



## STUDY OF RAW MINERAL RESOURCES OF UZBEKISTAN FOR PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT CERAMIC MATERIALS

**Ruzimova Shokhnoza Urunboevna**

Tashkent Institute of Chemical Technology

shahnozarusimova@gmail.com

**Babakhanova Zebo Abudllaevna**

Tashkent Institute of Chemical Technology

zebo.babakhanova@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4346-9450

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14378833>

### ARTICLE INFO

Received: 05<sup>th</sup> December 2024

Accepted: 10<sup>th</sup> December 2024

Online: 11<sup>th</sup> December 2024

### KEYWORDS

Clay, kaolin, glauconite,  
bentonite, vermiculite,  
geopolymer, sustainable  
development.

### ABSTRACT

Lightweight heat-resistant and thermal insulation materials are effective building materials widely used in construction. To obtain porous thermal insulation materials, raw materials of Uzbekistan were studied. As a result of the research, clay mineral phases of the Changi deposit in Tashkent region were selected for obtaining porous ceramic materials ("geopolymers"). Geopolymers with a well-developed porous structure were obtained on the basis of glauconite and diatomite from the Changi deposit.

## ИЗУЧЕНИЕ СЫРЬЕВЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УЗБЕКИСТАНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКОВЕСНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**Рузимова Шохноза Урунбоевна**

Ташкентский химико-технологический институт

shahnozarusimova@gmail.com

**Бабаханова Зебо Абдуллаевна**

Ташкентский химико-технологический институт

zebo.babakhanova@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4346-9450

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14378833>

### ARTICLE INFO

Received: 05<sup>th</sup> December 2024

Accepted: 10<sup>th</sup> December 2024

Online: 11<sup>th</sup> December 2024

### KEYWORDS

Глина, каолин, глауконит,  
бентонит, вермикулит,  
геополимер, устойчивое  
развитие.

### ABSTRACT

Легковесные термостойкие и теплоизоляционные материалы являются эффективными строительными материалами, широко используемыми в строительстве. Для получения пористых теплоизоляционных материалов были изучены сырьевые материалы Узбекистана. В результате исследований для получения пористых керамических материалов ("геополимеров") были выбраны глинистые минеральные фазы месторождения Чанги Ташкентской области. На основе глауконита и диатомита месторождения



*Чанги были получены геополимеры с хорошо развитой пористой структурой.*

## **ВВЕДЕНИЕ.**

Легковесные термостойкие и теплоизоляционные материалы являются эффективными строительными материалами, широко используемыми в строительстве. Они обладают низкой теплопроводностью и предназначаются для тепловой изоляции зданий и сооружений. К теплоизоляционным материалам относятся пористые материалы на основе глинистого минерального сырья - так называемые «геополимеры», вспученные материалы, ячеистые бетоны, ячеистые силикаты, легкие поризованные бетоны с легкими заполнителями, волокна и материалы, получаемые на их основе. Данное исследование посвящено проблемам получения геополимеров на основе местного глинистого сырья Узбекистана, в частности, метаколина, глауконита, диатомита, вермикулита и других сырьевых ресурсов. Перечисленные сырьевые материалы являются широко распространенным и не дорогим сырьем, позволяют получить термостойкие пористые керамические материалы с высокой себестоимостью.

Легковесные термостойкие и теплоизоляционные материалы находят применение во многих отраслях промышленности в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов, фильтрующих элементов для очистки питьевой воды, растворов электролитов, горячих газов и расплавов металлов, сточных вод предприятий подложек химических и биологических катализаторов. При этом керамические материалы с газопроницаемостью и высокой удельной поверхностью в сочетании с огнеупорными свойствами позволяют использовать их в процессах, проводимых при высоких температурах в химических средах, когда другие материалы неприменимы.

Пористые материалы характеризуются рядом параметров, совокупность которых позволяет определить их применимость в тех или иных условиях эксплуатации. К таким параметрам относятся пористость, ее вид (открытая или закрытая) и распределение по объему материала, форма и размеры пор, а также их удельная поверхность.

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И МЕТОДОЛОГИЯ**

В последнее время всё большее внимание привлекают пористые геополимеры, изготовленные на основе природных или синтетических алюмосиликатов (гидрослюд) в связи с доступностью и широкой распространенностью исходного минерального сырья. Термин «геополимеры» был введен впервые Давидовитсом и обозначает собой новый класс неорганических полимерных материалов, образующихся при низкотемпературной конденсации алюмосиликатных материалов в присутствии кислот или щелочей [1, 2].

Актуальными являются исследования пористых геополимеров на основе метаколина в области методов вспенивания для достижения желаемых пористых структур, улучшения определенных свойств и расширения или адаптации областей применения материалов. Большой интерес представляют исследования и разработка



областей применения объемных или формованных пористых геополимеров с использованием метакаолина в качестве сырья, особенно в области очистки воды и удаления загрязняющих веществ.

В работе Bai и Colombo изучены методы получения геополимеров на основе метакаолина [3-4]. Также другими исследователями были изучены методы получения пористых теплоизоляционных материалов на основе угольной золы [5-7], шлаков [8], красного шлама [9], отходов стекла [10] и др. с щелочным или кислотным активирующим раствором и отверждением ниже 100 °С.

В работе Li [7] предлагается новая стратегия приготовления высокопористой вспененной керамики с закрытыми пораами с использованием угольных отходов в качестве основного материала. Обсуждаются химический состав и кристаллическая фаза исходного материала, механизм формирования и влияние параметров процесса спекания на пористую структуру и свойства образцов. Результаты показывают, что плотность, прочность на сжатие и истинная пористость вспененной керамики составляют 0,22 г/см<sup>3</sup>, 1,51 МПа, 91,38% соответственно при оптимальной температуре и времени спекания 1200 °С и 30 мин. Высокая закрытая пористость 83,95% по сравнению с обычной вспененной керамикой является очень благоприятным фактором для снижения теплопроводности и водопоглощения, что приводит к низкому значению 0,11 Вт/(м·К) и 0,68% соответственно, что может использоваться в качестве экономически эффективного неорганического теплоизоляционного материала в строительной промышленности.

Обзор научной литературы показал, что основные исследования по получению пористых геополимеров основывались на исходном сырье метакаолине (МК), который стал предпочтительным сырьем для формирования геополимеров благодаря ряду преимуществ, включая постоянный химический состав [11], высокую минеральную активацию [12], большую удельную площадь поверхности [13], и другие параметры.

Пористые геополимеры представляют альтернативу ячеистым и пенобетонам [14], применяемым в основном качестве строительных материалов [15-17], а также в других областях. В частности, геополимеры в последнее время находят применение в процессе отверждения типичных радиоактивных ядерных отходов [18-20]; в качестве покрытий и клеев [21] и материалы для 3D-печати [22-23].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### 1. Изучение минеральных фаз месторождения Чанги Ташкентской области.

Для получения легковесных и термостойких керамических материалов были выбраны минеральные ресурсы месторождения Чанги Ташкентской области.

Месторождение Чанги расположено в поселке Чанги Паркентского района Ташкентской области по координатам 143к, 217, 218, 219к и 220к карты района и занимает по площади 18,0 Га. Данное месторождение является комплексным и содержит несколько минеральных типов: диатомиты, известняк, каолин, бентонит, глауконит. Был изучен химико-минералогический состав приведенных минеральных образований с целью получения на их основе легковесных и термостойких материалов. По химическому составу глауконит содержит 61,33 мас. % SiO<sub>2</sub>, 0,36-TiO<sub>2</sub>, 12,24-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6,55-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,62-FeO и др.; каолин содержит 72,87мас. % SiO<sub>2</sub>, 0,18-TiO<sub>2</sub>, 20,33-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,



0,97-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,60-FeO и др.; диатомит - содержит 55,52мас. % SiO<sub>2</sub>, 0,23-TiO<sub>2</sub>, 8,42-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2,52-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,87-FeO, 0,82-MgO, 24,24-CaO и др.

Глауконит месторождения Чанги был изучен в 2011 г. учёными Института общей и неорганической химии АН РУз, в частности с.н.с. к.т.н. Адиловым Ж.К, с.н.с. к.т.н. Мирзаевым А.Ж., с.н.с. к.т.н. Якубовым С.И., м.н.с. Якубовой Н.Д. с целью получения глауконитового концентрата и применения его при получении агро-удобрений и натурального красителя [24]. В настоящее время на основе глауконита месторождения Чанги производится агро-удобрение с микро- и макроэлементами для сельского хозяйства. Однако применение глауконита и других минеральных образований месторождения Чанги в качестве легковесных и термостойких материалов не изучено и представляет большой научно-технический и прикладной интерес.

## **2. Изучение трепеловидных пород Узбекистана.**

**Проявление опоковидных пород и опоковидных глин Кармана-1** (в 16 км к юго-западу от ж.д.ст. и г.Навои) залегают в верхнем и нижнем горизонтах алай-туркестанских слоев среднего эоцена. Нижний горизонт состоит из: 1) опоковидной породы светло-серого цвета с коричневым оттенком мощностью 7-12 м с содержанием активного кремнезема 18-24% и 2) опоковидной породы светло-серого цвета с зеленоватым оттенком, известковистой, комковатой, с раковистым изломом. Содержание активного кремнезема 13-16 реже до 18%. Мощность горизонта 20- 38 м. Содержание карбонатов от 5 до 37%, реже до 42,5%. Глинистое вещество состоит из гидрослюд и монтмориллонита с включениями раковин, выполненных кальцитом, опалом и цеолитом (Мезенцев В.И. и др., 1984). В 1955 году на проявлении произведена предварительная разведка с подсчетом запасов по категории С2 в количестве 32,7 млн.т. Перспективные ресурсы опоковидных пород 320-360 млн. т. (Шурыгина, 1954).

Эффективность промышленного использования опоковидных пород не вызывает сомнений, поскольку эксплуатация их будет производиться совместно с добычей туффитов месторождения Кармана-II, залегающих непосредственно на стекольных кварцево-полевошпатовых песках нижнего эоцена месторождения Кармана, расположенного по соседству (в 2-3 км) от проявления опоковидных пород. Запасы туффитов как активной минеральной добавки учтены Госбалансом по состоянию на 01.01.2005г. и составляют по категориям: А+В+С1-42,9млн.т., С2-45,8 млн.т. Разрабатывается с 1991г.

В Ташкентском регионе известен ряд проявлений Ангрэн, Карахтай, Апартак, Бокалы, Баксу к, Шорсу, из которых Ангрэн, Апартак и Карахтай потенциально перспективны и заслуживают дальнейшего изучения.

Опоковидные породы проявления Ангрэн (Ташкентская область, Ахангаранский район, 110 км на ЮВ от г.Ташкент) залегают в средней и нижней части горизонта кварцевых песков. Опоки представлены желвакообразными стяжениями коллоидального кремнезема, включенными в опоковидную глину, иногда пересеченной вкрест напластования прожилками халцедона. Желваки опок довольно крепкие во влажном состоянии, при ударе раскалываются на обломки с раковистым изломом, при высыхании образуют остроугольный щебень. Мощность опоковидных глин колеблется от 1,1 до 9,0 м.



Химический состав опоковидных пород по данным химических анализов 4-х скважин колеблется в следующих пределах (в%):  $\text{SiO}_2$ -28,84-79,47;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -4,94-10,0;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -1,87-3,43;  $\text{TiO}_2$ -0,15-0,25;  $\text{CaO}$ -17,4-17,05;  $\text{MgO}$ - 1,4-12,43;  $\text{Na}_2\text{O}$ -0,08-0,3;  $\text{K}_2\text{O}$ -0,52-0,96; п.п.п.-7,35-24,36. Содержание активного кремнезема в опоках составляет: во фракции более 15 мм (при выходе фракции 28,9 %) - от 21,4 до 29,7 %; во фракции менее 15 мм - от 13,8 до 17%.

Технологические исследования опоковидной глины в качестве сорбента при очистке нефтепродуктов проведены в Ташкентском институте инженеров железнодорожного транспорта. Опоковидные глины с желваками опок были отобраны с рабочего уступа в СЗ части углераза на мощность 3,5 м. Химический состав опоковидных глин технологической пробы следующий: (в %):  $\text{SiO}_2$ -81,25;  $\text{TiO}_2$ -0,2;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -4,26;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -2,26;  $\text{MgO}$ -1,1;  $\text{CaO}$ -1,12;  $\text{MnO}$ -0,01;  $\text{Na}_2\text{O}$ -0,1;  $\text{K}_2\text{O}$ -0,7;  $\text{P}_2\text{O}_5$ -0,25;  $\text{SO}_3$ -0,1; п.п.п.-8,32. Запасы опоковидных пород составили 38336 тыс.м<sup>3</sup> или 61339 тыс.т. по категории С<sub>2</sub> в том числе чистых опок при среднем содержании 20 % - 12267 тыс.т.

На **проявлении Апартак** (Ташкентская область, Ахангаранский район, 1,5 км на СВ от сел.Апартак) опоковидный горизонт представлен зелеными глинами с неравномерно распределенными желваками желтоватобелых опок. Мощность горизонта 3,6 м. В основании опок залегает пласт зеленоватой бентонитовой глины мощностью 1,1 м. Горизонт опок на сравнительно небольших расстояниях (50-100 м) изменяет окраску от зеленоватой до ржаво-белой. Это зависит от соотношения желваков опок и вмещающих их глин. (Подлипалин,1955 г.).

При смачивании глины разбухают и становятся пластичными, а желваки опок в них сохраняют свою крепость. Это обстоятельство позволяет применять к ним мокрое обогащение с отсортировкой желваков. По скважинам горизонт опок сохраняет свою мощность и имеет примерно такой же литологический состав. Авторские запасы по данным Н.А.Яковлевой и Д.М.Богдановича составляют -8,6 млн.м<sup>3</sup>.

В отличие от предыдущих, на проявлении Карахтай (Ташкентская область, Ахангаранский район, 9 км на СВ от ж.д.ст.Ахангаран) - опоковидные породы залегают без видимого углового несогласия на меловых отложениях и сложены мелкозернистыми песчаниками с прослоями опоковидных пород и глин. Мощность опоковидных пород изменяется от 1 до 10 м. По внешнему виду они напоминают глинистую породу, содержащую прослойки слабосцементированных слюдистых песчаников. Опоковидные породы в естественном виде не могут быть использованы в качестве активной минеральной добавки в производстве гидростойких портландцементов.

### **3. Разработка составов и технологии получения легковесных и термоскойких композиций.**

Для получения легковесных и термоскойких композиций был выбран способ химической и термической обработки глинистых минеральных ресурсов, в частности каолина, глауконита, бентонита месторождения Чанги.

Химический процесс обработки исходных минеральных глинистых ресурсов включает растворение частиц глинистой составляющей последующей начальной полимеризацией растворенных видов оксида алюминия и силиката, что приводит к



дальнейшей полимеризации в связанные аморфные гели [13]. Процесс геополимеризации и продукты реакции часто характеризуются с использованием таких методов, как рентгеновская дифракция (XRD), инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR) и ядерный магнитный резонанс (ЯМР).

Процесс геополимеризации глинистого сырья (метакаолина) в щелочных условиях состоит из следующих процессов: первоначально метакаолин, богатый химически высокоактивными оксидом алюминия и кремнием, подвергается деструкции в сильнощелочном растворе, что приводит к разрыву ковалентных связей между атомами кремния, алюминия и кислорода. Этот процесс генерирует ряд видов гидроксида алюминия/кремния и олигомеров. По мере того, как метакаолин продолжает растворяться, концентрация этих продуктов увеличивается, что способствует дальнейшей полимеризации с образованием гелей. В конечном итоге гели трансформируются в трехмерную структуру гелевой сети посредством локальной рекомбинации и конденсации.

Далее для получения пористых легковесных и термостойких материалов (геополимеры) необходимо проведение механической и термической обработки. При этом различаются следующие процессы обработки и получения пористых керамических материалов:

- а) прямое вспенивание,
- б) метод жертвенного наполнителя,
- в) аддитивное производство.

В настоящее время интенсивно развиваются и новые методы формирования пор, однако они в основном находят свое применение в лабораторных условиях: г) метод реплик, д) шаблон реактивной эмульсии, е) полимеризация обратной суспензии, ж) микроволновое вспенивание и з) комбинированный способ.

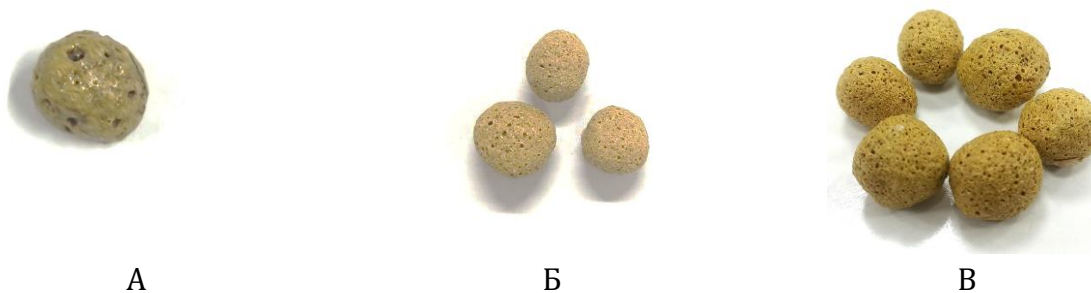
Исходные материалы были обработаны в щелочной среде и подготовленные массы были отформованы в виде шариков размером 5-8 мм, которые далее подвергались сушке и термообработке при 700, 800, 900, 1000 °С. Анализ полученных образцов и внешний вид керамических образцов в результате термообработки при различных температурах приведен в таблице 1.

**Таблица 1. Анализ внешнего вида пористых керамических изделий при обжиге при различных температурах.**

№ образца	Обжиг при 700 °С	Обжиг при 800 °С	Обжиг при 900 °С	Обжиг при 1000 °С
1-ГЛ (глауконит)	15 % потери веса, поры крупные, стеклофаза	18-20 % потери веса, поры мелкие	18-20 % потери веса, поры средние	Плавление образцов
1-МК (метакаолин)	3-5 % потери веса, неспекший образец	5-6 % потери веса, неспекший образец	10 % потери веса, поры не образовались	12 % потери веса, поры не образовались
1-ДТ (диатомит)	Начало спекания, поры	Начало спекания,	Начало плавления,	Начало плавления,

	не наблюдаются	стеклофаза, ультра мелкие поры	стеклофаза, ультра мелкие поры	стеклофаза, поры среднего размера
--	-------------------	---	--------------------------------------	--

Внешний вид обожжённых керамических образцов на основе глауконита приведен на рис. 1.



**Рис. 1. Внешний вид обожжённых керамических образцов на основе глауконита: при 700 °C (А), при 800 °C (Б), при 900 °C (В).**

### **ВЫВОДЫ**

В результате проведенных исследований установлена перспективность дальнейшего изучения сырьевых материалов месторождения Чанги Ташкентской области для получения легковесных пористых, термостойких керамических материалов. В настоящее время проводится изучение структуры и процесса порообразования при использовании различных исходных компонентов и процессов термообработки.

### **References:**

1. Davidovits, J., 2018. Geopolymers Based on Natural and Synthetic Metakaolin a Critical Review, in: Proceedings of the 41st International Conference on Advanced Ceramics and Composites, Ceramic Engineering and Science Proceedings. pp. 201–214. <https://doi.org/10.1002/9781119474746.ch19>
2. Davidovits, J., 2017. Geopolymers: Ceramic-Like Inorganic Polymers. J. Ceram. Sci. Technol. 8, 335–350. <https://doi.org/10.4416/JCST2017-00038>
3. Li, X., Bai, C., Qiao, Y., Wang, X., Yang, K., Colombo, P., 2022a. Preparation, properties and applications of fly ash-based porous geopolymers: A review. J. Clean. Prod. 359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132043>
4. Li, X., Li, J., Bai, C., Zheng, T., Yang, K., Zhang, X., Qiao, Y., Colombo, P., 2022b. Preparation of porous slag-based geopolymer spheres by direct template route for pH buffering applications. Mater. Lett. 328, 133100. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133100>
5. Masi, G., Rickard, W.D.A., Vickers, L., Bignozzi, M.C., Van Riessen, A., 2014. A comparison between different foaming methods for the synthesis of light weight geopolymers. Ceram. Int. 40, 13891–13902. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.05.108>



6. Feng, J., Zhang, R., Gong, L., Li, Y., Cao, W., Cheng, X., 2015. Development of porous fly ash-based geopolymer with low thermal conductivity. *Mater. Des.* 65, 529–533. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.024>
7. Li, X., Liu, L., Bai, C., Yang, K., Zheng, T., Lu, S., Li, H., Qiao, Y., Colombo, P., 2023. Porous alkali-activated material from hypergolic coal gangue by microwave foaming for methylene blue removal. *J. Am. Ceram. Soc.* 106, 1473–1489. <https://doi.org/10.1111/jace.18812>
8. Li, X., Bai, C., Qiao, Y., Wang, X., Yang, K., Colombo, P., 2022a. Preparation, properties and applications of fly ash-based porous geopolymers: A review. *J. Clean. Prod.* 359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132043>
9. Ascensão, G., Seabra, M.P., Aguiar, J.B., Labrincha, J.A., 2017. Red mud-based geopolymers with tailored alkali diffusion properties and pH buffering ability. *J. Clean. Prod.* 148, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.150>
10. Bai, C., Li, H., Bernardo, E., Colombo, P., 2019. Waste-to-resource preparation of glass-containing foams from geopolymers. *Ceram. Int.* 45, 7196–7202. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.12.227>
11. Zhang, Z., Provis, J.L., Wang, H., Bullen, F., Reid, A., 2013. Quantitative kinetic and structural analysis of geopolymers. Part 2. Thermodynamics of sodium silicate activation of metakaolin. *Thermochim. Acta* 565, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.01.040>
12. Panagiotopoulou, C., Kontori, E., Perraki, T., Kakali, G., 2007. Dissolution of aluminosilicate minerals and by-products in alkaline media. *J. Mater. Sci.* 42, 2967–2973. <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0531-8>
13. Chen, L., Wang, Z., Wang, Y., Feng, J., 2016. Preparation and properties of alkali activated metakaolin-based geopolymer. *Materials (Basel)*. 9, 1–12. <https://doi.org/10.3390/ma9090767>
14. Singh, B., Ishwarya, G., Gupta, M., Bhattacharyya, S.K., 2015. Geopolymer concrete: A review of some recent developments. *Constr. Build. Mater.* 85, 78–90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.036>
15. Bajare, D., Bumanis, G., Korjakins, A., 2014. New Porous Material Made from Industrial and Municipal Waste for Building Application. *Mater. Sci.* 20, 333–338. <https://doi.org/10.5755/j01.ms.20.3.4330>
16. Nawaz, M., Heitor, A., Sivakumar, M., 2020. Geopolymers in construction - recent developments. *Constr. Build. Mater.* 260, 120472. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120472>
17. Ng, C., Alengaram, U.J., Wong, L.S., Mo, K.H., Jumaat, M.Z., Ramesh, S., 2018. A review on microstructural study and compressive strength of geopolymer mortar, paste and concrete. *Constr. Build. Mater.* 186, 550–576.
18. Kriven, W.M., Leonelli, C., Provis, J.L., Boccaccini, A.R., Attwell, C., Ducman, V.S., Ferone, C., Rossignol, S., Luukkonen, T., van Deventer, J.S.J., Emiliano, J. V., Lombardi, J.E., 2024. Why geopolymers and alkali-activated materials are key components of a sustainable world: A perspective contribution. *J. Am. Ceram. Soc.* <https://doi.org/10.1111/jace.19828>
19. Kuenzel, C., Cisneros, J.F., Neville, T.P., Vandeperre, L.J., Simons, S.J.R., Bensted, J., Cheeseman, C.R., 2015. Encapsulation of Cs/Sr contaminated clinoptilolite in geopolymers





- produced from metakaolin. J. Nucl. Mater. 466, 94–99.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2015.07.034>
20. Kim, B., Kang, J., Shin, Y., Yeo, T., Heo, J., Um, W., 2023. Effect of Si/Al molar ratio and curing temperatures on the immobilization of radioactive borate waste in metakaolin-based geopolymer waste form. J. Hazard. Mater. 458, 131884.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131884>
21. Jiang, C., Wang, A., Bao, X., Ni, T., Ling, J., 2020. A review on geopolymer in potential coating application: Materials, preparation and basic properties. J. Build. Eng. 32.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101734>
22. Cong, P., Cheng, Y., 2021. Advances in geopolymer materials: A comprehensive review. J. Traffic Transp. Eng. (English Ed. 8, 283–314.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.004>
23. Zhong, H., Zhang, M., 2022. 3D printing geopolymers: A review. Cem. Concr. Compos. 128. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104455>
24. Адилов Ж.К., Мирзаев А.Ж., Якубов С.И., Якубова Н.Д. Глауконит ва чанги кони масаласига доир. Горный вестник Узбекистана. № 1 (84) 2021. С. 43-47.