

Статья поступила в редакцию: 23.08.2026

Статья принята к публикации: 28.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 666.3: 665.6.033

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23343

**Физико-химические и минералогические свойства нефтяного шлама и  
возможность его применения в керамическом производстве**

**Хокимов Абдулазиз Эргашали угли**

д-р техн. наук (PhD)

ассистент кафедры Химической инженерии, Ферганский государственный технический  
университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

E-mail: [abdulaziz\\_xokimov@fstu.uz](mailto:abdulaziz_xokimov@fstu.uz)

**Эминов Ашраф Мамурович**

д-р техн. наук (DSc)

проф., зав. кафедрой Химические технологии Янгиерский филиал Ташкентского химико-  
технологического института

Республика Узбекистан, г. Янгиер

**Хамдамова Шохида Шерзодовна**

д-р техн. наук (DSc)

проф. кафедры Химической инженерии, Ферганский государственный технический  
университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

**Мирсалимова Саодат Рахматжановна**

канд. хим. наук, проф.

кафедры Химической инженерии Ферганский государственный технический университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

**Мирзаев Наврузбек Абдуллаевич**

д-р техн. наук (PhD)

и.о. доцента кафедры Химической инженерии Ферганский государственный технический  
университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

## Physicochemical and mineralogical properties of oil sludge and the possibility of its application in ceramic production

**Khokhimov Abdulaziz Ergashali ugli**

*PhD in Technical Sciences, Assistant Professor*

*Department of Chemical Engineering, Fergana State Technical University*

*Republic of Uzbekistan, Fergana*

**Eminov Ashraf Mamurovich**

*DSc in Technical Sciences, Professor*

*Head of the Department of Chemical Technologies, Yangiyer Branch of Tashkent Institute of*

*Chemical Technology*

*Republic of Uzbekistan, Yangiyer*

**Khamdamova Shokhida Sherzodovna**

*DSc in Technical Sciences, Professor*

*Department of Chemical Engineering, Fergana State Technical University*

*Republic of Uzbekistan, Fergana*

**Mirsalimova Saodat Rakhmatjanovna**

*candidate of Chemical Sciences, Professor*

*Department of Chemical Engineering, Fergana State Technical University*

*Republic of Uzbekistan, Fergana*

**Mirzayev Navruzbek Abdullaevich**

*PhD in Technical Sciences, Associate Professor*

*Department of Chemical Engineering, Fergana State Technical University*

*Republic of Uzbekistan, Fergana*

### Аннотация

В статье представлены результаты исследования физико-химических, гранулометрических и минералогических характеристик нефтяного шлама, образующегося на Ферганском нефтеперерабатывающем заводе, с целью оценки возможности его использования в производстве строительных керамических материалов. Исследование направлено на переработку и рациональное использование нефтяного шлама в качестве техногенного сырья, что позволяет одновременно снизить объём промышленных отходов и расширить сырьевую базу керамического производства. Определён компонентный состав нефтяного шлама, согласно которому содержание воды составляет 30,0 – 40,0 мас. %, механических примесей — 10,0 – 15,0 мас. %, органических компонентов — 45,0 – 60,0 мас. %. Для механических примесей после сушки и прокаливания определён химический состав, проведены гранулометрический, рентгенофазовый и инфракрасный спектроскопический анализы. Установлено повышенное содержание  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в составе механических примесей. Минералогический анализ показал наличие кварца, кальцита,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaSO}_4$ , паргасита, гематита и фаялита в зависимости от условий термической обработки. Методом FTIR исследованы изменения функциональных групп нефтяного шлама при температурах 150 – 650 °C. Установлено существенное снижение интенсивности полос, связанных с органическими компонентами, с повышением температуры и их практически

---

**Библиографическое описание:** Физико-химические и минералогические свойства нефтяного шлама и возможность его применения в керамическом производстве // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Хокимов А.Э.У. [и др.]. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23343>

полное исчезновение при 500 – 650 °С. Полученные результаты подтверждают перспективность использования нефтяного шлама в качестве техногенного компонента и порообразующей добавки при разработке керамических строительных материалов.

### Abstract

This article presents the results of a study of the physicochemical, granulometric, and mineralogical characteristics of oil sludge generated at the Fergana Oil Refinery, with the aim of assessing its potential use in the production of construction ceramic materials. The study focuses on the processing and rational utilization of oil sludge as technogenic raw material, which can simultaneously reduce the volume of industrial waste and expand the raw material base for ceramic production. The component composition of the oil sludge was determined, showing that the water content was 30.0 – 40.0 wt.%, mechanical impurities accounted for 10.0 – 15.0 wt.%, and organic components constituted 45.0 – 60.0 wt.%. The chemical composition of the mechanical impurities was determined after drying and calcination, and granulometric, X-ray diffraction, and infrared spectroscopic analyses were performed. An increased content of SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, and MgO was established in the mechanical impurities. Mineralogical analysis revealed the presence of quartz, calcite, CaO, CaSO<sub>4</sub>, pargasite, hematite, and fayalite, depending on the thermal treatment conditions. Changes in the functional groups of the oil sludge at temperatures of 150 – 650 °C were investigated by FTIR spectroscopy. A significant decrease in the intensity of absorption bands associated with organic components was observed with increasing temperature, with their almost complete disappearance at 500 – 650 °C. The obtained results confirm the potential of oil sludge as a technogenic component and pore-forming additive in the development of construction ceramic materials.

**Ключевые слова:** нефтяной шлам, керамические материалы, минеральный состав, термическая обработка, FTIR-спектроскопия.

**Keywords:** oil sludge, ceramic materials, mineral composition, thermal treatment, FTIR.

### Введение

В настоящее время производство керамических материалов в современной строительной промышленности признано важной стратегической отраслью, которая не только обеспечивает потребности строительного сектора, но и оказывает значительное влияние на развитие инновационных направлений в экономике страны [6, 8].

Важным направлением ресурсосбережения при производстве строительных керамических материалов является использование наряду с природным сырьём промышленных техногенных отходов таких отраслей, как углеперерабатывающая и металлургическая промышленность [2]. Комплексное использование природного и техногенного сырья позволяет увеличить объём производства продукции на 25 – 30 %. Экономическая эффективность использования техногенного сырья определяется, прежде всего, отсутствием необходимости дополнительных затрат на добычу сырья. В настоящее время в мире зарегистрировано более 1000 видов техногенных продуктов, рассматриваемых в качестве перспективного вторичного сырья, из которых 780 представлены в информационных базах данных, однако на практике утилизируется лишь около 60 видов.

Пористые керамические материалы в основном получают из легкоплавкого природного глинистого сырья с добавлением различных порообразующих компонентов. Вопрос использования промышленных отходов вместо природных компонентов по-прежнему остаётся актуальным [4, 5].

Анализ литературных источников показывает, что авторы [3] предлагают добавлять в шихту для производства керамзита буровой шлам или осадок, образующийся при очистке воды, что способствует улучшению физико-механических свойств керамзита.

В исследованиях, проведённых учёными, изучена возможность получения лёгких строительных кирпичей на основе отходов нефтеперерабатывающей промышленности (НПЗ) и производства оливкового масла (ПОМ). Установлено, что добавление 3 – 5 % отходов НПЗ или 10 % отходов ПОМ не оказывает существенного влияния на качество кирпича, тогда как увеличение их содержания приводит к снижению плотности, повышению водопоглощения и, как следствие, снижению прочности при сжатии. Отмечено, что выгорание органических веществ способствует образованию пор и позволяет снизить энергозатраты. Вместе с тем испытания на токсичность показали, что степень выщелачивания тяжёлых металлов из всех исследованных образцов соответствует установленным нормативным требованиям [7].

В другом исследовании [9] изучена эффективность обезвреживания нефтяных шламов методом тлеющего горения. Согласно полученным результатам, после переработки объём твёрдого остатка значительно уменьшился, углеводороды были удалены, а из состава конденсата выделены вода и топливные фракции. Неконденсируемые газы в основном состояли из  $H_2$ ,  $CO$  и  $H_2S$ , в связи с чем отмечена необходимость их дополнительной очистки. Результаты исследования свидетельствуют о высокой эффективности процесса тлеющего горения, а также о его дополнительном потенциале для использования в качестве источника возобновляемой энергии.

Кроме того, В.З.Абдрахимовым [1] были исследованы возможности использования нефтяных шламов, являющихся отходами нефтяной промышленности, в производстве керамических материалов. В исследовании показано, что благодаря высокой теплотворной способности ( $Q > 2500$  ккал/кг) и повышенному содержанию углерода ( $C > 10$  %) нефтяные шламы могут эффективно использоваться не только в качестве разжижающей, но и в качестве топливной добавки. Поскольку при использовании 100 % бентонитовой глины наблюдалось образование трещин в готовых изделиях, в качестве оптимального состава была выбрана смесь с добавлением 50 % нефтяного шлама. Полученные на основе данного состава лёгковесные керамические кирпичи характеризуются высокой теплотехнической эффективностью и рекомендуются в качестве перспективных строительных материалов.

### Материалы и методы

Для изучения химико-минералогического состава сырья, фазовых превращений, происходящих в процессе обжига, а также микроструктуры исследуемых образцов были использованы методы химического, рентгенофазового и ИК-спектроскопического анализа.

Химический анализ. При проведении химического анализа различных материалов в основном достаточно определить содержание следующих оксидов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ , а также потери массы при прокаливании (ППП). Химический анализ образцов проводили в соответствии с ГОСТ 2642.0-2014.

Рентгенофазовый анализ. Для определения кристаллических фаз использованного сырья и синтезированных образцов применяли дифрактометры LABX XRD-6100 SHIMADZU (Япония) и Rigaku MiniFlex 600 (Япония). Рентгенофазовый анализ проводили с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения (Ni-фильтр, длина волны 1,5418 Å) при силе тока 30 мА и напряжении 30 кВ. Скорость вращения детектора составляла 4°/мин при шаге 0,02° в единицах  $\omega/2\theta$ , диапазон углов сканирования составлял от 4 до 80°.

Инфракрасный спектральный анализ. Исходные и синтезированные образцы исследовали методом Фурье-ИК-спектроскопии (FTIR) на приборе IRSpirit-T в диапазоне волновых чисел 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ .

### Результаты и обсуждения

Нефтяной шлам Ферганского нефтеперерабатывающего завода. В настоящее время промышленные отходы, образующиеся в результате различных производственных процессов во всём мире, приводят к ухудшению состояния окружающей среды. В частности, на нефтеперерабатывающих предприятиях накапливаются значительные объёмы нефтяных шламов, при этом уровень их утилизации и повторного использования остаётся недостаточно высоким, что приводит к увеличению объёмов отходов нефтепродуктов в накопительных ёмкостях. Актуальность данной экологической проблемы обуславливает необходимость переработки этих отходов и их дальнейшего использования в экономически целесообразных направлениях.

В связи с этим целью настоящего исследования являлась утилизация нефтяного шлама, образующегося на Ферганском нефтеперерабатывающем заводе в процессе отделения воды от нефти, путём его введения в состав строительных керамических материалов, что позволит одновременно снизить негативное воздействие отходов на окружающую среду и повысить эффективность их использования. В условиях Ферганского нефтеперерабатывающего завода ежегодно образуется около 7,0 – 8,0 тыс. тонн нефтяного шлама, что составляет примерно 3 – 5 кг на каждую тонну переработанных нефтепродуктов.

В нефтяном шламе были определены содержание воды, механических примесей и органических компонентов. Полученные результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Компонентный состав нефтяного шлама**

| T/r | Компонент               | Содержание, мас. % |
|-----|-------------------------|--------------------|
| 1   | Содержание воды         | 30,0-40,0          |
| 2   | Механические примеси    | 10,0-15,0          |
| 3   | Органические компоненты | 45,0-60,0          |

Согласно результатам, представленным в таблице 1, установлено, что содержание воды в нефтяном шламе составляет 30,0 – 40,0 мас. %, механических примесей — 10,0 – 15,0 мас. %, а органических компонентов — 45,0 – 60,0 мас. %. Кроме того, был определён химический состав механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе, после их сушки при температуре 150 °С и прокаливания при 1000 °С (таблица 2). Полученные результаты показали, что в составе высушенных механических примесей наблюдается повышенное содержание оксидов кремния, железа, кальция и магния ( $\text{SiO}_2$  – 13,05 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 10,91 %,  $\text{CaO}$  – 25,34 %,  $\text{MgO}$  – 7,57 %), тогда как после прокаливания содержание оксидов кальция и магния значительно увеличивается ( $\text{CaO}$  – 40,06 %,  $\text{MgO}$  – 10,08 %).

Таблица 2.

**Химический состав механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе**

| Наименование образца            | Оксиды, мас. % |                         |                         |                |              |              |                       |                      |               | ППП, мас. % |
|---------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|---------------|-------------|
|                                 | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{SO}_3$ |             |
| Высушенный образец              | 13.05          | 3.30                    | 10.91                   | 0.13           | 25.34        | 7.57         | 0.37                  | 0.25                 | 4.38          | 36.40       |
| Прокалённый образец при 1000 °С | 13.48          | 3.47                    | 10.47                   | 0.10           | 40.06        | 10.08        | 0.40                  | 0.10                 | 9.81          | 11.24       |

Гранулометрический состав высушенных механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе, был определён экспериментальным методом. Полученные результаты представлены в таблице 3.

По результатам определения гранулометрического состава высушенных механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе, модуль крупности их частиц был определён в соответствии с ГОСТ 8735 – 88 на основании расчётных уравнений, приведённых в разделе 2.1.

Таблица 3.

**Гранулометрический состав высушенных механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе**

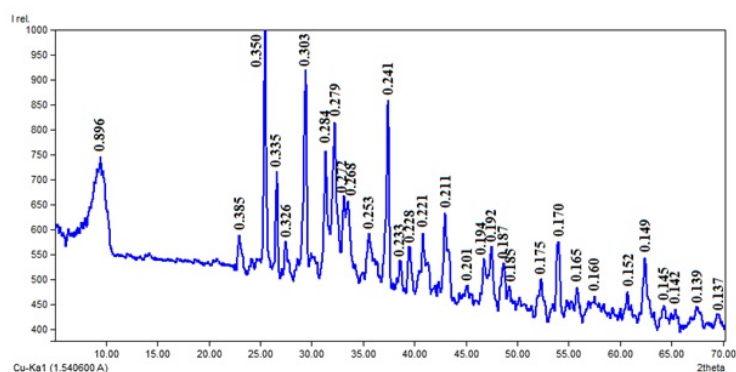
| Размер ячеек сита, мм  | Размер ячеек сита и остаток на сите, г /% |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        | 0,063                                     | 0,1   | 0,16  | 0,315 | 0,63  | 1,25  | 2,5   |
| Остаток на сите, г     | 21,55                                     | 11,05 | 17,68 | 14,91 | 9,94  | 10,50 | 10,50 |
| Остаток на сите, %     | 21,55                                     | 11,05 | 17,68 | 14,91 | 9,94  | 10,50 | 10,50 |
| Сум. остаток $A_p$ , % | 96,13                                     | 74,58 | 63,53 | 45,85 | 30,94 | 21,00 | 10,50 |

\*Доля материала, прошедшего через сито с размером ячеек 0,063 мм, составляет 3,87 %.

Результаты расчёта модуля крупности частиц высушенного нефтяного шлама показали, что по данному показателю он относится к классу мелких песков.

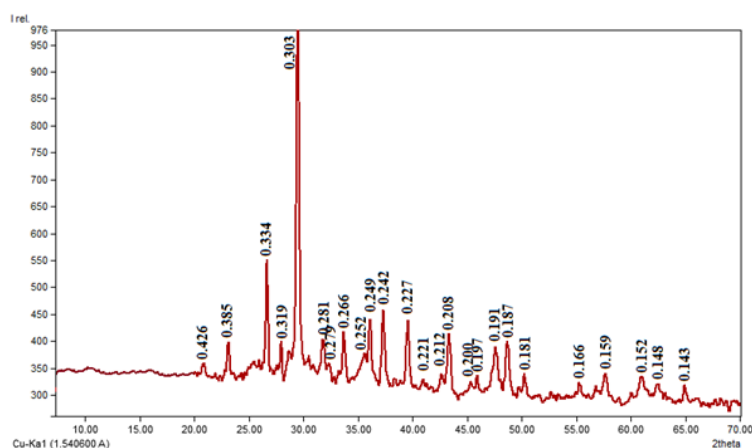
$$Mk = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} = \frac{10,5 + 21 + 30,94 + 45,85 + 63,53}{100} = 1,72$$

Также был определён минеральный состав механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе, после сушки при температуре 150 °С и прокаливания при температуре 1000 °С. Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2



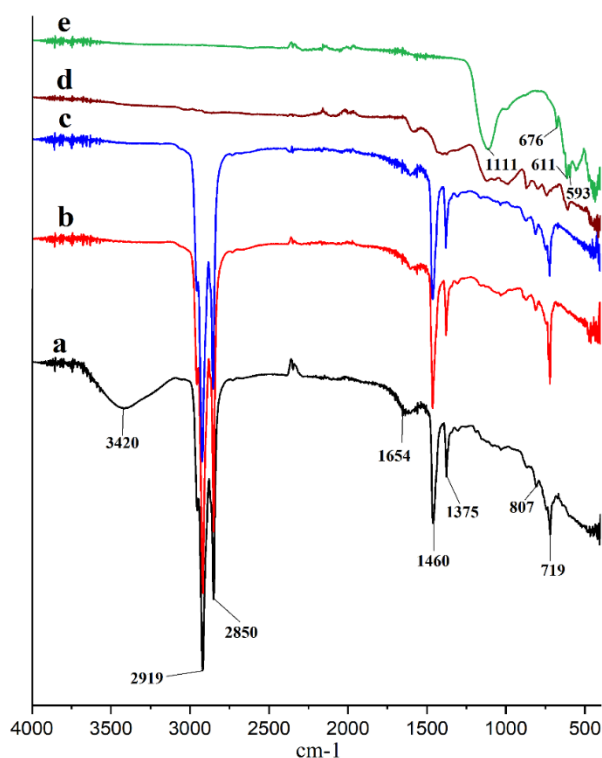
**Рисунок 1. Рентгенограмма высушенных механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе**

Минеральный состав высушенных механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе, представлен минералами  $\text{CaSO}_4$ , кварцем, кальцитом, известью, паргаситом и гематитом



**Рисунок 2. Рентгенограмма прокалённого при температуре 1000 °С образца высушенных механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе**

В минеральном составе высушенных механических примесей, содержащихся в нефтяном шламе, после прокаливания при температуре 1000 °С были выявлены следующие минералы: кварц, кальцит,  $\text{CaO}$  и фаялит.



**Рисунок 3. ИК-спектрограммы исходного нефтяного шлама и образцов, подвергнутых термической обработке при температурах 150-650 °С**

а) исходный нефтяной шлам б) 150°С в) 300°С г) 500°С д) 650°С

На рисунке 3 представлены результаты ИК-спектроскопического анализа исходного нефтяного шлама (а) и образцов после его термической обработки в диапазоне температур 150-650 °С (б-е). На спектрограмме широкая полоса поглощения при 3420 см<sup>-1</sup> соответствует колебаниям групп –ОН, тогда как выраженные полосы при 2919 и 2850 см<sup>-1</sup> относятся к валентным колебаниям связей С-Н в углеводородах, что свидетельствует о высоком содержании органических веществ в исходном шламе. Полосы поглощения в области 1654, 1460 и 1375 см<sup>-1</sup> соответствуют колебаниям ароматических или алифатических соединений и групп С=О.

Полосы поглощения при 807 и 719 см<sup>-1</sup> характерны для силикатных фаз, входящих в минеральный состав материала. С повышением температуры (б-е) интенсивность полос, обусловленных органическими группами, значительно снижается. Особенно при 500 °С (г) и 650 °С (е) наблюдается исчезновение полос, соответствующих С-Н и -ОН группам, что свидетельствует о полном разложении углеводородов. Одновременно выявлено появление новых полос поглощения в области 1111, 676, 611 и 593 см<sup>-1</sup>. В целом результаты ИК-спектроскопического анализа наглядно демонстрируют происходящие под воздействием температуры процессы разложения органических веществ в нефтяном шламе, удаления структурных гидроксильных групп и стабилизации оксидных структур твёрдой фазы.

## Заключение

Установлено, что нефтяной шлам Ферганского нефтеперерабатывающего завода содержит значительное количество органических веществ и минеральных компонентов, в связи с чем может быть использован в качестве порообразующей добавки в процессе обжига.

На основании полученных данных установлена возможность разработки составов керамических материалов, таких как кирпич и пористые заполнители, на основе Шорсусвской глины, барханного песка и нефтяного шлама, физико-механические и технологические свойства которых соответствуют предъявляемым требованиям.

## Список литературы

1. Абдрахимов В.З. Использование многотоннажного нефтяного шлама как вторичное сырье в производстве легковесного кирпича на основе бентонитовой глины. Экологические системы и приборы. 2025. – С. 24–33.
2. Воробьева В.В., Леонов В.Г. Ресурс- и энергосбережение в производстве строительной стеновой керамики // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2014.
3. Гурьева В.А., Дорошин А.В. К вопросу о производстве керамзита из техногенных отходов западного Оренбуржья // Молодой ученый. – 2017. – № 21.
4. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. Учебник. М. – 2016. – 319 с.
5. Шакиров Т.Т. Технология получения пористого заполнителя из кварцевого порфира и отхода угледобычи для легкого бетона: монография. – Ташкент: «Umid Design», 2023. – 146 с.
6. Chaolu Y., Fuchuan Z., Qianren Ch., Gang Sh., Masiko K., Masabo G. Development and application of modern building ceramic materials // Research and Application of Materials Science. – 2023. – Т. 5, № 2.
7. Eliche-Quesada D., Azevedo-Da Cunha R., Corpas-Iglesias F.A. Eliche-Quesada D., Azevedo-Da Cunha R., Corpas-Iglesias F.A. Effect of sludge from oil refining industry or sludge from pomace oil extraction industry addition to clay ceramics, Applied Clay Science // Applied Clay Science. – 2015. – Т. 114.
8. Yan Z., Gao Y., Zhang H. Materials development and potential applications of ceramics: new opportunities and challenges. Appl. Sci. 2023, 13 (19), 10957.
9. Zhao Ch., Li Y., Gan Z., Nie M. Method of smoldering combustion for refinery oil sludge treatment // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – Т. 409.

## References

1. Abdrakhimov V.Z. [Use of large-tonnage oil sludge as secondary raw material in the production of lightweight bricks based on bentonite clay]. Ekologicheskie sistemy i pribory, 2025, P. 24–33. (In Russ.)

2. Vorob'eva V.V., Leonov V.G. [Resource and energy conservation in the production of building wall ceramics]. *Izvestiya TulGU. Estestvennye nauki*, 2014, Iss. 1, Part 2, P. 80–88. (In Russ.)
3. Gur'eva V.A., Doroshin A.V. Gur'eva V.A., Doroshin A.V. [On the production of expanded clay from technogenic waste of Western Orenburg region]. *Molodoy uchenyy*, P // *Molodoy uchenyy*. – 2017. – № 21. (In Russ.)
4. Rogovoy M.I. [Technology of artificial porous aggregates and ceramics]. Moscow, 2016. 319 P. (In Russ.)
5. Shakirov T.T. [Technology for producing porous aggregate from quartz porphyry and coal-mining waste for lightweight concrete]. Tashkent: Umid Design, 2023. 146 P. (In Russ.)
6. Chaolu Y., Fuchuan Z., Qianren Ch., Gang Sh., Masiko K., Masabo G. Development and application of modern building ceramic materials. *Research and Application of Materials Science*, 2023, Vol. 5, No. 2, P. 25–32.
7. Eliche-Quesada D., Azevedo-Da Cunha R., Corpas-Iglesias F.A. Eliche-Quesada D., Azevedo-Da Cunha R., Corpas-Iglesias F.A. Effect of sludge from oil refining industry or sludge from pomace oil extraction industry addition to clay ceramics. *Applied Clay Science*, p // *Applied Clay Science*. – 2015. – T. 114.
8. Yan Z., Gao Y., Zhang H. Materials development and potential applications of ceramics: new opportunities and challenges. *Applied Sciences*, 2023, Vol. 13, No. 19, 10957.
9. Zhao Ch., Li Y., Gan Z., Nie M. Method of smoldering combustion for refinery oil sludge treatment // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – T. 409.