

УДК 666.3:622.244

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 61.35.00

Научная специальность ВАК: 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов
(технические науки)

EDN YQJCAA

DOI 10.62980/2076-0655-2024-118-127

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКОГО РЯДОВОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Романюк В.С.¹, Климова Л.В.¹, Яценко Е.А.¹, Третьяк А.А.¹

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

АННОТАЦИЯ

Целью данных исследований является определение возможности использования буровых шламов с нефтяных месторождений ЮФО в качестве сырья для производства керамического рядового кирпича с максимальным содержанием их в сырьевой смеси за счет изучения их физико-химических свойств. Объектами исследований были выбраны: буровой шлам – отход добычи нефти Славянского месторождения (Краснодарский край) и глина (ВКВ-2) Владимирского карьера (Ростовская область). По результатам исследований сформулирована рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что комплексная переработка композиции минеральной составляющей отходов бурения и пластичной глины на этапах подготовки, формования, сушки обеспечивает в условиях низкотемпературного обжига соответствие физико-химических свойств кирпича требованиям ГОСТ 530–2018 и их сохранение в процессе длительной эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: техногенные отходы, буровой шлам, глина, рядовой кирпич, сырьевая смесь.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Романюк, В. С. Физико-химические свойства керамического рядового кирпича на основе отходов бурения нефтедобывающей отрасли / В. С. Романюк, Л. В. Климова, Е. А. Яценко, А. А. Третьяк // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 2. – С. 118-127.

Type of article - scientific article

OECD 2.04 Chemical engineering

II ENGINEERING, CHEMICAL

EDN YQJCAA

DOI 10.62980/2076-0655-2024-118-127

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF CERAMIC ORDINARY BRICK BASED ON DRILLING WASTE OF THE OIL PRODUCTION INDUSTRY

Romanyuk V.S.¹, Klimova L.V.¹, Yatsenko E.A.¹, Tretyak A.A.¹

¹ Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

ABSTRACT

The purpose of these studies is to determine the possibility of using drill cuttings from the oil fields of the Southern Federal District as a source for the production of ceramic ordinary bricks with their maximum content in the initial mixture to take into account their physical and chemical properties. The objects of study were: drill cuttings from the Slavyanskoye oil field (Krasnodar region) and clay (VKV-2) from of the Vladimirskiy quarry (Rostov region). Based on the research results, a working hypothesis has been formulated, which is that complex processing of the composition of the mineral component of drilling waste and plastic clay at the stages of preparation, molding, and drying ensures, under low-temperature firing conditions, compliance of the physical and chemical properties of brick with the requirements of GOST 530–2018 and their preservation during long-term operation.

KEY WORDS: technogenic waste, drill cuttings, clay, ordinary brick, raw material mixture.

FOR CITATION: Romanyuk, V. S. Research of the properties of ceramic ordinary brick based on drilling waste of the oil production industry / V. S. Romanyuk, L. V. Klimova, E. A. Yatsenko, A. A. Tretyak // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. – 31, No2. – Pp. 118 – 127.

ВВЕДЕНИЕ

По официальным данным на 2021-2023 гг. Россия занимает третье место среди лидеров по добыче нефти. Количество образовавшихся отходов от добычи нефти за год достигает нескольких миллионов тонн. Всего в ЮФО учтено 226 месторождения (150 нефтяных, 42 газонефтяных, 2 нефтегазовых и 32 нефтегазоконденсатных). Большая часть месторождений округа находится на поздней стадии разработки, выработаны и обводнены. Разработку месторождений углеводородного сырья на территории ЮФО осуществляют 49 предприятий, наиболее крупными из которых являются ОАО «Газпром», ОАО «НК «Роснефть», ОАО «ЛУКОЙЛ» и их дочерние компании [1-2].

В процессе добычи нефти возникает одна из серьезных проблем для экологии нашей страны – увеличение объема не перерабатываемых техногенных отходов, от большого объема которых избавиться полностью достаточно сложно. Вследствие чего они накапливаются годами и оказывают пагубное влияние на экосистему нашей страны, чем вызывают необходимость способствовать уменьшению накапливаемых отходов данного типа или даже их полной утилизации. К таким отходам относятся буровые шламы.

Существует еще одна не менее важная проблема – истощение запасов месторождений глинистого сырья, используемого в производстве керамических строительных материалов. На российском рынке данная продукция имеет большой спрос, так как она обладает долговечным сроком службы. Одним из таких материалов является рядовой кирпич – самый распространенный и широко используемый в строительстве. В связи с тем, что месторождения глин исчерпываются, становится востребованным поиск решений данной проблемы, направленный на разработку новых ресурсосберегающих технологий.

Актуальность исследований заключается в необходимости разработки ресурсосберегающей технологии изготовления рядового керамического кирпича на основе отходов бурения нефтяных скважин в рамках «Стратегического развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2035 году», в котором одним из направлений является развитие высоколиквидной минерально-сырьевой базы для действующих и формируемых минерально-сырьевых центров, обеспечивающей решение проблемы экологической безопасности при обращении с буровыми отходами нефте- и газодобычи.

В рамках исследований, направленных на изучение бурового шлама – отхода добычи нефти, способов его утилизации и применения в производстве строительных керамических материалов, рядом ученых были опубликованы научные работы.

Исследования, связанные с изучением минералогического, элементного состава и токсичности буровых шламов, были опубликованы Климовой А.А., Язиковой Е.Г. и Шайхиевой И.Р. [3]. В ходе эксперимента было выявлено, что максимальная доля буровых шламов приходится на кварц и каликатровые полевые шпаты, а глинистая составляющая представлена каолинитом, иллитом и вермикулитом. Выявлена повышенная концентрация химических элементов, относящихся к I - III классам

INTRODUCTION

According to official data for 2021-2023. Russia ranks third among the leaders in oil production. The amount of waste generated from oil production per year reaches several million tons. In total, 226 fields are taken into account in the Southern Federal District (150 oil, 42 gas and oil, 2 oil and gas and 32 oil and gas condensate). Most of the district's fields are at a late stage of development, depleted and watered. The development of hydrocarbon deposits in the SFD is carried out by 49 enterprises, the largest of which are Gazprom Open Joint Stock Company, Rosneft Open Joint Stock Company, LUKOIL Open Joint stock Company and their subsidiaries [1-2].

In the process of oil production, one of the serious problems for the ecology of our country arises - an increase in the volume of non-recyclable technogenic waste, a large volume of which is quite difficult to completely get rid of. As a result, they accumulate for years and have a detrimental effect on the ecosystem of our country, which necessitates the need to help reduce the accumulated waste of this type or even their complete disposal. Such waste includes drill cuttings.

There is another equally important problem - the depletion of deposits of clay raw materials used in the production of ceramic building materials. In the Russian market, these products are in great demand, as they have a long service life. One of these materials is ordinary brick - the most common and widely used in the construction of external walls and load-bearing partitions. Due to the fact that clay deposits are being depleted, the search for solutions to this problem, aimed at developing new resource-saving technologies, becomes in demand.

The relevance of the research lies in the need to develop resource-saving technology for the production of ordinary ceramic bricks based on oil drilling waste within the framework of the «Strategic development of the mineral resource base of the Russian Federation in 2035», in which one of the directions is the development of a highly liquid mineral resource base for existing and emerging mineral resource centers, providing a solution to the problem of environmental safety when handling drilling waste from oil and gas production.

As part of research aimed at studying drilling waste from oil fields, methods of their disposal and use in the production of building materials, in particular ordinary ceramic bricks, as well as their physical, chemical and technological properties, a number of scientists published scientific works.

Research related to the study of the mineralogical, elemental composition and toxicity of drill cuttings was published by Klimova A.A., Yazikova E.G. and Shaikhiyeva I.R. [3]. During the experiment, it was revealed that the maximum proportion of drill cuttings is quartz and potassium feldspars, and the clay component is represented by kaolinite, illite and vermiculite. An increased concentration of chemical elements belonging to hazard classes I - III was revealed, therefore, the total pollution indicator refers to a low or medium degree of pollution. Mineral phases of elements such as Fe, Pb, Zn, Ba, Cu and Ti were discovered. The samples of drill cuttings under study are classified as low-hazard,

опасности, следовательно, суммарный показатель загрязнения относится к низкой или средней степени загрязнения. Были обнаружены минеральные фазы таких элементов как, Fe, Pb, Zn, Ba, Cu и Ti. Исследуемые пробы бурового шлама относятся к малоопасным, практически неопасным отходам и не являются потенциально токсичными.

Ученые Пермского национального исследовательского политехнического университета Зильберман М.В., Пичугин Е.А., Черепанов М.В. и др. [4-5] разработали способ обезвреживания бурового шлама, путем получения из него строительного материала. Данный способ включает в себя термическую обработку бурового шлама и получение гравия, щебня, керамзита. Техническим результатом является обезвреживание и утилизация бурового шлама, возможность получения строительных материалов с разными свойствами - плотных с высокой прочностью или пористых.

Ученые Оренбургского государственного университета Гурьева В.А., Дубинецкий В.В. и Вдовин К.М. [6-7] разработали шихту для изготовления керамического рядового кирпича. Труды молодых ученых направлены на изучение нового способа обезвреживания бурового нефтяного шлама Оренбургской области, Башкирского горизонта 2100 – 2200 м и 3700 – 3850 м Пашийского горизонта. Полученное в ходе экспериментов соотношение компонентов шихты для изготовления керамического рядового кирпича следующее масс. %: глина легкоплавкая 67-50 %, буровой шлам (содержание CaO 21,28 %) 30-45 %, стеклобой 3-5 %. Техническим результатом является повышение прочности и снижение водопоглощения.

В результате анализа научных работ установлено, что в производстве строительной керамики отходы нефтепереработки – минеральная составляющая отходов бурения (буровой шлам) ранее применялись в количестве до 45 % в сочетании со стеклобоем. Буровые отходы с месторождений нефти ЮФО в рассматриваемых трудах не применялись в качестве сырьевого компонента в технологии производства рядового керамического кирпича. Это указывает на перспективность исследуемой темы.

Объектами исследований для данной статьи были выбраны: буровой шлам – отход добычи нефти Славянского месторождения (Краснодарский край) и глина (ВКВ-2) Владимировского карьера (Ростовская область) для определения возможности применения шлама как сырьевого компонента при производстве керамического рядового кирпича. Все исследования проводились в лаборатории «Рециклинг отходов топливной энергетики» и ЦКП «Нанотехнологии» на базе Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова.

Цель или задачи исследования:

Целью данных исследований является определение возможности использования буровых отходов нефтяных месторождений ЮФО в качестве сырья для производства керамического рядового кирпича с максимальным содержанием их в сырьевой смеси за счет изучения их физико-химических свойств.

В соответствии с целью работы была установлена задача: получение, в процессе синтеза, керамического рядового кирпича с использованием в сырьевом составе

практически non-hazardous waste and are not potentially toxic.

Scientists of the Perm National Research Polytechnic University Zilberman M.V., Pichugin E.A., Cherepanov M.V. and others [4-5] developed a method for neutralizing drill cuttings by obtaining building material from it. This method includes heat treatment of drill cuttings and the production of gravel, crushed stone, and expanded clay. The technical result is the neutralization and disposal of drill cuttings, the possibility of obtaining building materials with different properties - dense with high strength or porous.

Scientists of the Orenburg State University Guryeva V.A., Dubinetsky V.V. and Vdovin K.M. [6-7] developed a mixture for the production of ceramic ordinary bricks. The works of young scientists are aimed at studying a new method for neutralizing drilling oil sludge from the Orenburg region, the Bashkir horizon 2100 - 2200 m and 3700 - 3850 m Pashiysky horizon. The ratio of the components of the charge for the production of ceramic ordinary bricks obtained during the experiments is as follows: mass. %: fusible clay 67-50 %, drill cuttings (CaO content 21,28 %) 30-45 %, cullet 3-5 %. The technical result is an increase in strength and a decrease in water absorption.

As a result of the analysis of scientific works, it was established that in the production of building ceramics, oil refining waste - the mineral component of drilling waste (drill cuttings) was previously used in quantities of up to 45 % in combination with cullet. In the works under review, drilling waste from the oil fields of the Southern Federal District was not used as a raw material component in the production technology of ordinary ceramic bricks. This indicates the prospects of the topic under study.

The objects of research for this article were: drill cuttings from the Slaviansk oil field (Krasnodar region) and clay (VKV-2) from the Vladimirovsky quarry (Rostov region) to determine the possibility of using the cuttings as a raw material component in the production of ceramic ordinary bricks. All studies were carried out in the laboratory «Recycling of fuel energy waste» and the shared use center «Nanotechnologies» on the basis of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI).

The purpose or objectives of the study:

The purpose of these studies is to determine the possibility of using drill cuttings from the oil fields of the Southern Federal District as raw materials for the production of ceramic ordinary bricks with their maximum content in the raw material mixture by studying their physical and chemical properties.

In accordance with the purpose of the work, the task was established: obtaining, in the process of synthesis, ceramic ordinary bricks using clays and drill cuttings in the raw material composition, the physical and chemical characteristics of which satisfy the conditions imposed according to GOST 530-2018 (GOST 530-2018 «Brick and ceramic stone. General technical conditions») (In Russian) [8].

Materials and methods of research

In the production of ceramic ordinary bricks, strict requirements are imposed on the quality of raw materials,

глин и бурового шлама, физико-химические характеристики которого удовлетворяют условиям, предъявляемым по ГОСТ 530-2018 (ГОСТ 530-2018 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия») [8].

Материалы и методы исследования

В производстве керамического рядового кирпича жесткие требования предъявляются к качеству сырья, что определяет способ подготовки исходных материалов и формования изделия-сырца, условия сушки и обжига. Совокупность технологических режимов на основных переделах позволяет достигать физико-химических свойств кирпича, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 530-2018.

При проведении исследований в качестве основного компонента использовалось глинистое сырье Владимировского месторождения (глина ВКВ-2), расположенное в Ростовской области. Для регулирования технологических свойств керамического кирпича в качестве компонента сырьевой смеси применялись попутные продукты – отходы бурения скважин с объектов Славянского месторождения нефти (Краснодарский край).

Исследования химического состава исследуемого сырья проводились методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (XRF) на вакуумном спектрометре последовательного действия модели PW2400 путем плавления проб со смесью боратов лития. Потеря массы при прокаливании определялась по методике Научного совета по аналитическим методам исследований с помощью вторичной ионной масс-спектрометрии (НСАМ, ВИМС) 418-Х при температуре 1050 °С [9]. В ходе определения химического состава бурового шлама и глины были получены следующие данные, представленные в таблице 1

which determines the method of preparing source materials and molding the raw product, drying and firing conditions. The set of technological modes at the main stages makes it possible to purposefully control the structural-phase transformations of raw materials and raw products to achieve physical and chemical properties of bricks that meet the requirements of GOST 530-2018.

When conducting research, clay raw materials from the Vladimirovskoe deposit (VKV-2 clay), located in the Rostov region, were used as the main component. To regulate the technological properties of clay raw materials, the phase and structure formation of ceramic bricks, by-products were used as a component of the raw material mixture - well drilling waste from the Slavyansk oil field (Krasnodar Territory).

Studies of the chemical composition of the studied raw materials were carried out by X-ray spectral fluorescence analysis (XRF) on a sequential vacuum spectrometer of the PW2400 model by melting samples with a mixture of lithium borates. Mass loss during calcination was determined according to the methodology of the Scientific Council on Analytical Research Methods using secondary ion mass spectrometry 418-X at a temperature of 1050 °C [9]. In the course of determining the chemical composition of drilling waste and clay, the following data were obtained, presented in Table 1.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БУРОВОГО ШЛАМА И ГЛИНЫ
Table 1. Chemical composition of drilling waste and clay

Материал Material	Содержание, масс. % Content, mass %											
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	BaSO ₄	П.П.П. Losses
Глина (ВКВ-2) Clay (VKV-2)	-	0,79	20,88	64,25	-	0,74	1,14	4,48	-	-	-	7,72
Буровой шлам Drilling waste	1,47	0,79	5,41	22,72	0,91	4,44	0,26	3,19	0,11	0,11	50,59	10,01

По результатам анализа химического состава бурового шлама, было выявлено значительное содержание в нем основного оксида BaSO₄ - 50,59 %, который применяется в качестве утяжелителя бурового раствора при добыче нефти. Также в буровом шламе наблюдается SiO₂ – 22,72 % и небольшое количество Al₂O₃ – 5,41 %, в глине – 64,25 % и 20,88 % соответственно, которые служат отощителями. Fe₂O₃ в буровом шламе 3,19 %, в глине – 4,48 %, который выступает красителем. Содержание MgO и в буровом шламе, и в глине равное 0,79 %, а содержание CaO и TiO₂, составляет не более 5 %. Несмотря на то, что химический состав бурового шлама отличается от химического состава глины, наличие глинообразующих оксидов в нем дает возможность применять буровой шлам в

Based on the results of the analysis of the chemical composition of drill cuttings, a significant content of the main oxide BaSO₄ was revealed – 50,59 %, which is used as a weighting agent for drilling mud in oil production. Also in the drill cuttings there is SiO₂ – 22,72 % and a small amount of Al₂O₃ – 5,41 %, in clay – 64,25 % and 20,88 %, respectively, which serve as thinners. Fe₂O₃ in drill cuttings is 3,19 %, in clay – 4,48 %, which acts as a dye. The MgO content in both drill cuttings and clay is equal to 0,79 %, and the content of CaO and TiO₂ is no more than 5 %. Despite the fact that the chemical composition of drill cuttings differs from the chemical composition of clay, the presence of clay-forming oxides in it makes it possible to use drill cuttings as a raw material component in the production of ordinary bricks, with full or partial replacement of clay.

качестве сырьевого компонента в производстве рядового кирпича, с полной или частичной заменой глины.

Для определения фазового состава образцы бурового шлама и глины были измельчены и исследованы с помощью рентгеновского порошкового дифрактометра ARL X'TRA (Thermo Fisher Scientific), входящего в ЦКП «Нанотехнологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова. Интерпретация полученных данных проводилась с использованием базы данных ICDD (The International Center for Diffraction Data). На рисунке 1 представлены результаты рентгенофазового анализа бурового шлама и глины (ВКВ-2).

РИСУНОК 1

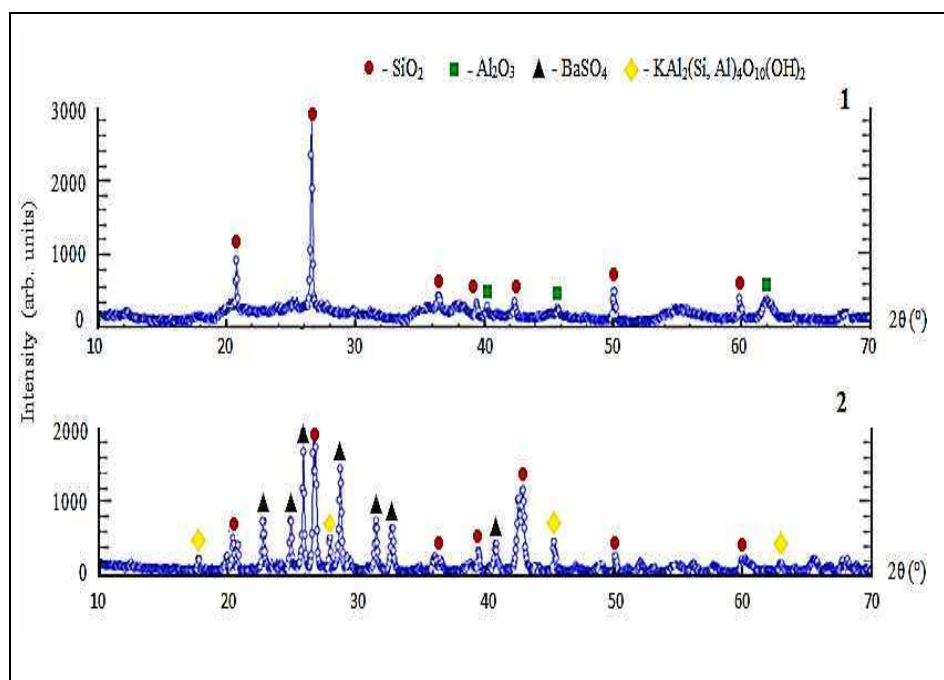
РЕНТГЕНОГРАММЫ ОБРАЗЦОВ:

1 – глина ВКВ-2,
2 – буровой шлам
○ – β-кварц; □ – α-корунд; Δ – барит;
◇ – мусковит

Figure 1

X-ray diffraction patterns of samples:

1 - clay VKV-2,
2 - drilling waste
○ – β-quartz; □ – α-corundum; Δ – barite;
◇ – muscovite



В исследуемой глине ВКВ-2 основной фазой выступает кварц (SiO_2), представленный в модификации β - SiO_2 . В формировании кристаллических фаз большую роль играет количество Al_2O_3 , находящийся в виде α -корунда в количестве 20,88 %.

Анализ рентгенограммы бурового шлама показал, что основной фазой в нем является барит (BaSO_4), который повышает плотность материала [10]. Другими фазами являются β -кварц (SiO_2) и в небольшом количестве мусковит ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

Наличие основной фазы β -кварца в составе исследуемого бурового шлама свидетельствует о возможности его использования в качестве сырья при производстве керамического строительного кирпича.

В связи с поставленными целями и задачами исследования, для определения возможности использования бурового шлама в качестве сырья для производства керамического рядового кирпича необходимо изучить и определить физико-химические свойства данного сырья такие как: число пластичности, формовочную влажность, плотность, полную усадку и водопоглощение.

Определение числа пластичности проводилось на приборе Васильева и в соответствии с ГОСТ 5180-2015 (ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик») [11]. Для этого влажности материала (%) в состоянии верхнего предела

To determine the phase composition, samples of drill cuttings and clay were crushed and examined using an ARL X'TRA X-ray powder diffractometer (Thermo Fisher Scientific), part of the shared use center «Nanotechnologies» on the basis of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). The interpretation of the obtained data was carried out using the ICDD database (The International Center for Diffraction Data). Figure 1 shows the results of X-ray phase analysis of drill cuttings from the Slavyanskoye oil and clay deposit of the Vladimirovskoye field (VKV-2).

In the studied VKV-2 clay, the main phase is quartz (SiO_2), presented in the β - SiO_2 modification. The amount of Al_2O_3 , which is in the form of α -corundum in an amount of 20,88 %, plays an important role in the formation of crystalline phases.

Analysis of the X-ray diffraction pattern of drill cuttings showed that the main phase in it is barite (BaSO_4), which increases the density of the material [10]. Other phases are β -quartz (SiO_2) and a small amount of muscovite ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

The presence of the main phase of β -quartz in the composition of the drill cuttings under study indicates the possibility of its use as a raw material in the production of ceramic building bricks.

In connection with the goals and objectives of the study, in order to determine the possibility of using drill cuttings as a raw material for the production of ceramic ordinary bricks, it is necessary to study and determine the physical and chemical properties of this raw material such as: plasticity number, molding moisture content, density, complete shrinkage and water absorption.

The determination of the plasticity of the studied raw materials was carried out using a Vasiliev device and in accordance with GOST 5180-2015 (GOST 5180-2015 «Soils. Methods for laboratory determination of physical characteristics») (in Russian) [11]. For this, the moisture content of the material

пластичности находят стандартным весовым методом по формуле 1:

$$W_m = \frac{g_1 - g_2}{g_2} \cdot 100 \% \quad (1)$$

где: g_1 – масса влажной пробы, г;
 g_2 – масса влажной пробы, высушенной при температуре 105-110 °С, г.

Определение нижнего предела пластичности производят на границе раскатывания, при которой жгуты рассыпаются на отдельные, не соединяющиеся между собой части. Для определения влажности материала (%) в состоянии нижнего предела пластичности используют формулу 2:

$$W_p = \frac{g_3 - g_4}{g_4} \cdot 100 \% \quad (2)$$

где: g_3 – масса влажной пробы, г;
 g_4 – масса влажной пробы, высушенной при температуре 105-110 °С, г.

Значение числа пластичности находится как среднее из двух определений. Число пластичности П (%) определяется по формуле 3:

$$П = W_m - W_p \quad (3)$$

Результаты определения числа пластичности бурового шлама и глины представлены в таблице 2.

(%) in the state of the upper limit of plasticity is determined by the standard weight method according to formula 1:

where: g_1 – mass of wet sample, g;
 g_2 – mass of wet sample dried at a temperature of 105-110 °С, g.

The determination of the lower limit of plasticity is carried out at the rolling boundary, at which the bundles crumble into separate parts that are not interconnected. To determine the moisture content of the material (%) in the state of the lower limit of plasticity, use formula 2:

where: g_3 – mass of wet sample, g;
 g_4 – mass of wet sample dried at a temperature of 105-110 °С, g.

The value of the plasticity number is found as the average of two definitions. The plasticity number P (%) is determined by formula 3:

The results of determining the plasticity number of drilling waste and clay are presented in Table 2.

ТАБЛИЦА 2. ПЛАСТИЧНОСТЬ БУРОВОГО ШЛАМА И ГЛИНЫ
Table 2. Plasticity of drilling waste and clay

Материал Material	№ навески и number of the sample	Влажность в состоянии верхнего предела пластичности (W_m), % Upper limit of plasticity W_m , %	$W_{т\text{ ср.}}$, % $W_{м\text{ ср.}}$, %	Влажность в состоянии нижнего предела пластичности (W_p), % Lower limit of plasticity W_p , %	$W_{п\text{ ср.}}$, % $W_{р\text{ ср.}}$, %	Число пластичности (П), % Plasticity number P, %	$П_{ср.}$, % $Р_{\mu}$, %
Глина (ВКВ-2) Clay (VKV-2)	1	60,15	63,39	30,19	33,60	29,95	29,79
	2	61,11		33,53		27,58	
	3	68,91		37,07		31,84	
Буровой шлам Drilling waste	1	28,80	29,40	14,78	14,83	14,01	14,57
	2	29,31		14,69		14,62	
	3	30,10		15,01		15,09	

Из таблицы 2 видно, число пластичности глины ВКВ-2 и бурового шлама равно 29,79 % и 14,57 % соответственно. Следовательно, глина относится к классу высокопластичных материалов, а буровой шлам – умереннопластичный, согласно классификации в зависимости от числа пластичности глинистых материалов по ГОСТ 9169–2021 (ГОСТ 9169–2021 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация») [12]. Следует обратить внимание, что число пластичности бурового шлама в 2 раза меньше числа пластичности глины, но несмотря на это находится в допустимых пределах согласно классификации. В связи с вышеизложенным можно считать буровой шлам пригодным для производства керамического кирпича.

Для определения формовочной влажности и получения опытных образцов был произведен расчет керамической шихты, состоящей из бурового шлама и глины в процентном соотношении глины к шламу: 30:70, 40:60, 50:50.

From Table 2 it can be seen that the plasticity number of VKV-2 clay and drill cuttings is equal to 29,79 % and 14,57 %, respectively. Consequently, clay belongs to the class of highly plastic materials, and drill cuttings are moderately plastic, according to the classification depending on the plasticity number of clay materials according to GOST 9169–2021 (GOST 9169–2021 «Clay raw materials for the ceramic industry. Classification») (in Russian) [12]. It should be noted that the plasticity number of drill cuttings is 2 times less than the plasticity number of clay, but despite this it is within acceptable limits according to the classification. In connection with the above, drill cuttings can be considered suitable for the production of ceramic bricks.

To determine the molding moisture content and obtain prototypes, a calculation was made of a ceramic charge consisting of drill cuttings and clay in the percentage ratio of clay to cuttings: 30:70, 40:60, 50:50.

The value of molding moisture was determined using the generally accepted weight method. The soaked and mixed

Величина формовочной влажности была определена по общепринятому весовому способу. Замоченный и перемешанный материал сбивают в брикет и оставляют для вылеживания во влажной ткани в течение 24-48 ч. Затем отбирают навеску, которую помещают в металлический бюкс, взвешивают и высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105-110 °С. Высушенную пробу охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Расчет относительной (формула 4) и абсолютной влажности (формула 5) производят:

$$W_{\text{отн.}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \% \quad (4)$$

$$W_{\text{абс.}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \% \quad (5)$$

где: m_1 – масса влажной навески (без массы бюкса), г; m_2 – масса абсолютно сухой навески (без массы бюкса), г.

Для формования лабораторных образцов исследуемое сырье предварительно просушивалось до остаточной влажности 4-6 %, с дальнейшим измельчением и просеиванием на сите 008. Было отформовано 3 серии образцов с последующей сушкой и обжигом при температурах 900, 950 и 1000 °С. В процессе обжига температура повышалась со скоростью 3 °/мин и при конечной температуре была выдержка в течение 30 минут. Охлаждение естественное, продолжительностью не менее 10 часов (ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний») [13].

Эксперименты и обсуждение результатов

В соответствии с ГОСТ 21216-2014 и ГОСТ 7025-91 (ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости») [14] для изготовленных образцов были определены физико-химические свойства. Результаты исследования представлены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ
Table 3. Physical and chemical properties of samples

Свойства Properties		Состав образцов (отношение глина:буровой шлам), % Composition of samples (ratio of clay to drilling waste)								
		50:50			40:60			30:70		
		Температура обжига образцов, °С Sample firing temperature, °С								
		900	950	1000	900	950	1000	900	950	1000
Формовочная влажность, % Molding humidity, %	Абс-я Absolute	26,83			24,39			23,18		
	Отн-я Relative	21,15			19,61			18,82		
Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³		1946,1	1947,0	1947,4	1990,5	1992,2	1995,2	2044,2	2058,4	2061,6
Полная объемная усадка, % Full volumetric shrinkage, %		25,27	27,25	28,97	23,94	25,03	25,37	21,14	23,3	23,41
Водопоглощение, % Water absorption, %		11,98	10,95	10,52	11,95	11,11	10,72	11,27	11,00	10,67

Значение формовочной влажности влияет на способ производства керамического кирпича, а также является одним из важных показателей при выборе оптимального режима сушки сырца. Так с уменьшением показателя влажности, скорость сушки повышается, а ее длительность снижается, в связи с чем процесс усадки протекает

material is knocked into a briquette and left to sit in a damp cloth for 24-48 hours. Then a sample is taken, placed in a metal bottle, weighed and dried to a constant weight in a drying cabinet at a temperature of 105-110 °C. The dried sample is cooled in a desiccator and weighed. Calculation of relative (formula 4) and absolute humidity (formula 5) is carried out:

where: m_1 is the mass of the wet sample (without the mass of the bottle), g; m_2 – mass of absolutely dry sample (without bulk weight), g.

To form laboratory samples, the raw materials under study were pre-dried to a residual moisture content of 4-6 %, with further grinding and sifting on a 008 sieve. 3 series of samples were molded, followed by drying and firing at temperatures of 900, 950 and 1000 °C. During the firing process, the temperature increased at a rate of 3 °/min and was held at the final temperature for 30 minutes. Natural cooling, lasting at least 10 hours (GOST 21216-2014 «Clay raw materials. Test methods») (in Russian) [13].

Experiments and discussion

In accordance with GOST 21216-2014 and GOST 7025-91 (GOST 7025-91 «Ceramic and silicate bricks and stones. Methods for determining water absorption, density and frost resistance control») (in Russian) [13], the physical and chemical properties of the manufactured samples were determined. The results of the study are presented in Table 3.

The value of molding humidity affects the method of producing ceramic bricks, and is also one of the important indicators when choosing the optimal drying mode for raw bricks. So, with a decrease in humidity, the drying speed increases and its duration decreases, and therefore the shrinkage process proceeds evenly without the formation of cracks

равномерно без образования трещин и сколов. Обращая внимание на показатели формовочной влажности (таблица 3) экспериментальных смесей, наблюдается обратная зависимость: с повышением содержания в составе бурового шлама влажность смеси уменьшается и наоборот. Из этого следует, что буровой шлам может использоваться в сырьевой смеси при пластическом способе формования, так как формовочная влажность при таком способе составляет 18-28 %.

В соответствии с ГОСТ 530–2018 испытуемые образцы относятся к группе обыкновенных изделий по теплотехническим характеристикам в зависимости от значения плотности и соответствуют классу средней плотности рядового кирпича с показателями 2,4-2,0. Показатель плотности напрямую зависит от содержания в сырьевой смеси бурового шлама, с увеличением его процента в керамической массе, плотность повышается.

Исходя из расчетов полной объемной усадки образцов можно заметить, с повышением содержания бурового шлама в смеси показатель усадки снижается. Если рассматривать каждый состав в отдельности, то с повышением температуры обжига усадка возрастает. Так состав с содержанием бурового шлама 50 % и температурой обжига 1000 °C обладает самым высоким показателем усадки – 28,97 %. Состав, в котором бурового шлама 70 % и температура обжига 900 °C, имеет самую низкую усадку – 21,14 %.

Водопоглощение рядового кирпича должно быть не менее 5 % (ГОСТ 530–2018). Этот показатель зависит от температуры обжига, а также показателя плотности образцов. Согласно результатам исследований (таблица 3), с повышением содержания бурового шлама, показателя плотности и температуры обжига образцов – значение водопоглощения снижается в допустимых пределах по ГОСТ 530–2018.

Заключение

По результатам исследований были сделаны следующие выводы:

– анализ химического и фазового состава, а также определение числа пластичности бурового шлама, свидетельствуют о возможности его использования в качестве глинозамещающего сырья в керамической массе [15];

– комплексная переработка композиции бурового шлама и глины на этапах подготовки, формования, сушки и обжига обеспечивает в условиях низкотемпературного обжига соответствие физико-химических свойств кирпича требованиям ГОСТ 530–2018 [16];

– состав смеси с содержанием бурового шлама 60 % и температурой обжига 950 °C является оптимальным по показателям исследуемых свойств: формовочная влажность – 19,61 %, плотность – 1992,2 г/см³, объемная усадка – 25,03 %, водопоглощение – 11,11 %.

Литература:

1. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы ЮФО на 2021 г.: URL: <https://www.rosnedra.gov.ru> (дата обращения: 23.11.2023 г.)
2. Динамика промышленного производства в 2022-2023 гг.: URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 23.11.2023 г.)

and chips. Paying attention to the indicators of molding moisture content (Table 3) of experimental mixtures, an inverse relationship is observed: with an increase in the content of drill cuttings, the moisture content of the mixture decreases and vice versa. It follows from this that drill cuttings can be used in the raw material mixture using the plastic molding method, since the molding moisture content with this method is 18-28 %.

In accordance with GOST 530–2018, the tested samples belong to the group of ordinary products in terms of thermal characteristics depending on the density value and correspond to the class of average density of ordinary bricks with indicators of 2,4-2,0. The density indicator directly depends on the content of drill cuttings in the raw material mixture; with an increase in its percentage in the ceramic mass, the density increases.

Based on calculations of the total volumetric shrinkage of the samples, it can be seen that with an increase in the content of drill cuttings in the mixture, the shrinkage rate decreases. If we consider each composition separately, then with increasing firing temperature the shrinkage increases. Thus, a composition with a drill cuttings content of 50 % and a firing temperature of 1000 °C has the highest shrinkage rate – 28,97 %. The composition, which contains 70% drill cuttings and a firing temperature of 900 °C, has the lowest shrinkage – 21,14 %.

The water absorption of ordinary bricks must be at least 5 % (GOST 530–2018). This indicator depends on the firing temperature, as well as the density of the samples. According to the research results (Table 3), with an increase in the content of drill cuttings, density indicator and firing temperature of samples, the value of water absorption decreases within acceptable limits according to GOST 530–2018.

Conclusions

Based on the research results, the following conclusions were made:

– analysis of the chemical and phase composition, as well as determination of the plasticity number of drill cuttings, indicate the possibility of its use as a clay-substituting raw material in ceramic mass [15];

– complex processing of the composition of drill cuttings and clay at the stages of preparation, molding, drying and firing ensures, under low-temperature firing conditions, compliance of the physical and chemical properties of bricks with the requirements of GOST 530-2018 [16];

– the composition of the ceramic mixture with a drill mud content of 60 % and a firing temperature of 950 °C is optimal in terms of the properties being studied: molding humidity – 19,61 %, density – 1992,2 g/cm³, volumetric shrinkage – 25,03 %, water absorption – 11,11 %.

References:

1. Information on the state and prospects for using the mineral resource base of the Southern Federal District for 2021: URL: <https://www.rosnedra.gov.ru> (date of access: November 23, 2023) (in Russian).

3. Климова А.А., Язиков Е.Г., Шайхиев И.Р. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтяных месторождений на примере объектов томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 2., стр. 102–114.
4. Зильберман М.В., Пичугин Е.А., Черепанов М.В., Шенфельд Б.Е., Козлова Г.А. Свойства буровых шламов и возможные направления их утилизации // Башкирский экологический вестник. 2013, № 2 (35), стр. 10–14.
5. Пичугин, Е.А. Технология утилизации буровых шламов с получением экологически чистого дорожно-строительного материала // Молодой ученый. 2013, № 9 (56), стр. 124–126.
6. Гурьева, В.А., Бутримова Н.В., Дорошин А.В., Дубинецкий В.В., Вдовин К.М. Эколого-экономический эффект применения нефтешламов при производстве керамического кирпича // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №11. С. 50–52.
7. Дубинецкий, В.В., Вдовин К.М., Бутримова Н.В. Синтез модифицированного керамического материала на базе кальцийсодержащего техногенного сырья // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – №11. – С. 66–71.
8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 530-2018. Кирпич и керамический камень. Основные характеристики. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). – М.: Стандартинформ, 2018.
9. Альмяшев В.И. и Гусаров В.В. Термические методы анализа: учеб. пособие // СПбГТУ (ЛЭТИ). - СПб, 1999, с. 40.
10. Патент РФ № 2006116694/03, 15.05.2006. Утяжеленный буровой раствор // Патент России № 2315076С1. 2008. Бюл. № 2. / Гасумов Р.А., Перейма А.А., Черкасова В.Е.
11. Межгосударственный стандарт ГОСТ 5180-2015. Почвы. Методы лабораторного определения физических характеристик. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). – М.: Стандартинформ, 2015.
12. Межгосударственный стандарт ГОСТ 9169-2021. Глинистое сырье для керамической промышленности. Классификация. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). – М.: Стандартформа, 2021.
13. Межгосударственный стандарт ГОСТ 21216-2014. Сырье – глина. Методы испытаний. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ИГС). – М.: Стандартинформ, 2014.
14. Межгосударственный стандарт ГОСТ 7025-91. Керамический и силикатный кирпич и камни. Методы определения водопоглощения, контроля плотности и морозостойкости. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ИГС). – М.: Стандартинформ, 2006.
15. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Chumakov A.A., Vilbitskaya N.A., Wensheng Li. Research on the synthesis of propants applied for oil production by the method of hydraulic facing // Materials Science Forum. – 2021. Vol. 1037. – pp. 181–188.
16. Klimova L.V., Smoliy V.A., Romanyuk V.S..The use of drilling waste in the production of ceramic building materials // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. Vol. 1061.
2. Dynamics of industrial production in 2022-2023: URL: <https://rosstat.gov.ru> (access date: November 23, 2023) (in Russian).
3. Klimova A.A., Yazikov E.G., Shaikhiev I.R. Mineralogical and geochemical specificity of drill cuttings from oil fields using the example of objects in the Tomsk region // *News of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*. 2020. T. 331. No. 2., pp. 102–114 (in Russian).
4. Zilberman M.V., Pichugin E.A., Cherepanov M.V., Shenfeld B.E., Kozlova G.A. Properties of drill cuttings and possible directions for their disposal // *Bashkir ecological bulletin*. 2013, no. 2 (35), pp. 10–14 (in Russian).
5. Pichugin, E.A. Technology for recycling drill cuttings to produce environmentally friendly road-building materials // *Young scientist*. 2013, no. 9 (56), pp. 124–126 (in Russian).
6. Guryeva, V.A., Butrimova N.V., Doroshin A.V., Dubinetsky V.V., Vdovin K.M. Ecological and economic effect of using oil sludge in the production of ceramic bricks // *International scientific research journal*. – 2016. – No. 11. pp. 50–52 (in Russian).
7. Dubinetsky, V.V., Vdovin K.M., Butrimova N.V. Synthesis of modified ceramic material based on calcium-containing technogenic raw materials // *Industrial and civil construction*. – 2017. – №11. – P. 66–71 (in Russian).
8. Interstate standard GOST 530-2018. Brick and ceramic stone. General specifications. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (IGU). – М.: Standartinform, 2018 (in Russian).
9. Al'myashov V.I. and Gusarov V.V. Thermal methods of analysis: textbook. Allowance // SPbGTU (LETI). - St. Petersburg, 1999, p. 40 (in Russian).
10. RF Patent No. 2006116694/03, 05.15.2006. Weighted drilling fluid // Russian Patent No. 2315076C1. 2008. Bull. No. 2. / Gasumov R.A., Pereyima A.A., Cherkasova V.E. (in Russian).
11. Interstate standard GOST 5180-2015. Soils. Methods for laboratory determination of physical characteristics. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (IGU). – М.: Standartinform, 2015 (in Russian).
12. Interstate standard GOST 9169-2021. Clay raw materials for the ceramic industry. Classification. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (IGU). – М.: Standartinform, 2021 (in Russian).
13. Interstate standard GOST 21216-2014. The raw material is clay. Test methods. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (IGS). – М.: Standartinform, 2014 (in Russian).
14. Interstate standard GOST 7025-91. Ceramic and silicate bricks and stones. Methods for determining water absorption, density and frost resistance control. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (IGS). – М.: Standartinform, 2006 (in Russian).
15. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Chumakov A.A., Vilbitskaya N.A., Wensheng Li. Research on the synthesis of propants applied for oil production by the method of hydraulic facing // *Materials Science Forum*. – 2021. Vol. 1037. – pp. 181–188.
- Klimova L.V., Smoliy V.A., Romanyuk V.S..The use of drilling waste in the production of ceramic building materials // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2022. Vol. 1061.

Работа выполнена в ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова в рамках стратегического проекта «Научно-инновационный кластер «Контактный R&D центр»» Программы развития ЮРГПУ (НПИ) при реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Романюк Валерия Сергеевна – аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ)),
E-mail: lera_romanyuk_1999@mail.ru (автор для связи)

Romanyuk Valeria Sergeevna – graduate student, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after. M.I. Platov" (SURGPU (NPI)), E-mail: lera_romanyuk_1999@mail.ru (author for communication)

Климова Людмила Васильевна – доцент кафедры ОХиТС, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ)), *E-mail:* lyudmila.clim@yandex.ru

Яценко Елена Альфредовна – заведующая кафедрой ОХиТС, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ)), *E-mail:* e_yatsenko@mail.ru

Третьяк Александр Александрович – декан ФГТИНГД, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ)), *E-mail:* alexandr_bngs@nmail.ru

Вклад авторов: Яценко Е.А. - идея, научное руководство, научное редактирование статьи; Климова Л.В. – разработка методик, обработка материала, написание статьи; Романюк В.С. – выполнение экспериментов, обработка материала, написание статьи; Третьяк А.А. – научное руководство, научное редактирование статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Klimova Lyudmila Vasilyevna – Associate Professor of the Department of Department of General Chemistry and Silicate Technology, Candidate of Technical Sciences, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after. M.I. Platov" (SURGPU (NPI)), *E-mail:* lyudmila.clim@yandex.ru

Yatsenko Elena Alfredovna – Head of the General Chemistry and Silicate Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after. M.I. Platov" (SURGPU (NPI)), *E-mail:* e_yatsenko@mail.ru

Tretyak Alexander Aleksandrovich – Dean of the Faculty of Geology of Mining and Oil and Gas Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South Russian State Polytechnic University (NPI) named after. M.I. Platov" (SURGPU (NPI)), *E-mail:* alexandr_bngs@nmail.ru

Contribution of the author: Yatsenko E.A. - idea, scientific guidance, scientific editing of the article; Klimova L.V. - development of methods, material processing, writing of the article; Romanjuk V.S. - performance of experiments, material processing, writing of the article; Tretyak A.A. - scientific guidance, scientific editing of the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.