

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ РАЗРАБОТКИ ТЮЛЬГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Научная статья

**Вождаев Д.С.<sup>1,\*</sup>, Гурьева В.А.<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Оренбургский Государственный Университет, Оренбург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (delorean67[at]yandex.ru)

### Аннотация

В статье исследуется возможность применения глин и техногенных отходов Тюльганского месторождения в качестве сырья для производства керамического кирпича. В условиях дефицита высококачественных сырьевых компонентов и экологических проблем, связанных с их добычей, предлагается использование бурого угля в качестве добавки для улучшения свойств готовых изделий.

Первоначально проведен химический и минералогический анализ глины Тюльганского месторождения. Химический состав показывает, что глина содержит высокий уровень оксида железа, что характерно для легкоплавких глин. Минералогическое исследование выявило преобладание кварца и каолинита, а также значительное содержание ильменита. Эти данные подтверждают высокую огнеупорность и пластичность глины, а также ее способность к образованию муллита при обжиге. Гранулометрический анализ показывает, что глина относится к группе пылеватых.

Вторым этапом исследования была проведена оценка связующей способности бурого угля в смеси с глиной. Результаты показывают, что максимальное содержание бурого угля в шихте может достигать 80%, при этом необходимо учитывать изменения водопоглощения и пластичности.

Статья обобщает результаты испытаний, подтверждая, что глины Тюльганского месторождения, в сочетании с бурый углем, обладают необходимыми физическими и технологическими свойствами для изготовления керамического кирпича. Это решение способствует рациональному использованию ресурсов и снижению экологической нагрузки от производства строительных материалов.

**Ключевые слова:** керамический кирпич, глина, бурый уголь.

## STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING PRODUCTS FROM THE TYULGANSKOYE DEPOSIT IN THE PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS

Research article

**Vozhdaev D.S.<sup>1,\*</sup>, Gureva V.A.<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

\* Corresponding author (delorean67[at]yandex.ru)

### Abstract

The article studies the possibility of using clays and technogenic waste from the Tyulganskoye deposit as raw materials for the production of ceramic bricks. In conditions of shortage of high-quality raw material components and environmental problems associated with their extraction, the use of brown coal as an additive to improve the properties of finished products is suggested.

Initially, chemical and mineralogical analysis of clay from the Tyulganskoye deposit was carried out. The chemical composition shows that the clay contains a high level of iron oxide, which is characteristic of fusible clays. Mineralogical study showed the predominance of quartz and kaolinite, as well as a significant content of ilmenite. These data confirm the high refractoriness and plasticity of the clay, as well as its ability to form mullite during firing. Granulometric analysis shows that the clay belongs to the group of dusty clays.

The second stage of the research was to evaluate the binding capacity of lignite mixed with clay. The results show that the maximum content of lignite in the charge can reach 80%, while it is necessary to take into account changes in water absorption and plasticity.

The article summarizes the test results, confirming that the clays of the Tyulganskoye deposit, in combination with brown coal, have the necessary physical and technological properties for the manufacture of ceramic bricks. This solution favours the rational use of resources and reduces the environmental load from the production of building materials.

**Keywords:** ceramic bricks, clay, brown coal.

### Введение

В настоящее время наблюдается дефицит высококачественного глинистого сырья во всей мировой строительной индустрии, в том числе и в России [1]. Промышленное развитие и добыча полезных ископаемых часто сопровождаются проблемами экологического и экономического характера. Одним из таких примеров является Тюльганский глиняный карьер в Оренбургской области, где осуществляется добыча глин, а также бурого угля. В силу физических свойств бурый уголь данного месторождения нецелесообразно применять в качестве топливного материала, поэтому при разработке карьера его складировать в качестве отходов. В то же время использование отходов производств обеспечивает решение вопросов рационального природопользования вследствие вовлечения их в производство керамических материалов, создания энерго- и ресурсосберегающих технологий по производству

строительных материалов, модификации свойств строительных материалов путем замены природных традиционных материалов [2].

Одним из перспективных направлений применения бурого угля Тюльганского месторождения является использование его в качестве добавки в сырьевой массе при производстве керамического кирпича из глин того же месторождения. Такой подход может решить одновременно и экономические, и экологические проблемы, ограничивающие развитие данной отрасли на территории Оренбуржья, что определило цель исследований – определить возможность применения глины и угля Тюльганского месторождения в качестве основных компонентов сырья для производства керамического кирпича.

Для достижения поставленной цели на первом этапе были изучены основные характеристики сырьевых компонентов и их технологические свойства: дообжиговые и обжиговые.

### Методы исследования и результаты

При проведении экспериментальной части работы использовались стандартные методики исследования составов и свойств сырьевых материалов: глинистого сырья и бурого угля.

Химический состав глины Тюльганского месторождения определялся в лаборатории, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав глины Тюльганского месторождения по результатам химического анализа

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.1>

Содержание оксидов в % на сухое вещество												
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Соб щ	п.п.п	Σ
56,99	0,70	12,99	5,35	0,111	2,48	7,13	0,95	1,82	0,20	0,036	12,10	100,84

По данным таблицы можно сделать следующие выводы согласно данным работ авторов [3], [4]:

- содержание SiO<sub>2</sub> (56,99%) низкое, указывает на низкую запесоченность глины;
- алюминий (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12,99%) указывает, что опытная глина относится к группе кислых глин, косвенно свидетельствует, что глина относится по числу пластичности к среднепластичным глинам, позволяет предположить о присутствии в глине минерала каолинита;
- содержание оксида железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5,35%) находится в интервале 3-12%, что характерно для легкоплавких глин [5];
- оксид кальция (CaO, 7,13%) и магнезит (MgO, 2,48%) в совокупности показывают высокий уровень содержания, что связано с присутствием в осадочной алюмосиликатной породе карбонатных минералов: кальцита, доломита;
- суммарное содержание оксидов калия (K<sub>2</sub>O, 1,82%) и натрия (Na<sub>2</sub>O, 0,95%) относительно низкое. Это указывает на присутствие остатков исходной породы - полевого шпата и механически примешанных частиц слюды;
- потери при прокаливании (12,10%) указывают на присутствие в глине органических продуктов.

По результатам химического анализа глина предположительно относится к группе каолиновых, для которой характерны высокая пластичность и огнеупорные показатели.

Так как суммарное количество красящих оксидов высоко ( $\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2 = 5,35 + 0,70 = 6,05 \%$ ), то, предположительно, в результате обжига изделие из данной глины приобретает красно-коричневые оттенки.

С целью изучения минералогического (вещественного) состава глины в лаборатории проведен петрографический анализ. Влияние минералогического состава на дообжиговые свойства глинистого вещества обусловлено различием влагоемкости глинистых минералов, входящих в состав породы, что связано со структурой и их кристаллической решеткой [6]. На микрофотографии (см. рисунок 1) в проходящем свете видна четкая слоистость глины. Слоевые пласты имеют при этом разную толщину и некоторую неоднородность, наблюдается присутствие мелких зерен, минералов, отличающихся от водных алюмосиликатных минералов. В поляризованном свете слои глины имеют волнистое гашение между скрещенными николями, что указывает на наличие каолинита [7].

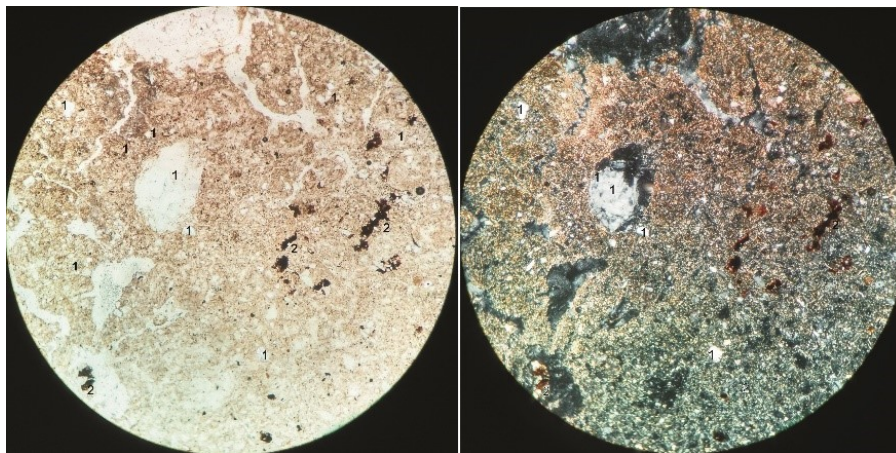


Рисунок 1 - Микрофотография шлифа образца глины Тюльганского месторождения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.2>

Примечание: а - в проходящем свете, б – в поляризованном; 1 – зерна кварца; 2 - гидроокислы железа

На основе анализа результатов петрографии и микрофотографий шлифов можно также сделать вывод, что данная глина является каолинитовой.

С целью уточнения петрографических данных выполнен рентгенофазовый анализ глины, полученная рентгенограмма приведена на рисунке 2.

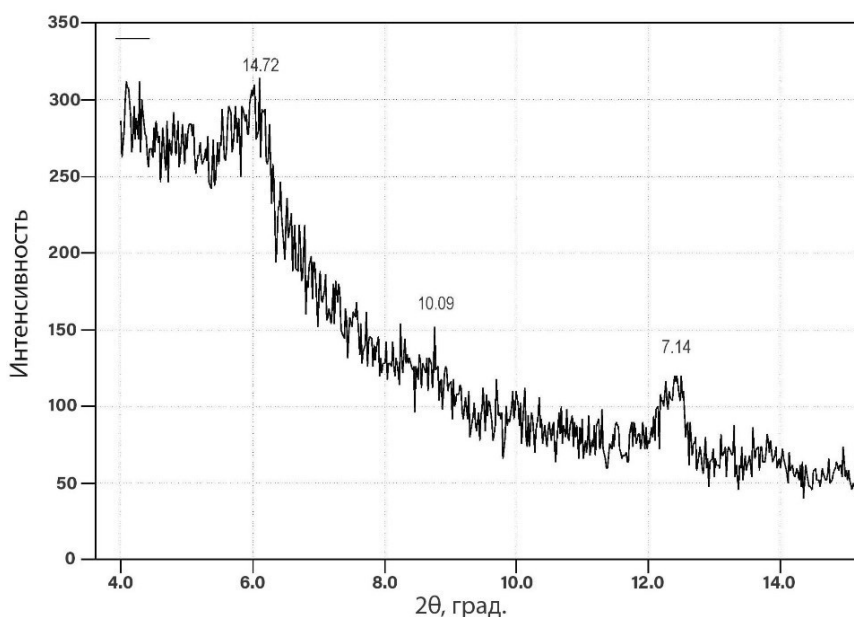


Рисунок 2 - Рентгенограмма исходного образца глины Тюльганского месторождения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.3>

Рентгенофазовый анализ глины Тюльганского месторождения показал, что основными кристаллическими фазами в образце являются: кварц ( $\text{SiO}_2$ ), содержание 60-70%, каолинит ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) в количестве 20-30%.

Расширение межслоевых расстояний в некоторых глинистых минералах достигается насыщением образца глины этиленгликолем (см. рисунок 3), что отражается в смещении пиков дифракции на рентгенограмме [8]. Пики кварца не смещаются при насыщении этиленгликолем, так как этот минерал не имеет межслоевых пространств, на которые влияет этиленгликоль.

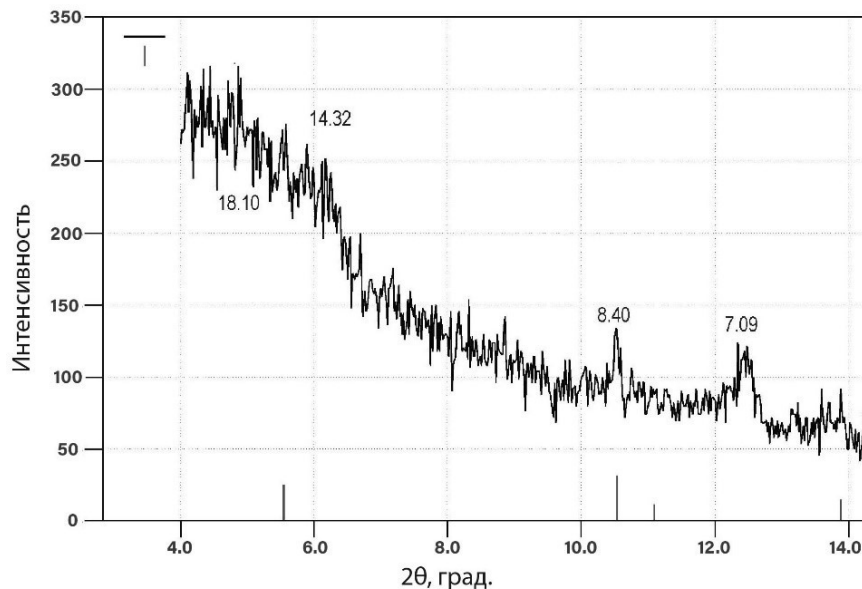


Рисунок 3 - Рентгенограмма образца глины Тюльганского месторождения при насыщении этиленгликолем  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.4>

При нагревании до 550°C наблюдается исчезновение пика с  $d=7,09$  (см. рисунок 4). Это свидетельствует о дегидратации каолинита и разложении его на муллит и аморфный кремнезем [9].

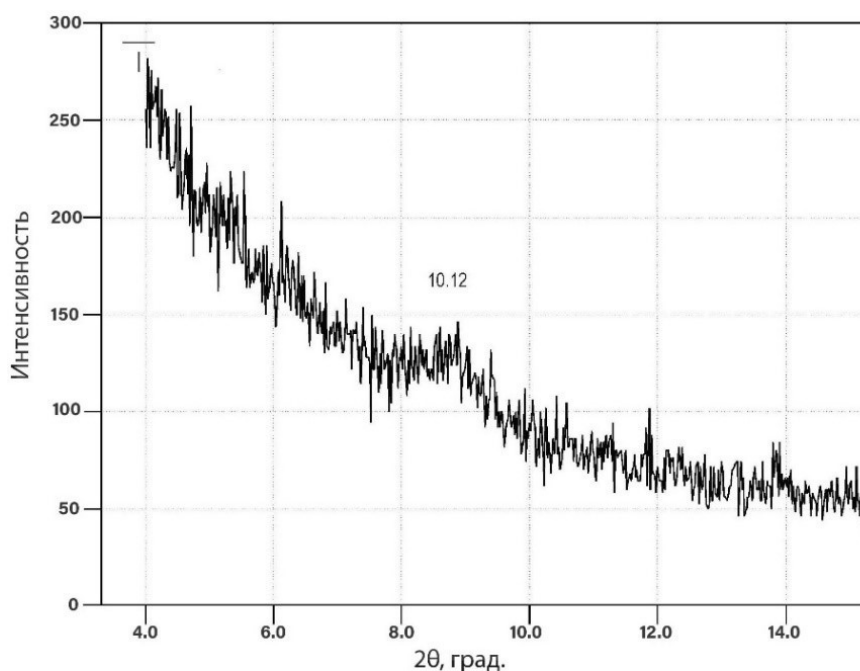


Рисунок 4 - Рентгенограмма образца глины Тюльганского месторождения при прокаливании до 550°C  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.5>

На основе рентгенофазового анализа можно сделать следующие выводы:

- доминирующий минерал – кварц (более 60%);
- установлено среднее содержание каолинита (20-30%);
- выявлено значительное содержание минерала ильменита (10-20%).

Насыщение этиленгликолем при этом:

- подтверждает наличие каолинита в глине;
- позволяет оценить межпакетные расстояния в каолините;

Прокаливание образца глины до температуры 550°C:

- подтверждает дегидратацию каолинита;
- свидетельствует об образовании муллита – новой фазы.

Основные выводы, полученные в результате проведения рентгенофазового анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание минералов в образцах глины Тюльганского месторождения по результатам проведения рентгенофазового анализа

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.6>

Минерал	Исходная глина	Насыщение этиленгликолем	Прокаливание до t=550°C
Кварц	Доминирует	Сохраняется	Сохраняется
Ильменит	Значительное содержание	Сохраняется	Сохраняется
Каолинит	Среднее содержание	Подтверждается	Разрушается структура
Мусковит	Незначительное содержание	Подтверждается	Не обнаружен
Муллит	Не обнаружен	Не обнаружен	Образуется

Высокое содержание кварца обеспечивает высокую прочность и огнеупорность кирпича. Наличие ильменита может придавать кирпичу красноватый оттенок. Содержание каолинита определяет пластичность глины, что обуславливает способ формования кирпича. Мусковит способствует повышению прочностных свойств кирпича. Образование муллита увеличивает прочность и огнеупорность готовых изделий. Такие показатели позволяют говорить о возможности применения данной глины в качестве сырья для изготовления керамического кирпича.

С целью определения группы глины Тюльганского месторождения исследован ее гранулометрический состав (см. таблицу 3).

Таблица 3 - Гранулометрический состав глины Тюльганского месторождения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.7>

Содержание фракций, %		
Песчаных частиц 1,0-0,05 мм	Пылеватых частиц 0,05-0,005 мм	Глинистых частиц <0,005 мм
1,90	41,74	56,36

Тип сырья определялся по тройной диаграмме В.В. Охотина, представленной на рисунке 5.

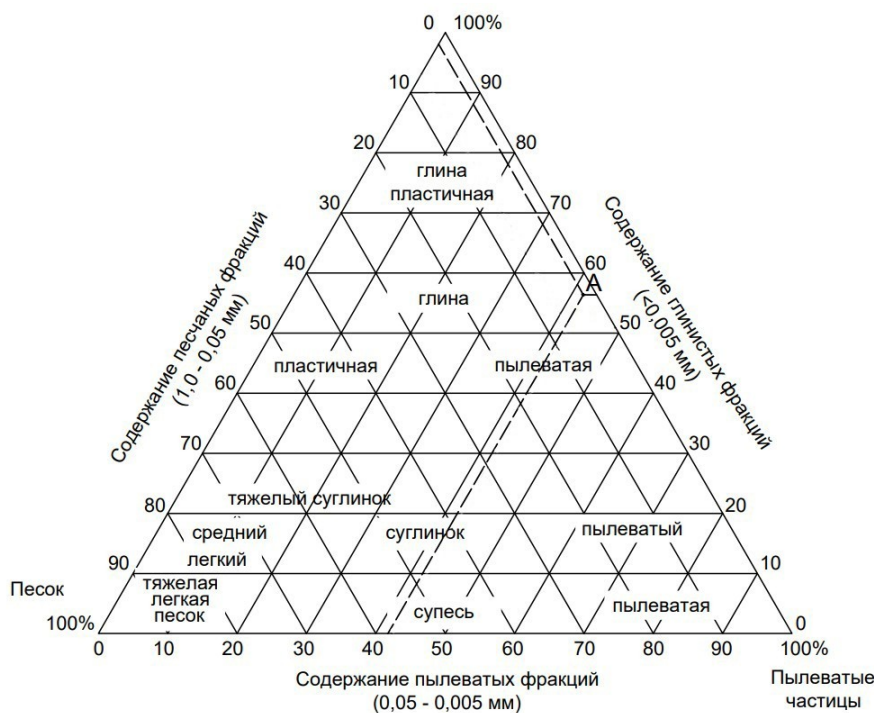


Рисунок 5 - Тройная диаграмма распределений фракций «глина-пылеватые-песок» В.В. Охотина для глины Тюльганского месторождения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.8>

По приведенным выше данным можно сделать следующие выводы о гранулометрическом составе:

- сырье относится к группе глин, т.к. содержание частиц диаметром менее 5 мкм более 25%;
  - согласно диаграмме В.В. Охотина исследуемое сырье относится к группе пылеватых глин.
- Дообжиговые свойства глины представлены в таблице 4 [10].

Таблица 4 - Дообжиговые свойства глины Тюльганского месторождения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.9>

Наименование показателя	Усредненное значение
Граница текучести, %	38,25
Граница раскатывания, %	18,92
Число пластичности	19,33
Формовочная влажность, %	25,6
Воздушная усадка, %	10,00
Коэффициент чувствительности к сушке	2,77

По данным Таблицы 4 можно сделать выводы, что по числу пластичности опытные глины классифицируются как среднепластичные, а по величине коэффициента чувствительности к сушке глины относятся к высокочувствительному глинистому сырью.

Обжиговые свойства определялись при температуре 1000°C и представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Обжиговые свойства глины Тюльганского месторождения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.10>

Наименование показателя	Значение
Огневая усадка, %	1,56
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,76
Водопоглощение, %	15,36

Для изучения связующей способности глинистого сырья в качестве отощающей добавки использовался исследуемый бурый уголь Тюльганского месторождения. Связующая способность глинистого сырья оценивалась по изменению числа пластичности (см. таблицу 6).

Таблица 6 - Связующая способность глины Тюльганского месторождения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.11>

Содержание бурого угля в шихте, %	Число пластичности
5	18,43
10	16,77
15	15,87
20	14,97
25	14,07
30	13,34
40	12,78
50	11,39
60	10,43
70	9,48
80	7,56
90	6,61

Несмотря на то, что по числу пластичности максимальное содержание бурого угля в шихте может достигать до 80%, окончательные пропорции устанавливаются, опираясь также на другие результативные характеристики, одной из которых является величина водопоглощения готового образца.

Выводы по результатам исследования дообжиговых свойств шихты:

- по числу пластичности шихта классифицируется как среднепластичная;
- по величине коэффициента чувствительности к сушке образцы с содержанием бурого угля 5% можно характеризовать как высокочувствительные, остальные – среднечувствительные;
- с увеличением содержания бурого угля в шихте увеличивается формовочная влажность.

#### Заключение

Таким образом, по результатам комплекса анализов глины Тюльганского месторождения потенциально пригодны для изготовления керамического кирпича, так как обладают необходимыми физическими свойствами, а бурый уголь, в свою очередь, предварительно может выполнять роль добавки, так как положительно влияет на связующую способность глинистого сырья.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Рецензия

Вишторский Е.М., Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Российская Федерация

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.12>

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Review

Vishtorsky E.M., Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.78.12>

#### Список литературы / References

1. Коляда С.В. Перспективы развития производства строительных материалов в России до 2020 г. / С.В. Коляда // Строительные материалы. — 2008. — № 7. — с. 4–8.
2. Абдрахимов В.З. Аспекты использования отходов топливно-энергетического комплекса и химической промышленности в производстве керамического кирпича / В.З. Абдрахимов, А.В. Колпаков // Экология и промышленность России. — 2019. — Т. 23, № 1. — с. 11–14.
3. Турчанинов В.И. Технология стеновых материалов: учебное пособие / В.И. Турчанинов. — Оренбург : ИПК ГОУ, 2008. — 207 с.
4. Козлова А.Е. Исследование свойств сырья для производства керамических изделий: метод. указания студентам направления 270800.62 – «Строительство» / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; сост. А.Е. Козлова, А.А. Мольков, М.В. Базякин. — Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. — 25 с.
5. Габидуллин М.Г. Г 12 Керамические материалы: Методические указания к лабораторным работам по испытанию керамических материалов для студентов специальностей 2901, 2903, 2906, 2907, 2908, 2911, 2912, 2915 / Каз. гос. архитектур.-строит. акад.; сост. М.Г. Габидуллин, А.Г. Хузагарипов, А.В. Темляков. Казань. 2007. — 30 с.
6. Турчанинов В.И. О возможности производства лицевого керамического кирпича в Оренбургской области / В.И. Турчанинов, Л.В. Солдатенко // Промышленное и гражданское строительство. — 2017. — № 11. — с. 61–65.

7. Лукашевич Л.Н. Примеры применения физических явлений в горном деле. Часть 3. Оптика: учебно-методическое пособие к лекциям по дисциплине «Физика» для преподавателей кафедры физики и студентов всех специальностей / Л.Н. Лукашевич, О.В. Садырева, Л.К. Катанова. Екатеринбург : Издательство УГГУ, 2011. — 26 с.
8. Mosser-Ruck R. Effects of ethylene glycol saturation protocols on XRD patterns: a critical review and discussion / R. Mosser-Ruck, K. Devineau, D. Charpentier, M. Cathelineau // *Clays and Clay Minerals*. — 2005. — 53 (6). — p. 631–638.
9. Wildan M.W. Compressive Strength and Thermal Conductivity of Porous Mullite Ceramics / M.W. Wildan, F. Marpaung, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Ma-da. Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281, Indonesia. DOI: e-ISSN: 2716–1285, ISSN: 2714-9722.
10. Мазепа Ж.С. Исследование дообжиговых свойств изделий стеновой керамики на основе побочных продуктов разработки Тюльганского угольного месторождения / Ж.С. Мазепа, В.А. Гурьева, А.К. Мазепа // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2022 года. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2022. — с. 2589–2592.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Koljada S.V. Perspektivy razvitiya proizvodstva stroitel'nyh materialov v Rossii do 2020 g. [Prospects for the development of building materials' production in Russia until 2020] / S.V. Koljada // *Building materials*. — 2008. — № 7. — p. 4–8. [in Russian]
2. Abdrahimov V.Z. Aspekty ispol'zovaniya othodov toplivno-energeticheskogo kompleksa i himicheskoy promyshlennosti v proizvodstve keramicheskogo kirpicha [Aspects of utilization of wastes from fuel and energy complex and chemical industry in ceramic brick production] / V.Z. Abdrahimov, A.V. Kolpakov // *Ecology and industry in Russia*. — 2019. — T. 23, № 1. — p. 11–14. [in Russian]
3. Turchaninov V.I. Tehnologiya stenovykh materialov: uchebnoe posobie [Technology of wall materials: textbook] / V.I. Turchaninov. — Orenburg : IPK GOU, 2008. — 207 p. [in Russian]
4. Kozlova A.E. Issledovanie svoystv syr'ya dlja proizvodstva keramicheskikh izde-lij: metod. ukazaniya studentam napravleniya 270800.62 – «Stroitel'stvo» [Research of properties of raw materials for the production of ceramic products: method. instructions for students of the direction 270800.62 – "Construction"] / Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering; compiled by A.E. Kozlova, A.A. Molkov, M.V. Bazjakin. — Nizhny Novgorod : NNGASU, 2012. — 25 p. [in Russian]
5. Gabidullin M.G. G 12 Keramicheskie materialy: Metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam po ispytaniyu keramicheskikh materialov dlja studentov special'nostej 2901, 2903, 2906, 2907, 2908, 2911, 2912, 2915 [Ceramic materials: Methodical instructions for laboratory works on testing of ceramic materials for students of specialities 2901, 2903, 2906, 2907, 2908, 2911, 2912, 2915] / Kazan State Academy of Architecture and Civil Engineering; compiled by M.G. Gabidullin, A.G. Khuzagaripov, A.V. Temlyakov. Kazan. 2007. — 30 p. [in Russian]
6. Turchaninov V.I. O vozmozhnosti proizvodstva litseвого keramicheskogo kirpicha v Orenburgskoy oblasti [On the possibility of producing face ceramic bricks in Orenburg Oblast] / V.I. Turchaninov, L.V. Soldatenko // *Industrial and civil engineering*. — 2017. — № 11. — p. 61–65. [in Russian]
7. Lukashevich L.N. Primery primeneniya fizicheskikh javlenij v gornom dele. Chast' 3. Optika: uchebno-metodicheskoe posobie k lekcijam po discipline «Fizika» dlja prepodavatelej kafedry fiziki i studentov vseh special'nostej [Examples of applications of physical phenomena in mining. Part 3. Optics: textbook for lectures on the discipline "Physics" for teachers of the Department of Physics and students of all specialities] / L.N. Lukashevich, O.V. Sadyreva, L.K. Katanova. Yekaterinburg : Publishing House USGU, 2011. — 26 p. [in Russian]
8. Mosser-Ruck R. Effects of ethylene glycol saturation protocols on XRD patterns: a critical review and discussion / R. Mosser-Ruck, K. Devineau, D. Charpentier, M. Cathelineau // *Clays and Clay Minerals*. — 2005. — 53 (6). — p. 631–638.
9. Wildan M.W. Compressive Strength and Thermal Conductivity of Porous Mullite Ceramics / M.W. Wildan, F. Marpaung, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Ma-da. Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281, Indonesia. DOI: e-ISSN: 2716–1285, ISSN: 2714-9722.
10. Mazepa Zh.S. Issledovanie doobzhigovykh svoystv izdelij stenovoy keramiki na osnove pobochnykh produktov razrabotki Tjul'ganskogo ugol'nogo mestorozhdenija [Study of pre-firing properties of wall ceramics products based on by-products of Tyulganskoye coal deposit development] / Zh.S. Mazepa, V.A. Gur'eva, A.K. Mazepa // University complex as a regional centre of education, science and culture : Collection of materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference, Orenburg, 26–27 January 2022. — Orenburg : Orenburgskij gosudarstvennyj universitet, 2022. — p. 2589–2592. [in Russian]