*Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET* ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
**DOI**: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-2-322-327 Выберите тип статьи.
**УДК** 666.327 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

# Сравнительный анализ свойств глин месторождений России и Бурунди

Ирина В. Кузнецова [1] kuznetsovaiv@mail.ru 0000-0001-6666-6292
Фануэлла Бутойи [1] fanuellab@gmail.com 0009-0004-3990-2287
Елена М. Горбунова [1] gorbunova_elena2024@mail.ru 0000-0002-3550-0115
Лариса В. Лыгина [1] llw000@ya.ru 0000-0002-8836-0689
София С. Шевченко [3] shefsof@mail.ru 0000-0002-3904-0961

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** . Глинистое сырье представляет собой тонкодисперсные осадочные породы, состоящие в основном из глинистых минералов (монтмориллонита, гидрослюды, каолинита и др.), содержащие минеральные (кварцевые, полевошпатовые, карбонатные, железистые) и органические примеси. В работе провели сравнительный анализ физико-химических свойств глин месторождений России и Бурунди. Изучение минеральной составляющей глинистого сырья как наиболее энергетически активного компонента позволяет определить характерные черты материала в целом. В данной работы исследовали шесть образцов глин, определили влажность, потери при прокаливании, провели химический и гранулометрический анализы. Глины Бурунди близки между собой по содержанию оксидов кремния и алюминия, глины Российских месторождений различаются. Построены трехкомпонентные диаграммы Охотина «глина – пылеватые части – пески» и концентрационная диаграмма $Al_2O_3$ – $SiO_2$ – $Fe_2O_3$ + ΣMeO (где ΣMeO – сумма всех остальных оксидов в прокаленном состоянии, мас. %). По результатам проведенных испытаний установлено, что глины Лукошкинского, Владимирского и Шулеповского месторождений относятся к глинистым породам. Глины Чибисовская, Rouge и Noire содержат достаточное количество пылеватых фракций – это глины пылеватые. Лукошинская и Владимирская глины относятся к легкоплавким глинам с повышенным содержанием оксидов кремния и железа. Глины Шулеповская, Чибисовская, Rouge и Noire – тугоплавкие. Определены области применения глин.

**Ключевые слова:** глинистое сырье, диаграмма Охотина, гранулометрия, концентрационная диаграмма.

# Comparative analysis of the properties of clays from deposits in Russia and Burundi

Irina V. Kuznetsova [1] kuznetsovaiv@mail.ru 0000-0001-6666-6292
Fanuella Butoyi [1] fanuellab@gmail.com 0009-0004-3990-2287
Elena M. Gorbunova [1] gorbunova_elena2024@mail.ru 0000-0002-3550-0115
Larisa V. Lygina [1] llw000@ya.ru 0000-0002-8836-0689
Sofia S. Shevchenko [3] shefsof@mail.ru 0000-0002-3904-0961

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Clay raw materials are fine-grained sedimentary rocks consisting mainly of clay minerals (montmorillonite, hydromica, kaolinite, etc.), which contain mineral (quartz, feldspar, carbonate, and ferrous) and organic impurities. The paper presents a comparative analysis of the physical and chemical properties of clays from Russian and Burundian deposits. Studying the mineral component of clay raw materials as the most energetically active component allows us to determine the characteristics of the material as a whole. In this work, six samples of clays were examined, and their moisture content, loss on ignition, and chemical and granulometric analyses were conducted. The clays of Burundi are similar in terms of their content of silicon and aluminum oxides, while the clays of Russian deposits differ. Three-component Okhotin diagrams "clay-dust particles-sands" and a concentration diagram $Al_2O_3$-$SiO_2$-$Fe_2O_3$ + ΣMeO (where ΣMeO is the sum of all other oxides in the calcined state, wt.%) have been constructed. Based on the results of the tests, it has been established that the clays of the Lukoshkinskoye, Vladimirskoye, and Shulepovskoye deposits belong to clay rocks. Chibisovskaya, Rouge, and Noire clays contain a sufficient amount of dusty fractions, which are classified as dusty clays. Lukoshinskaya and Vladimirskaya clays are classified as low-melting clays with a high content of silicon and iron oxides. Shulepovskaya, Chibisovskaya, Rouge, and Noire clays are classified as refractory clays. The applications of these clays have been identified..

**Keywords:** clay raw materials, Okhotin diagram, granulometry, concentration diagram.

Для цитирования
Кузнецова И.В., Бутойи Фануэлла, Горбунова Е.М., Лыгина Л.В. Сравнительный анализ свойств глин месторождений России и Бурунди // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 2. С. 322–327. doi:10.20914/2310-1202-2025-2-322-327

For citation
Kuznetsova I.V., Butoyi Fanwella, Gorbunova E.M., Lygina L.V. Comparative analysis of the properties of clays from deposits in Russia and Burundi. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 2. pp. 322–327. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-2-322-327

© 2025, Кузнецова И.В. и др. / Kuznetsova I.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Качественные характеристики керамических изделий зависят от вида применяемого сырья: глины, песка, полевого шпата и др. Глина – мелкозернистая осадочная горная порода, пылевидная в сухом состоянии, пластичная при увлажнении. Глина состоит из одного или нескольких минералов группы каолинита (происходит от названия местности Каолин в Китае), монтмориллонита или других слоистых алюмосиликатов (глинистые минералы), но может содержать и песчаные и карбонатные частицы [1].

Как правило, породообразующим минералом в глине является каолинит, его состав по массе: 47% оксида кремния ($SiO_2$), 39% оксида алюминия ($Al_2O_3$) и 14% воды. Оксиды алюминия и кремния составляют значительную часть химического состава глин. Окраска глин обусловлена примесями ионов – хромофоров [2]. Природные сырьевые материалы, используемые в технологии керамики и огнеупоров, в том числе глинистые породы, необходимо охарактеризовать по составу и свойствам, без чего невозможно обеспечить постоянство технологического процесса и должное качество выпускаемой продукции [3]. Перед использованием в производстве поступающих партий сырья, при оценке новых месторождений сырья, а также при выполнении любых исследований и технологических разработок необходимо проводить определенный комплекс анализов, зависящий от требований к данному виду сырья [4].

Выводы о возможности использования породы исследуемого сырья делаются на основе анализа совокупности ее свойств, включающих характеристику сырой глины (химический, зерновой составы, пластичность, связующая способность), поведение при сушке (чувствительность к сушке, усадка при сушке) и при обжиге (огневая усадка, спекаемость, огнеупорность) [5]. Определение свойств производится по государственным стандартам ГОСТ 2642–93; ГОСТ 530–95 [6].

Тропические регионы Восточной Африки представляют особый интерес, потому что выветривание горных пород там более продолжительное, полное и заметное, чем в умеренном климате. Горнодобывающая промышленность является важным компонентом социально-экономического развития Бурунди. Найденные там глины представляют интерес для промышленности [11–18].

**Цель работы** – сравнительный анализ физико-химических свойств глин месторождений России и Бурунди (Бурунди – суверенная страна, расположенная в Восточной Африке).

## Материалы и методы

Отбор проб глин проводили методом квартования. В полученных образцах определяли влажность и потери при прокаливании согласно [1–3].

Гранулометрический состав глины определяли по методу Б.И. Рутковского [2, 8]. Он влияет на свойства глин: пластичность, сопротивление сдвигу, сушильные свойства, усадка и др. Метод основан на способности глинистых частиц набухать в воде и на различной скорости падения частиц в воде в зависимости от их размера и плотности. С помощью метода Б.И. Рутковского выделяют три основные фракции: глинистую – с размером частиц менее 5 мкм (0,005 мм); пылеватую – с размером частиц 5–50 мкм (0,005–0,05); песчаную – с размером частиц от 50 мкм и более (0,05–2 мм). Данные по гранулометрическому составу наносили на тройную диаграмму Охотина [9, 10, 2], по области которой устанавливается тип глины или суглинка. На сторонах треугольника находятся точки, соответствующие процентному содержанию песчаных, глинистых и пылеватых компонентов, из них проводятся линии, параллельные основаниям, все три линии пересекаются в одной точке, определяющей тип глинистой породы.

Для определения химического состава рентгенофлюоресцентный анализ проводили в Бурунди, в управлении горнодобывающей промышленности и минералов на приборе Rigaku в лаборатории WDXRF.

## Результаты и обсуждение

По методу Б.И. Рутковского определен зерновой состав глинистого сырья месторождений России и Бурунди, данные по шести образцам глин приведены в таблице 1. Построена диаграмма Охотина – распределения фракций «глина – пылеватые фракции – пески» (рисунок 1). Глины Лукошкинского, Владимирского и Шулеповского месторождений относятся к глинистым. Глины Чибисовская, Rouge и Noire содержат достаточное количество пылеватых фракций – это глины пылеватые. Наибольшее количество пылеватых фракций в глине Noire. Например, глина Лукошкинского месторождения характеризуется следующим

составом: глинистых фракций -53,03%; пылеватых – 22%; песчаных – 24,97%. Значит, исходя из максимального содержания глинистых фракций, данная порода относится к глинистым.

На основании выполненного анализа можно сделать вывод о наименовании грунта с помощью классификации грунтов по В.В. Охотину. Так глины Лукошкинская, Владимировская, Шулеповская по гранулометрическому составу имеют наименование грунта «глины», Чибисовская и Rouge – «суглинок тяжелый», а Noire – «суглинок пылеватый»..

Таблица 1.

Физико-химические свойства глин

Table 1.

Physical and chemical properties of clays

| Образец глины Clay sample | Влажность Humidity W, % | Потери при прокаливании Calcination losses | Содержание фракций, % Fraction content, % | | | Тип глинистой породы Type of clay rock |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Песчаные частицы Sand particles (1–0,05 мм) | Пылеватые частицы Dusty particles (0,05–0,005 мм) | Глинистые частицы Clay particles (менее 0,005 мм) | |
| Лукошкинская (Л) | 1,19 | 8,71 | 24,97 | 22,00 | 53,03 | глинистая clayey |
| Владимировская(В) | 2,70 | 8,98 | 26,10 | 26,00 | 47,80 | |
| Шулеповская (Ш) | 1,19 | 13,40 | 20,43 | 19,00 | 60,57 | |
| Чибисовская (Ч) | 0,85 | 5,00 | 31,78 | 46,00 | 22,22 | пылеватая silty |
| Rouge (R) | 2,01 | 10,24 | 35,00 | 40,03 | 24,97 | песчано-пылеватая sandy-silty |
| Noire (N) | 0,89 | 9,82 | 12,00 | 72,11 | 15,89 | пылеватая silty |

Пробы глин Шулеповского месторождения имеют самые высокие значения потерь при прокаливании (таблица 1), что связано с большим содержанием в них карбонатных пород и органических веществ. Низкие потери при прокаливании имеет глина Чибисовская. Потери при прокаливании глин Бурунди имеют среднее значение ~10%. Самое высокое содержание оксида алюминия в глине Шулеповского месторождения, самое низкое – в глине Владимирской. С повышением в глине содержания $Al_2O_3$, огнеупорность ее возрастает. В огнеупорных глинах содержание $Al_2O_3$ достигает 32–35% (Чибисовская, Rouge, Noire), а в кирпичных – 10–15% (Владимировская). По содержанию $Al_2O_3$ глины подразделяют на высокоглиноземистые – содержание $Al_2O_3$ превышает 45%; высокоосновные – содержание $Al_2O_3$ составляет 38–45% (Шулеповская); основные – содержание $Al_2O_3$ составляет 28–38% (Шулеповская, Чибисовская, Rouge, Noire); полукислые – содержание $Al_2O_3$ составляет 14–28% (Лукошкинская и Владимирская). Оксид железа $Fe_2O_3$ в составе глин оказывает на обожженное изделие сильное красящее действие. При обжиге в восстановительной среде снижает температуру плавления глины. Содержание $Fe_2O_3$ в глинах может достигать 8–10%. Наибольшее количество $Fe_2O_3$ в глинах Бурунди и Владимирской.

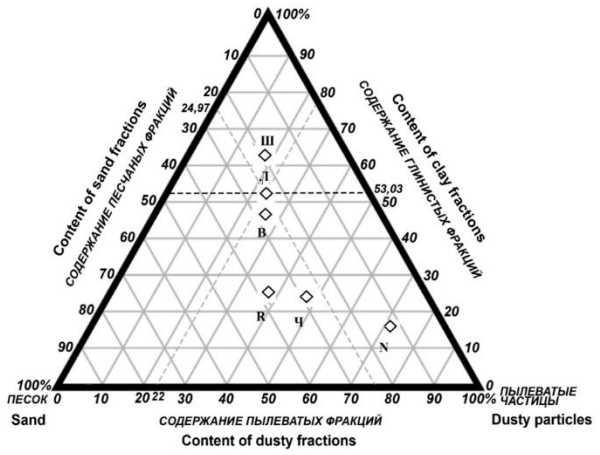



Рисунок 1. Диаграмма Охотина распределения фракций «глина – пылеватые фракции – пески»

Figure 1. Okhotin's diagram of the distribution of fractions "clay – dust fractions – sand"

Глины Бурунди близки между собой по содержанию оксидов кремния и алюминия. Глины Российских месторождений различаются.

Для качественного описания областей применения глинистого сырья в зависимости от химического состава построена концентрационная диаграмма $Al_2O_3$ – $SiO_2$ – $Fe_2O_3$ + ΣMeO – сумма всех остальных оксидов в прокаленном состоянии, мас. % (рисунок 2).

Результаты построения концентрационной диаграммы помогают определить пригодность глины для определенного вида керамических изделий, выявить элементы, типичные для различных глин. Например, по диаграмме можно выявить оксиды-маркеры, которые характерны для разных месторождений глин, прогнозировать влияние химического состава на свойства глин, отнести исследуемую глину к легкоплавкому или тугоплавкому природному сырью.

Таблица 2.

Результаты химического анализа на прокаленное вещество

Table 2.

Results of chemical analysis of the calcined substance

| Образец глины Clay sample | Содержание, % Content, % | | | | Тип глины Type of clay |
|---|---|---|---|---|---|
| | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | Σ MeO | |
| Лукошкинская | 17 | 69,3 | 3,1 | 10,6 | полукислая semi-acidic |
| Владимировская | 11,73 | 73,65 | 6,38 | 8,29 | |
| Шулеповская | 40,70 | 54,31 | 1,82 | 3,00 | основная main |
| Чибисовская | 30,14 | 61,34 | 3,35 | 4,85 | |
| Rouge | 32,3 | 55.5 | 9,20 | 3,3 | |
| Noire | 32.5 | 57.3 | 5,93 | 4,27 | |

Лукошинская и Владимирская глины попали в область легкоплавких глин, они похожи по своему химическому составу.

Владимирский карьер занимается добычей, переработкой и поставками минерального сырья для производства всех видов керамики, располагает месторождениями сырья, главными преимуществами которого являются уникальные керамические свойства глины, стабильный состав, широкий спектр оттенков, универсальность (подходит для любого вида керамики). Наиболее благоприятными горнотехническими условиями залегания полезной толщи обладают Лукошкинское месторождение. Разрабатываемое Лукошкинское месторождение в настоящее время удовлетворяет потребности ряда крупнейших предприятий (Щекинского и Рязанского заводов кислотоупорных изделий, Волгоградского и Саратовского заводов, керамических изделий, Голицынского, Старооскольского, Елецкого кирпичных заводов). Эта глина может применяться взамен глины Владимирского месторождения.

Глины Шулеповская, Чибисовская, Rouge и Noire относятся к тугоплавким.

Глины Чибисовского месторождения относятся к огнеупорным. Это связано с повышенным содержанием в них глинозема – $Al_2O_3$ (более 27%). Из-за повышенного содержания красящих оксидов глины не пригодны для изготовления фарфоровых, фаянсовых, художественных хозяйственных, а также электротехнических изделий. Их используют для изготовления керамической плитки для внутренней и наружной облицовки; канализационных труб; химически стойких изделий.

Огнеупорные глины Шулеповского месторождения пригодны для производства шамотных изделий. В шихту наряду с Шулеповской глиной добавляют определенную часть пластичной глины для лучшей формуемости массы. Спекаются изделия в интервале температур 1000–1420 °С.

Глины Rouge и Noire, благодаря повышенному содержанию железа, применяются в Бурунди в строительстве, изготовлении посуды, косметологии и народной медицине. В последнее время рассматривают возможность использования этих огнеупорных глин в производстве цемента, производимого фирмой BUCECO (Бурунди), для устройства оснований дорожного полотна.

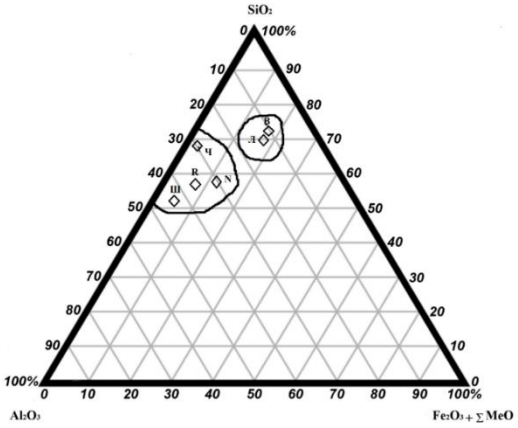



Рисунок 2. Концентрационная диаграмма расположения глин в зависимости от химического состава

Figure 2. Concentration diagram of clay arrangement depending on chemical composition

## Заключение

В данной работе были изучены физико-химические свойства глин месторождений России и Бурунди. Использованы данные по составу и свойствам изученных объектов, полученные с помощью различных методов: рентгенофлюоресцентного, гравиметрического, химического. Построены диаграммы Охотина и концентрационные диаграммы. На основании построенных моделей можно выявить взаимосвязь химического состава, характеристик глинистого сырья и показателей качества готовой продукции.

**Литература**

1 Ушницкая Н.Н., Местников А.Е. Физикохимический анализ глинистого сырья для керамзита // Успехи современного естествознания. 2022. № 10. С. 124–129.

2 Романова Т.В., Умарова Н.Н., Сопина В.Ф., Франко Е.Ю. и др. Применение проекционных методов в управлении технологическим процессом производства керамического кирпича // Вестник технологического университета. 2010. № 5. С. 265–275.

3 Ильина Л.В., Тацки Д.Н. Наномодифицирование низкокачественного глинистого сырья – способ повышения прочности керамического черепка // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2022. Т. 22. № 2. С. 28–36.

4 Ушницкая Н.Н., Местников А.Е. Исследование свойств глинистого сырья методами физико-химического анализа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 4. С. 16–25. doi: 10.34031/2071-7318-2024-94-16-25

5 Крайнов А.В. Результаты изучения тугоплавких глин участка «Соколье» (Липецкая область) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2009. № 2. С. 78–84.

6 Батршина Г.С., Давлетшина А.Д. Исследование структуры глинистого сырья для керамических изделий // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 4. С. 13–23.

7 Бакунов В.С., Лукин Е.С. Интенсификация процесса спекания поликристаллической оксидной керамики // Новые огнеупоры. 2015. № 6. С. 32–36.

8 Будыкина Т.А., Гандурина Л.В. Исследование свойств глинистых пород методом термического анализа // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 1. С. 77–88.

9 Бортников Н.С., Новиков В.М., Боева Н.М., Соболева С.В. и др. Латненское месторождение огнеупорных глин (Центральная Россия) // Литология и полезные ископаемые. 2016. № 6. С. 487–500. doi: 10.7868/S0024497X16060033

10 Андреенков В.В. Аптские керамические глины Липецкой области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2000. № 10. С. 145–148.

11 Correia G.S., Vaz T.H.S., da Costa F.P., da Silva M.F.P. et al. Evaluation of Clayey Raw Materials and Ceramic Masses from Ceramic Building Material Companies Located in Northeastern Brazil // Minerals. 2024. V. 14. № 11. Art. 1062. doi: 10.3390/min14111062

12 Magalhaes R.S., Almeida K.S., Gomes E.R. Physical-chemical, mineralogical and technological characterization of clays of Caxias/MA // Journal of Chemical Engineering. 2022. V. 8. № 2. doi: 10.18540/jcecvl8iss2pp13974-01e

13 Chalouati Y., Bennour A., Mannai F., Srasra E. Characterization, thermal behaviour and firing properties of clay materials from Cap Bon Basin, north-east Tunisia, for ceramic applications // Clay Minerals. 2021. V. 56. № 4. P. 351–365. doi: 10.1180/clm.2021.4

14 Jaha S., Carvalheiras J., Mahmoudi S., Labrincha J. Production of lightweight expanded aggregates from smectite clay, palygorskite-rich sediment and phosphate sludge // Clay Minerals. 2024. doi: 10.1180/clm.2024.10

15 Abdelfattah M.M., Géber R., Abdel-Kader N.A., Kocserha I. Assessment of the mineral phase and properties of clay-Ca bentonite lightweight aggregates // Arabian Journal of Geosciences. 2022. V. 15. Art. 205. doi: 10.1007/s12517-022-09538-w

16 Garcia-Valles M., Cuevas D., Alfonso P., Martínez S. Thermal behaviour of ceramics obtained from the kaolinitic clays of Terra Alta, Catalonia, Spain // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. doi: 10.1007/s10973-021-11075-9

17 Hussain F., Omran A., Soliman N. Synthesis and characterization of bentonite-based lightweight ceramic aggregates using coal combustion residue and kerosene bloating agent // Construction and Building Materials. 2024. V. 425. Art. 135916. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135916

18 Bayoussef A., Loutou M., Taha Y., Mansori M. et al. Use of clays by-products from phosphate mines for the manufacture of sustainable lightweight aggregates // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 277. Art. 124361. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124361

**References**

1 Ushnitskaya N.N., Mestnikov A.E. Physicochemical analysis of clay raw materials for expanded clay. Advances in Modern Natural Science. 2022. no. 10. pp. 124–129. (in Russian).

2 Romanova T.V., Umarova N.N., Sopina V.F., Franko E.Yu. et al. Application of projection methods in the management of the technological process of ceramic brick production. Bulletin of Technological University. 2010. no. 5. pp. 265–275. (in Russian).

3 Ilina L.V., Tatski D.N. Nanomodification of low-quality clay raw materials as a way to increase the strength of ceramic shards. Bulletin of SUSU. Series "Construction and Architecture". 2022. vol. 22. no. 2. pp. 28–36. (in Russian).

4 Ushnitskaya N.N., Mestnikov A.E. Study of the properties of clay raw materials by methods of physicochemical analysis. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. no. 4. pp. 16–25. doi: 10.34031/2071-7318-2024-94-16-25 (in Russian).

5 Krainov A.V. Results of the study of refractory clays of the "Sokolye" site (Lipetsk region). Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology. 2009. no. 2. pp. 78–84. (in Russian).

6 Batrshina G.S., Davletshina A.D. Study of the structure of clay raw materials for ceramic products. Building Materials and Products. 2020. vol. 3. no. 4. pp. 13–23. (in Russian).

7 Bakunov V.S., Lukin E.S. Intensification of the sintering process of polycrystalline oxide ceramics. New Refractories. 2015. no. 6. pp. 32–36. (in Russian).

8 Budykina T.A., Gandurina L.V. Study of the properties of clayey rocks by thermal analysis. Proceedings of Higher Educational Institutions. Geology and Exploration. 2023. no. 1. pp. 77–88. (in Russian).

9 Bortnikov N.S., Novikov V.M., Boeva N.M., Soboleva S.V. et al. Latnenskoye deposit of refractory clays (Central Russia). Lithology and Mineral Resources. 2016. no. 6. pp. 487–500. doi: 10.7868/S0024497X16060033 (in Russian).

10 Andreenkov V.V. Aptian ceramic clays of the Lipetsk region. Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology. 2000. no. 10. pp. 145–148. (in Russian).

11 Correia G.S., Vaz T.H.S., da Costa F.P., da Silva M.F.P. et al. Evaluation of Clayey Raw Materials and Ceramic Masses from Ceramic Building Material Companies Located in Northeastern Brazil. Minerals. 2024. vol. 14. no. 11. article 1062. doi: 10.3390/min14111062.

12 Magalhaes R.S., Almeida K.S., Gomes E.R. Physical-chemical, mineralogical and technological characterization of clays of Caxias/MA. Journal of Chemical Engineering. 2022. vol. 8. no. 2. [Online first]. doi: 10.18540/jcecvl8iss2pp13974-01e.

13 Chalouati Y., Bennour A., Mannai F., Srasra E. Characterization, thermal behaviour and firing properties of clay materials from Cap Bon Basin, north-east Tunisia, for ceramic applications. Clay Minerals. 2021. vol. 56. no. 4. pp. 351–365. doi: 10.1180/clm.2021.4.

14 Jaha S., Carvalheiras J., Mahmoudi S., Labrincha J. Production of lightweight expanded aggregates from smectite clay, palygorskite-rich sediment and phosphate sludge. Clay Minerals. 2024. [Online first]. doi: 10.1180/clm.2024.10.

15 Abdelfattah M.M., Géber R., Abdel-Kader N.A., Kocserha I. Assessment of the mineral phase and properties of clay-Ca bentonite lightweight aggregates. Arabian Journal of Geosciences. 2022. vol. 15. article 205. doi: 10.1007/s12517-022-09538-w.

16 Garcia-Valles M., Cuevas D., Alfonso P., Martínez S. Thermal behaviour of ceramics obtained from the kaolinitic clays of Terra Alta, Catalonia, Spain. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. [Online first]. doi: 10.1007/s10973-021-11075-9.

17 Hussain F., Omran A., Soliman N. Synthesis and characterization of bentonite-based lightweight ceramic aggregates using coal combustion residue and kerosene bloating agent. Construction and Building Materials. 2024. vol. 425. article 135916. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135916.

18 Bayoussef A., Loutou M., Taha Y., Mansori M. et al. Use of clays by-products from phosphate mines for the manufacture of sustainable lightweight aggregates. Journal of Cleaner Production. 2020. vol. 277. article 124361. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124361.

**Сведения об авторах**

**Ирина В. Кузнецова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuznetsovaiv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6666-6292

**Фануэлла Бутойи** магистрант, факультет экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж 394036, Россия, fanuellab@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-3990-2287

**Елена М. Горбунова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж 394036, Россия, gorbunova_elena2024@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3550-0115

**Лариса В. Лыгина** к.т.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж 394036, Россия, llw000@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8836-0689

**София С. Шевченко** аспирант, факультет экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж 394036, Россия, shefsof@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3904-0961

**Information about authors**

**Irina V. Kuznetsova** Cand. Sci. (Chem), assistant professor, Department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kuznetsovaiv@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0001-6666-6292

**Fanuella Butoyi** Dr. Sci. (Chem.), master's student, faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fanuellab@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-3990-2287

**Elena M. Gorbunova** Cand. Sci. (Chem.), assistant professor , Department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbunova_elena2024@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3550-0115

**Larisa V. Lygina** Cand. Sci. (Tech.), assistant professor, Department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, llw000@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-8836-0689

**Sofia S. Shevchenko** graduate student, faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, shefsof@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3904-0961

**Вклад авторов**

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

| | | |
|---|---|---|
| **Поступила** 08/03/20265 | **После редакции** 18/03/2026 | **Принята в печать** 06/04/2026 |
| **Received** 08/03/20265 | **Accepted in revised** 18/03/2026 | **Accepted** 06/04/2026 |