

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/GZVJ4547>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,189

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***М. Елубай¹, Г. Айткалиева², Д. Ержанова³,
Д. Қарлы⁴, С. Масакбаева⁵**

^{1,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

^{2,3,4}Сатпаев университет, г. Алматы.

*e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz

²<https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>. +77071225811

³<https://orcid.org/0000-0002-3671-0210>. +77471315591

¹<https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>. +77056124252

⁵<https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>. +77772853802

⁴<https://orcid.org/0000-0003-3764-9666>. +77071638786

КРАСНЫЙ ШЛАМ – СЫРЬЕ ДЛЯ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

С началом нового столетия во всем мире активно развивается тенденция для создания экологически устойчивых материалов во всех сферах жизнедеятельности человека. В то же время ежегодно растет количество промышленных отходов, которые из-за отсутствия области применения, подлежат захоронению на полигонах с огромными площадями. В связи с этим одним из реализуемых направлений является разработка новых строительных материалов, в частности, вяжущего вещества с использованием различных отходов. На сегодняшний день, повсеместно используемый вяжущий материал - портландцемент имеет ряд недостатков и не является безопасным для окружающей среды. Поэтому необходимо найти его аналог, который бы обладал всеми желаемыми свойствами. Как раз таки материалы на основе геополимеров являются таковыми. Существующие подходы для синтеза геополимерных строительных материалов нуждаются в усовершенствовании. В настоящей обзорной статье рассмотрены научно-исследовательские работы по методам получения геополимерных материалов из различных видов сырья, обсуждены и сопоставлены результаты, а также приведены условия и физико-химические параметры, влияющие на свойства конечного продукта. В этом исследовании оценивалась возможность использования красного в качестве прекурсоров для получения геополимеров на их основе.

Ключевые слова: геополимер, отходы, промышленные отходы, красный шлам, сырье.

Введение

Геополимерные композиты считаются более экологически устойчивой альтернативой бетону на портландцементе (ПК), поскольку последний является вторым по величине источником выбросов CO₂ (4–8 % мировых выбросов CO₂) и третьим по величине потребителем энергии [1], что привело к увеличению исследований и разработке геополимеров.

Геополимеры это трехмерные аморфные материалы Si–O–Al, полученные активацией раствора щелочью или силиката щелочного металла источником

алюмосиликата при комнатной температуре [2]. В исследованиях по всему миру в качестве необходимых источников алюмосиликатов использовались следующие материалы (рис. 1) [3].

Традиционным и высоко реакционноспособным принято считать метакаолин, получаемый из каолина, очень распространенного в земной коре [4]. Примесями каолина являются кварц, слюда, полевой шпат, мусковит, биотит, оксид титана и гидроксид железа [5, 6], и ожидается, что каолин будет богат каолинитом. Каолинит переходит из кристаллической в аморфную структуру между 650 и 800°C [6–8], но это зависит от свойств исходной глины. Различное геологическое происхождение, процессы термической обработки (быстрое кальцинирование, кальцинирование во вращающейся печи) и содержание примесей могут изменять реакционную способность метакаолинов [9] и, следовательно, влиять на свойства геополимеров [10,11].

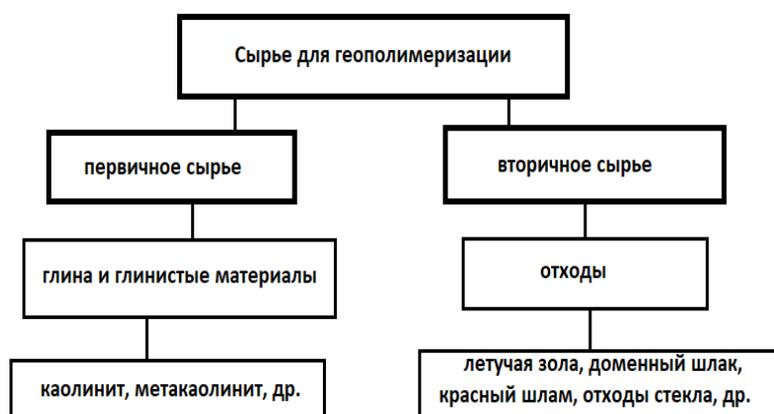


Рисунок 1 – Исходное сырье для получения геополимеров

Однако с целью улучшения экологического профиля геополимеров требуется использования в качестве сырья промышленных побочных продуктов.

Большой интерес в качестве сырья для получения геополимерных материалов представляет красный шлам ввиду повышенного содержания щелочи и алюмината [12].

Авторы работы [13] изучали способность соединения красного шлама и летучей золы отвердевать тяжелые металлы. На основании полученных результатов показано, что смесь красного шлама и летучей золы можно использовать в качестве недорогого цеолитного продукта с эффективностью отверждения 98,23 %, 99,09 %, 99,72 % и 98,21 % для Cu, Zn, Pb и Cd соответственно. Учеными [14] изучены свойства геополимера на основе красного шлама с различным содержанием красного шлама в процессе изготовления кирпича и установлено, что оптимальная доля добавки красного шлама составляет 30 %. В работе [15] определены две схемы для оценки влияния содержания красного шлама и пористости на свойства геополимеров на основе красного шлама. Результаты исследований показали,

что комбинация алюминиевой пудры и 40 % массы красного шлама проявляет наилучший эффект замещения.

Однако, несмотря на большое количество исследований в данном направлении, материалы и схемы дозирования в разных исследованиях сильно различаются, что затрудняет получение регулярных результатов по характеристикам геополимера на основе красного шлама. В связи с этим нами были проведены работы по исследованию основных характеристик красного шлама, образующегося на предприятиях РК.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований служил красный шлам или бокситовый остаток, отобранный на АО «Алюминий Казахстана».

Химический состав красного шлама охарактеризован рентгенофлуоресцентной спектрометрией. Минералогический состав оценивали методом рентгеновской дифракции (РФА) на дифрактометре Phaser Bruker.

Результаты и обсуждение

Состав красного шлама представлен в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1 – Химический состав бокситового шлама [16]

Содержание оксидов, мас. %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
65.98	8.91	1.57	8.37	9.56	1.70	0.15	3.76

По результатам таблицы 1 основными оксидами, присутствующими в красном шламе, являются оксиды алюминия, кремния и железа, что подтверждает возможность получения геополимерных композитов на его основе. Кроме того, шлам содержит оксиды натрия, кальция и калия, которые применялись в процессе производства стекла при снижении вязкости кремнезема.

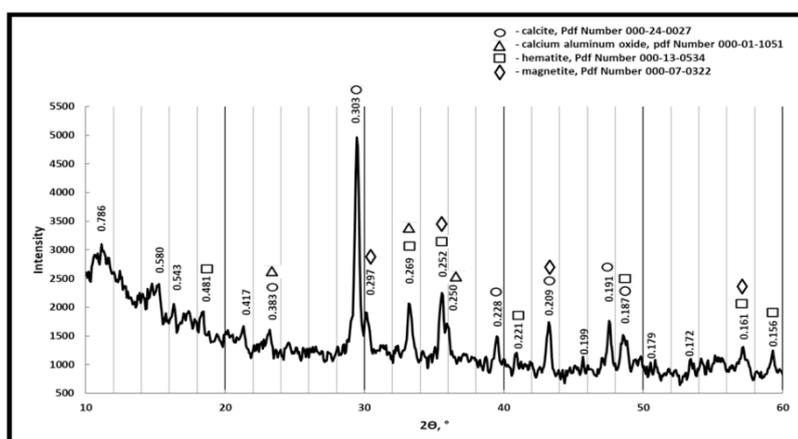


Рисунок 1 – Дифрактограмма красного шлама

Основными минералами красного шлама, выявленными методом рентгеноструктурного анализа (рисунок 1), были кальцит, трёхкальциевый алюминат, гематит, магнетит и др.

По результатам исследований можно отметить, что красный шлак имеет более высокую концентрацию оксида кальция и натрия, что соответственно повышает его pH. В этой связи важно учесть [17], что присутствие кальция в избыточном количестве негативно для образования трехмерной алюмосиликатной сетки.

Вместе с тем, авторы работы [19] считают, что атомы Fe могут замещать только 25 % атомов Al в структуре геополимера, из чего следует, что $Fe_2O_3/Al_2O_3 > 0,37$ оказывает отрицательное влияние на прочность на сжатие. По результатам таблицы 1 видно, что содержание Fe_2O_3 составляет 8,37 %, тогда как Al_2O_3 составляет 8,91 % и соответствует соотношению Fe_2O_3/Al_2O_3 около 1,0.

Известно, что молярное соотношение Si/Al очень важно при производстве геополимеров и влияет на микроструктуру и механические свойства геополимеров, которые образуются при комнатной температуре. Также сообщается о влиянии соотношения SiO_2/Al_2O_3 в повышении прочности геополимерного материала. Оптимальным соотношением SiO_2/Al_2O_3 для достижения наибольшей прочности является 3,4–3,8 [20]. В образце исследуемого красного шлама выявлено соотношение 7,4, что оказалось за пределами необходимого диапазона. Установлено [20], что геополимеры с более высоким соотношением SiO_2/Al_2O_3 затвердевают дольше, в связи с тем, что время отверждения геополимера контролируется частицами алюминия. Таким образом, данный красный шлак не является хорошим материалом для получения геополимеров и требует комбинирования с другими дополнительными материалами, состоящими из алюминия.

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP09259187).

Выводы

В настоящей работе представлен обзор по применяемым сырьевым источникам по разработке геополимерных композитов. Показано, что одним из перспективных сырьевых источников может служить красный шлак, образующийся в алюминиевой промышленности в результате процесса Байера для извлечения глинозема (Al_2O_3) из бокситовой руды, который включает обработку бокситовой руды раствором гидроксида натрия, был охарактеризован как прекурсор для получения геополимерных композитов. Выявлено, что использование красного шлама для геополимеризации удовлетворило бы необходимость надлежащей утилизации отхода, что уменьшило его негативное воздействие на окружающую среду. На основании проведенных исследований установлено, что для получения качественного и прочного геополимерного композита необходимо комбинировать красный шлак с дополнительными материалами с высоким содержанием алюминия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Abdulkareem, M., Komkova, A., Havukainen, J., Habert, G., Horttanainen, M.** Identifying Optimal Precursors for Geopolymer Composite Mix Design for Different Regional Settings: A Multi-Objective Optimization Study // *Recycling*. –2023. 8 (32). [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.3390/recycling802003>.

2 **N'cho, W. C., Gharzouni, A., Jouin, J., Rossignol, S.** Impact of different metakaolin mixtures on oligomer formation and geopolymer properties: Impurity effect // *Open Ceramics*. –2023. –№ 15.

3 **Cong, P., Cheng, Y.** Advances in geopolymer materials: A comprehensive review // *Journal of traffic and transportation engineering*. –2021. –№ 8 (3). – С. 283–314. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.004>.

4 **Nergis, D. D. B., Abdullah, M. M. A. B., Vizureanu, P., Tahir, M. F. M.** Geopolymers and their uses: review // *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. –2018. –№374.

5 **Sahnoun, R. D., Bouaziz, J.** Sintering characteristics of kaolin in the presence of phosphoric acid binder // *Ceramics International*. –2012. –№ 38. –С. 1–7.

6 **Albidah, A. S.** Effect of partial replacement of geopolymer binder materials on the fresh and mechanical properties: a review// *Ceramics International*. – 2021. – № 47. –С. 14923–14943.

7 **Mansour, S. M., Ghernouti, Y., Chaid, R.** Valorization of calcined kaolinitic clay used in high performance mortar // *Journal of Building Materials and Structures*. –2020. – № 7. – С. 32–41.

8 **Kamseu, E., Alzari, V., Nuvoli, D., Sanna, D., Lancellotti, I., Mariani, A.** Dependence of the geopolymerization process and end-products to the nature of solid precursors : challenge of the sustainability // *Journal of Cleaner Production*. –2021. –№ 278.

9 **Elimbi, A., Tchakoute, K. H., Njopwouo, D.** Effects of calcination temperature of kaolinite clays on the properties of geopolymer cements // *Construction and Building Materials*. –2011. –№ 25. – С. 2805–2812.

10 **Wan, Q., Rao, F., Song, S., Cholico-González, D. F., Ortiz, N. L.** Combination formation in the reinforcement of metakaolin geopolymers with quartz sand // *Cement and Concrete Composites*. –2017. – № 80. – С. 115–122.

11 **Autef, A., Joussein, E., Poulesquen, A., Gasgnier, G., Pronier, S., Sobrados, I., Sanz, J., Rossignol, S.** Influence of metakaolin purities on potassium geopolymer formulation: the existence of several networks // *Journal of Colloid and Interface Science*. –2013. – № 408. – С. 43–53.

12 **Du, Z., Sheng, S., Guo, J.** Effect of composite activators on mechanical properties, hydration activity and microstructure of red mud-based geopolymer // *Journal of materials research and technology*. – 2023. – № 24. – С. 8077–8085.

13 **Ma, W. J., Liang, Z. Y., Liu, M. S., Xu, Z. W., Zhao, Q. X.** Synthesis of lowcosting 4A-zeolite and stabilization of heavy metals from municipal solid waste incineration fly ash and activated red mud // *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*. – 2022. – № 17 (5).

14 Singh, S., Aswath, M. U., Ranganath, R. V. Performance assessment of bricks and prisms: red mud based geopolymer composite // Journal of Building Engineering. –2020. – № 32.

15 Ascensao, G., Seabra, M. P., Aguiar, J. B., Labrincha, J. A. Red mudbased geopolymers with tailored alkali diffusion properties and pH buffering ability // Journal of Cleaner Production. – 2017. – № 148. –С. 23–30.

16 Сергеев, Н. П., Максимова, В. В., Толегенов Д. Т. Перспективы использования красных шламов в керамических технологиях // Материалы XXIII Международной конференции «Химия и химическая технология в XXI веке». – 2022. – С. 149–150.

17 Abbasi, S. M., Ahmadi, H., Khalaj, G., Ghasemi, B. Microstructure and mechanical properties of a metakaolinite-based geopolymer nanocomposite reinforced with carbon nanotubes // Ceramics International. –2016. – № 42. – С. 15171–15176.

18 Davidovits, J., Davidovits, R. Ferro-sialate geopolymers. Geopolymer Institute Library. –2020. – 1–6. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25792.89608/2>.

19 Lahoti, M., Yang, E. H., Tan, K. H. Proc. Int. Conf. on 40th Advanced Ceramics and Composites (United States: Florida/Wiley). – 2017. – С. 21–33.

20 Faradilla, F. S. et al. Optimization of SiO₂ /Al₂ O₃ Ratio in the Preparation of Geopolymer from High Calcium Fly Ash // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. –2020. –№ 616.

Материал поступил в редакцию 07.09.23.

*M. Yelubay*¹, *G. Aitkaliyeva*², *D. Yerzhanova*³, *D. Karly*⁴, *S. Massakbayeva*⁵

^{1,2,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

^{3,4}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 07.09.23.

RED MUD – A RAW MATERIAL FOR GEOPOLYMER COMPOSITES

With the beginning of the new century, a trend is actively developing around the world to create environmentally sustainable materials in all spheres of human life. At the same time, the amount of industrial waste is growing every year, which, due to the lack of a field of application, are subject to burial in landfills with huge areas. In this regard, one of the areas being implemented is the development of new building materials, in particular, a binder material using various wastes. Today, the widely used binder - Portland cement has a number of disadvantages and is not safe for the environment. Therefore, it is necessary to find its analogue, which would have all the desired properties. Materials based on geopolymers may be promising. Existing approaches for the synthesis of geopolymer building materials need to be improved. This review discusses research works on methods for obtaining geopolymer materials from various types of raw materials, discusses and compares the results, and also presents the conditions and physicochemical parameters that affect the properties of

the final product. This study evaluated the possibility of using red as precursors for obtaining geopolymers based on them.

Key words: Geopolymer, waste, industrial waste, red mud, raw material.

М. Елубай¹, Г. Айткалиева², Д. Ержанова³, Д. Қарлы⁴, С. Масакбаева⁵

^{1,2,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

^{3,4}Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға түсті 07.09.23.

ҚЫЗЫЛ БАЛШЫҚ – ГЕОПОЛИМЕРЛІК КОМПОЗИТТЕРДІҢ ШІКІЗАТЫ

Жаңа ғасырдың басталуымен бүкіл әлемде адам өмірінің барлық салаларында экологиялық тұрақты материалдарды жасау үрдісі белсенді түрде дамып келеді. Сонымен қатар, өндіріс қалдықтарының көлемі жыл сайын артып келеді, қолдану саласының жоқтығынан оларды үлкен аумақтары бар полигондарға көмуге тура келеді. Осыған байланысты жүзеге асырылып жатқан бағыттардың бірі – жаңа құрылыс материалдарын, атап айтқанда, әртүрлі қалдықтарды пайдаланатын байланыстырғышты әзірлеу. Бүгінгі күні кеңінен қолданылатын байланыстырғыш – портландцементтің бірқатар кемшіліктері бар және қоршаған орта үшін қауіпті болып табылады. Сондықтан барлық қажетті қасиеттерге ие болатын оның аналогын табу керек. Геополимерлер негізіндегі материалдар солар қатарына жатады. Геополимерлік құрылыс материалдарын синтездеудің қолданыстағы тәсілдерін жетілдіру қажет. Бұл шолу мақаласында түрлі шикізат түрлерінен геополимерлік материалдарды алу әдістері бойынша зерттеу жұмыстары қарастырылады, нәтижелер талқыланады және салыстырылады, сонымен қатар соңғы өнімнің қасиеттеріне әсер ететін шарттар мен физика-химиялық параметрлер ұсынылады. Бұл зерттеуде қызыл боксит қалдығы геополимерлер алу үшін прекурсорлар ретінде пайдалану мүмкіндігін бағаланды.

Кілтті сөздер: геополимер, қалдықтар, өндірістік қалдықтар, қызыл балшық, шикізат.

Теруге 08.09.23 ж. жіберілді. Басуға 29.09.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,61 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4133

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz