глинистых частиц определяется соответствием характеров функциональных групп адсорбата и адсорбента. Глинистые минералы, как адсорбент, отличаются обилием поверхностных силанольных групп, способных участвовать в донорно-акцепторных взаимодействиях с метилольными группами АЦФ по типу водородной связи.

Повышение щелочности среды за счет добавления продуктов ЭХА водно-солевых растворов, в частности католита, способствует протеканию процессов диспергирования глинистых частиц, ионного обмена, сорбции и поликонденсации молекул АЦФ смолы. Данный фактор создает предпосылки для дальнейшего изучения механизма активирующего действия щелочных растворов и процессов структурообразования строительных композитов на основе глинистого сырья и ацетонформальдегидных связующих.

Процесс поликонденсации смолы происходит при высоких показателях щелочности системы [8, 25, 26], которая может достигаться различными способами воздействия.

Среди известных методов активационного воздействия перспективным считается химический способ, предполагающий применение различных растворов солей, кислот, щелочей и т.д.

Кислотный метод активации достаточно широко распространен, однако имеет ряд недостатков, среди которых основным является большая потеря глинистого вещества (20-27%), при этом основную долю потерь составляют оксиды железа, алюминия, щелочей и щелочеземельных металлов [9-12].

Сущность щелочного способа активации заключается в использовании гидроксидов щелочных металлов ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  и др.) и смеси гидроксидов с солями минеральных кислот ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и др.) [8].

Обзор литературы показывает эффективность щелочной активации при стабилизации глинистых грунтов. Значительная часть зарубежных исследований подтверждает успешное применение щелочной активации для укрепления грунтовых насыпей и покрытий [13-17].

Многообразие глинистых минералов по строению кристаллической решетки, спайность ее элементов друг с другом, а так же различное отношение к действию щелочей и образование продуктов реакции определяет эффективность процесса их активации.

При активации в щелочной среде происходит фрагментация алюмосиликатных компонентов с образованием алюминатных и низкополимерных силикатных анионов, из которых затем посредством образования связей Si-O-Al-O-Si формируется трехмерный полимерный каркас (алюмосиликатный гидрогель).

В его состав входят щелочные катионы, компенсирующие отрицательный заряд, создаваемый при встраивании тетраэдров  $AlO_4$  между кремнекислородными тетраэдрами. Участие алюминия в образовании гетерополимерного каркаса создает дефицит положительного заряда, который компенсируется вхождением в структуру каркаса щелочных катионов [18].

Сильное набухание глин вызывается их высокой степенью сорбционной способности, что связано с подвижностью кристаллической решетки. Данный показатель может быть уменьшен путем органомодификации поверхности глинистых частиц, либо путем превращения слоев в не расширяющиеся связующие материалы, такие как гидраты кальция или алюмосиликаты с цементирующей способностью, с использованием щелочной активации,

В этой связи можно выделить ряд потенциально пригодных веществ в качестве активирующего агента, такие как  $Ca(OH)_2$ , NaOH или KOH.

В практике строительных материалов известен метод укрепления грунтов путем введения  $Ca(OH)_2$ , разработанный Н.Х. Алимухаммедовым и др. [19].  $Ca(OH)_2$  продуцирует пуццолановые реакции с повышением pH ( $> 12$ ), при котором глинистые минералы или другие алюмосиликаты частично растворяются и превращаются в гидрат силиката кальция (CSH), гидрат алюмината кальция (CAN) и / или цеолитоподобные фазы [20]. Однако установлено, что при высоком содержании монтмориллонита в глинистом сырье интенсивность воздействия гидроксидом кальция снижается [7].

Механизмы активирующего воздействия щелочных растворов, в частности NaOH на поверхность частиц глины, определяются изменением внутренних сил дисперсной системы за счет  $Na^+$  катионного обмена, приводящее к самодиспергированию глинистых минералов, то есть растворы щелочей диспергируют глинистые частицы, выражающиеся в повышении значений pH среды.

При более высоких pH пуццолановые реакции усиливаются, а реакция карбонизации избытка щелочности, которое протекает конкурируя с реакцией растворения глинистых минералов ингибируется за счет высокого содержания влаги в растворах, что значительно сокращает выброс  $CO_2$ .

Для улучшения пуццолановых реакций и обеспечения достаточной прочности активированная структура должна оставаться влажной в течение как минимум 28 дней. При изучении конкурирующих пуццолановых и карбонатных реакций в случае известково-метакаолиновых растворов обнаружено, что карбонизация будет благоприятствовать при относительной влажности 60%, где поры раствора только частично заполнены, облегчая диффузию и растворение атмосферного  $CO_2$  [21].

Существует ряд работ, в которых в качестве щелочного активатора использовали растворы NaOH и KOH для получения качественных альтернатив обжиговым кирпичам и плиткам [22]. Похожая технология активации была использована для укрепления грунтов и отходов строительных материалов [23,24].

**Вывод.** Таким образом, подтверждается технологическая возможность и целесообразность применения химической активации глинистого сырья, в процессе которого происходит интеркаляция щелочных катионов в структуру алюмосиликатного каркаса, что способствует получению материала, обладающего высокой водостойкостью и устойчивостью к выщелачиванию. В

перспективе дальнейшее исследование процесса структурообразования глинистого сырья активированного щелочными растворами и модифицированного органическими добавками.

#### **Библиографический список:**

1. Щеглов А.Ф. Грунтобетоны на основе глинистых пород КМА в дорожном строительстве. Автореф. канд.тех.наук: 05.23.05 / Щеглов Александр Федорович. – Белгород, 2003. – 22 с.
2. Чекмарев А. С., Сео Д. К., Скорина Т. В., Чекмарева Г. Д. Получение геополлимерных материалов с применением природных компонентов // Вестник Казанского технологического университета. – Казань, 2012. – №20. – Стр. 50-55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-geopolimernyh-materialov-s-primeneniem-prirodnih-komponentov>.
3. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. – Киев: Будивельник, 1978. – 184 с.
4. Kumar S., Kumar R. Mechanical activation of fly ash: Effect on reaction, structure and properties of resulting geopolymer, *Ceramics International*, Vol. 37, 2011, pp 533-541.
5. Davidovits, J. Soft Mineralurgy and Geopolymers. In proceeding of Geopolymer 88 International Conference, the Université de Technologie, Compiègne, France. 1988. – pp. 49-56.
6. Клубова, Т. Т. Роль глинистых минералов в преобразовании органического вещества и формировании порового пространства коллекторов. – М.: Наука, 1965. – 105 с.
7. Мухамбеткалиев, К.К., Иващенко, Ю.Г. Способ нейтрализации экстрактивных веществ древесины в безобжиговых составах глино-цементных композитов / К.К. Мухамбеткалиев // Вестник СГТУ. – 2010. – № 3 (48). – С 143-147.
8. Мухамбеткалиев К. К. Структура и свойства модифицированных безобжиговых глиносодержащих материалов и композитов на их основе. Автореф. канд.тех.наук: 05.23.05 / Мухамбеткалиев Кайрат Куанышкалиевич. – Волгоград, 2011. – 23 с.
9. Комаров В.С., Ратько А.И. Адсорбенты: получение, структура, свойства. – Минск: Беларус. Навука, 2009. – 256 с.,
10. Овчаренко Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 290 с.,
11. Комаров В.С. Адсорбционно-структурные, физико-химические и каталитические свойства глин Беларуси. Минск: Наука и техника, 1970. – 360 с.
12. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 350 с.
13. Cristelo N, Glendinning S, Fernandes L, Pinto AT (2013) Effects of alkaline-activated fly ash and Portland cement on soft soil stabilisation. *Acta Geotech* 8(4):395–405. doi:10.1007/s11440-012-0200-9
14. Cristelo N, Glendinning S, Pinto AT (2011) Deep soft soil improvement by alkaline activation. *Proc ICE-Ground Improv* 164(2):73–82. doi:10.1680/grim.900032
15. Cristelo N, Miranda T, Oliveira DV, Rosa I, Soares E, Coelho P, Fernandes L (2015) Assessing the production of jet mix columns using alkali activated waste based on mechanical and financial performance and CO<sub>2</sub> (eq) emissions. *J Clean Prod.* doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.102
16. Zhang M, Guo H, El-Korchi T, Zhang G, Tao M (2013) Experimental feasibility study of geopolymer as the next-generation soil stabilizer. *Constr Build Mater* 47:1468–1478. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.12.007
17. Zhang M, Zhao M, Zhang G, Nowak P, Coen A, Tao M (2015) Calcium-free geopolymer as a stabilizer for sulfate-rich soils. *Appl Clay Sci* 108:199–207. doi:10.1007/s12205-013-1638-5
18. Корнеев В.И., Брыков А.С. Перспективы развития общестроительных вяжущих веществ. Геополлимеры и их отличительные особенности / В.И. Корнеев // Журнал «Цемент и его применение». – 2010. – №2. – С. 51-55.
19. Зульфугаров З.Г. Исследование физико – химических свойств и отбеливающей способности глин месторождений Азербейджанской ССР и гумбина. – Баку: Изд-во АН Азерб.ССР, 1957. – 263 с.
20. D.M. Roy, Alkali-activated cements. Opportunities and challenges, *Cement and Concrete Research.* – №29 (1999) P. 249–254.
21. Ö. Cizer, K. Van Balen, D. Van Gemert, Competition between hydration and carbonation in hydraulic lime and lime-pozzolana mortars, *Advanced Materials Research.* – т Vol/ 133–134 (2010) P. 241–246.
22. Breck, D.W. Zeolite Molecular Sieves. // J. Wiley. – New York, 1974. – 771 p.
23. Elert, K., Sebastián, E., Valverde, I., Rodríguez-Navarro, C., 2008. Alkaline treatment of clay minerals from the Alhambra formation: implications for the conservation of earthen architecture. *Applied Clay Science* 39, P. 122–132.
24. E. Doehne, C.A. Price, Stone Conservation – An Overview of Current Research, The Getty Conservation Institute. – Los Angeles, 2010. – 174 pp.
25. Мамешов Р.Т., Иващенко Ю.Г. Грунтобетон на основе смешанных вяжущих / Мамешов Р.Т. // Журнал «Промышленность Казахстана». 2017. № 1(100). С. 82-99.
26. Мамешов Р.Т., Иващенко Ю.Г. Исследование возможности получения геополлимерных композитов на основе химически активированного глинистого сырья и органической добавки // Сборник научных трудов «Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона». – Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. Том 2. С. 105-110.

### References:

1. Shcheglov A.F. Gruntobeton na osnove glinistykh porod KMA v dorozhnom stroitel'stve. Avtoref. kand.tekh.nauk: 05.23.05 / Shcheglov Aleksandr Fedorovich. – Belgorod, 2003. – 22 s. [Scheglov A.F. Concrete based on clay rocks KMA in road construction. Author. Ph.D.: 05.23.05 / Shcheglov Alexander Fedorovich. - Belgorod, 2003. - 22 p. (In Russ.)]
2. Chekmarev A. S., Seo D. K., Skorina T. V., Chekmareva G. D. Polucheniye geopolimernykh materialov s primeniyem prirodnykh komponentov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – Kazan', 2012. – №20. – Str. 50-55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-geopolimernykh-materialov-s-primeneniem-prirodnykh-komponentov>. [Chekmarev A.S., Seo D.K., Skorina T.V., Chekmareva G.D. Getting Geopolymer Materials Using Natural Components // Vestnik of Kazan Technological University. - Kazan, 2012. - №20. - pp. 50-55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-geopolimernykh-materialov-s-primeneniem-prirodnykh-komponentov>. (In Russ.)]
3. Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshchelochnyye tsementy i betony. – Kiyev: Budivel'nik, 1978. – 184 s. [Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Slag alkaline cements and concretes. - Kiev: Budivel'nik, 1978. - 184 p. (In Russ.)]
4. Kumar S., Kumar R. Mechanism of re-sulting geopolymer, *Ceramics International*, Vol. 37, 2011, pp. 533-541.
5. Davidovits, J. Soft Mineralogy and Geopolymers. In proceeding of Geopolymer 88 International Conference, the Université de Technologie, Compiègne, France. 1988. - pp. 49-56.
6. Klubova, T. T. Rol' glinistykh mineralov v preobrazovanii organicheskogo veshchestva i formirovaniy porovogo prostranstva kollektorov. – M.: Nauka, 1965. – 105 s. [Klubova, T. T. The role of clay minerals in the transformation of organic matter and the formation of the pore space of reservoirs. - M.: Science, 1965. - 105 p. (In Russ.)]
7. Mukhambetkaliyev, K.K., Ivashchenko, YU.G. Cposob neytralizatsii ekstraktivnykh veshchestv drevesiny v bezobzhigovykh sostavakh glino-tsementnykh kompozitov / K.K. Mukhambetkaliyev // Vestnik SGTU. – 2010. – № 3 (48). – S 143-147. [Mukhambetkaliyev, K.K., Ivashchenko, Yu.G. The method of neutralization of extractive substances of wood in unburned compositions of clay-cement composites / K.K. Mukhambetkaliyev // Bulletin of SSTU. - 2010. - № 3 (48). - C 143-147. (In Russ.)]
8. Mukhambetkaliyev K. K. Struktura i svoystva modifitsirovannykh bezobzhigovykh glinosoderzhashchikh materialov i kompozitov na ikh osnove. Avtoref. kand.tekh.nauk: 05.23.05 / Mukhambetkaliyev Kayrat Kuanyshkaliyevich. – Volgograd, 2011. – 23 s. [Mukhambetkaliyev K.K. Structure and properties of modified unburned clay-containing materials and composites based on them. Author. Ph.D.: 05.23.05 / Mukhambetkaliyev Kairat Kuanyshkaliyevich. - Volgograd, 2011. - 23 p. (In Russ.)]
9. Komarov V.S., Rat'ko A.I. Adsorbenty: polucheniye, struktura, svoystva. – Minsk: Belarus. Navu-ka, 2009. – 256 s. [Komarov V.S., Ratko A.I. Adsorbents: production, structure, properties. - Minsk: Belarus. Navu-ka, 2009. - 256 p., (In Russ.)]
10. Ovcharenko F.D. Gidrofil'nost' glin i glinistykh mineralov. – Kiyev: Izd-vo AN USSR, 1961. – 290 s., [Ovcharenko F.D. Hydrophilic clay and clay minerals. - Kiev: Publishing house of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1961. 290 p., (In Russ.)]
11. Komarov V.S. Adsorbtsionno-strukturnyye, fiziko-khimicheskiye i kataliticheskiye svoystva glin Belarusi. Minsk: Nauka i tekhnika, 1970. – 360 s. [Komarov V.S. Adsorption-structural, physico-chemical and catalytic properties of clays of Belarus. Minsk: Science and Technology, 1970. 360 p. (In Russ.)]
12. Tarasevich YU.I., Ovcharenko F.D. Adsorbtsiya na glinistykh mineralakh. – Kiyev: Naukova dumka, 1975. – 350 s. [Tarasevich Yu.I., Ovcharenko F.D. Adsorption on clay minerals. - Kiev: Naukova Dumka, 1975. 350 p. (In Russ.)]
13. Cristelo N, Glendinning S, Fernandes L, Pinto AT (2013). *Acta Geotech* 8 (4): 395–405. doi: 10.1007 / s11440-012-0200-9
14. Cristelo N, Glendinning S, Pinto AT (2011) Deep soft soil improvement by alkaline activation. *Proc ICE-Ground Improv* 164 (2): 73–82. doi: 10.1680 / grim.900032
15. Cristelo N, Miranda T, Oliveira DV, Rosa I, Soares E, Coelho P, Fernandes L (2015), emissions and CO2 emissions (eq) . *J Clean Prod.* doi: 10.1016 / j.jclepro.2015.04.102
16. Zhang M, Guo H, El-Korchi T, Zhang G, Tao M (2013) Experimental feasibility study of the geopolymer as the next-generation soil stabilizer. *Constr Build Mater* 47: 1468–1478. doi: 10.1016 / j. conbuildmat.2011.12.007
17. Zhang M, Zhao M, Zhang G, Nowak P, Coen A, Tao M (2015) Calcium-free geopolymer as a stabilizer for sulfate-rich soils. *Appl Clay Sci* 108: 199–207. doi: 10.1007 / s12205-013-1638-5
18. Korneyev V.I., Brykov A.S. Perspektivy razvitiya obshchestroitel'nykh vyazhushchikh veshchestv. Geopolimery i ikh otlichitel'nyye osobennosti / V.I. Korneyev // Zhurnal «Tsement i yego primeneniye». – 2010. – №2. – S. 51-55. [Korneyev V.I., Brykov A.S. Prospects for the development of building binders. Geopolymers and their distinctive features / V.I. Korneyev // Journal "Cement and its application." - 2010. - №2. pp. 51-55. (In Russ.)]
19. Zul'fugarov Z.G. Issledovaniye fiziko – khimicheskikh svoystv i otbelivayushchey sposobnosti glin mestorozhdeniy Azerbeydzhanskoj SSR i gumbrina. – Baku: Izd-vo AN Azerb.SSR, 1957. – 263 s. [Zulfugarov Z.G. Investigation of the physicochemical properties and bleaching ability of clays from the deposits of the Azerbaijan SSR and Gumbrin. - Baku: Publishing House of the Academy of Sciences of Azerbaijan SSR, 1957. 263 p. (In Russ.)]
20. D.M. Roy, Alkali-activated cements. Opportunities and challenges, *Cement and Concrete Research*. - №29 (1999) pp. 249–254.

21. Ö. Cizer, K. Van Balen, D. Van Gemert, Competition between hydration and carbonation mortars, *Advanced Materials Research*. - t Vol / 133–134 (2010) p. 241–246.
22. Breck, D.W. *Zeolite Molecular Sieves*. // J. Wiley. - New York, 1974. - 771 pp.
23. Elert, K., Sebastián, E., Valverde, I., Rodriguez-Navarro, C., 2008. *Alkaline Treatment of Clay Minerals Applied Clay Science* 39, pp. 122–132.
24. E. Doehne, C.A. Price, *Stone Conservation - An Overview of Current Research*, The Getty Conservation Institute. - Los Angeles, 2010. - 174 pp.
25. Mameshov R.T., Ivashchenko YU.G. Gruntobeton na osnove smeshannykh vyazhushchikh / Mameshov R.T.// Zhurnal «Promyshlennost' Kazakhstana». 2017. № 1(100). S. 82-99. [Mameshov RT, Ivashchenko Yu.G. Concrete on the basis of mixed binders / Mameshov RT // *Industry Kazakhstan magazine*. 2017. No. 1 (100). pp. 82-99. (In Russ.)]
26. Mameshov R.T., Ivashchenko YU.G. Issledovaniye vozmozhnosti polucheniya geopolimernykh kompozitov na osnove khimicheskii aktivirovannogo glinistogo syr'ya i organicheskoy dobavki // Sbornik nauchnykh truzhnikov «Resursoenergoeffektivnyye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona». – Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. Gagarina YU.A. Tom 2. S. 105-110. [Mameshov RT, Ivashchenko Yu.G. Study of the possibility of obtaining geopolymer composites based on chemically activated clay raw materials and organic additives // Collection of scientific works “Resource-energy efficient technologies in the building complex of the region”. - Saratov State Technical University. Gagarin Yu.A. Volume 2. pp. 105-110. (In Russ.)]

**Сведения об авторах:**

**Ивашенко Юрий Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии».

**Мамешов Раман Тайрович** – аспирант, кафедра «Строительные материалы и технологии».

**Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич** – кандидат технических наук, доцент, заместитель руководителя управления энергетики и ЖКХ Западно-Казахстанской области.

**Information about the authors:**

**Yuriy G. Ivaschenko** – Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Department of «Building materials and technology».

**Raman T. Mameshov** – Graduate student, Department of «Building materials and technology».

**Kayrat K. Mukhambetkaliyev** – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Deputy Head of the Department of Energy and Housing and Communal Services of the West Kazakhstan Region.

**Конфликт интересов.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию** 01.09.2018.

**Received** 01.09.2018.

**Принята в печать** 25.09.2018.

**Accepted for publication** 25.09.2018.