

# Эколого-экономическая и практическая целесообразность использования золошлака в производстве стенового материала на основе монтмориллонитовой глины

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-49-53>

Использование высокопластичных глин (с числом пластичности более 35) для получения керамического стенового материала позволяет вводить в керамические массы до 60% отходов, в качестве которых целесообразно использовать крупнотоннажные золошлаковые материалы. К таким высокопластичным глинам относятся монтмориллонитовые глины. Таким образом, используя монтмориллонитовую глину, можно применять в керамическом кирпиче (до 60%) такой крупнотоннажный отход, как золошлаковый материал, который относится к материалам массового производства, что будет способствовать сохранению экосистемы. Эколого-экономическая целесообразность очевидна – снижается стоимость сырья, и утилизируются крупнотоннажные отходы.

**Ключевые слова:** золошлак, монтмориллонитовая глина, стеновой материал, экология, экономическая целесообразность.

**Для цитирования:** Эколого-экономическая и практическая целесообразность использования золошлака в производстве стенового материала на основе монтмориллонитовой глины / Д.В. Гостев, А.А. Крюкова, А.М. Измайлов и др. // Уголь. 2023. № 4. С. 49-53. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-49-53.

## ВВЕДЕНИЕ

**Экология.** За последние 15-20 лет в энергетике произошло быстрое внедрение современных технологий, но уголь пока еще остается не только в постсоветских государствах, но и во всем мире одним из главных источников не только тепла, но и энергии. В результате добычи, переработки и использования угля образуется минеральная несгоревшая часть угля – золошлаки, которые наносят вред окружающей среде. Золошлаковые материалы (отходы) содержат ядовитые и токсичные химические соединения, которые попадают в грунтовые воды,

## ГОСТЕВ Д.В.

Ассистент кафедры цифровой экономики  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ),  
443028, г. Самара, Россия,  
e-mail: dev.gostev@mail.ru

## КРЮКОВА А.А.

Канд. экон. наук,  
доцент кафедры цифровой экономики  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ),  
443028, г. Самара, Россия,  
e-mail: kaasamara@mail.ru

## ИЗМАЙЛОВ А.М.

Доцент  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ),  
443028, г. Самара, Россия,  
e-mail: Airick73@bk.ru

## АБДРАХИМОВ В.З.

Доктор техн. наук,  
профессор ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
экономический университет»,  
443090, г. Самара, Россия,  
e-mail: 3375892@mail.ru

в почву и в атмосферу и тем самым наносят немалый вред не только экосистемам, но и напрямую здоровью людей. Таким образом, проблема золоотвалов в Казахстане, России и других постсоветских государствах требует скорейшего решения в пользу окружающей природной среды.

**Экономика.** В Казахстане для производства керамических материалов строительного назначения кондиционные алюмосиликатные сырьевые материалы либо истощились, либо истощаются, либо находятся на расстоянии более 500 км, причем такое сырье придется в большинстве случаев завозить на большегрузных машинах, в результате чего стоимость строительных материалов возрастет. Такой завоз сырья на большегрузных машинах повышает антропогенное воздействие на экосистемы, и чем больше расстояние, тем выше воздействие на окружающую среду. Кроме того, в Казахстане ощущается недостаток государственного финансирования геологоразведочных работ, что в конечном счете будет способствовать возникновению проблем в отрасли минерально-сырьевого комплекса и нанесет существенный урон экономике в строительной отрасли.

По различным экспертным оценкам [1, 2, 3, 4], инвестиции в строительство одного золошлакоотвала с выполнением всех действующих требований составляют ориентировочно (в переводе на рубли) от 2-4 до 10 млрд руб., при этом затраты на содержание 1 т золошлаковых отходов достигают порядка 5-7% от себестоимости производства тепловой и электрической энергии. К основным направлениям в настоящее время можно отнести два метода: первый – извлечение металлов из золошлаковых материалов, второй – использование их в строительных материалах [5, 6].

Применение первого метода – извлечение металлов – неэффективно и нерационально, потому что с точки зрения экологии проблема уменьшения территории золоотвала не решится, а вот второе направление использования золошлака в строительных материалах с эколого-экономической точки зрения вполне разумное. При этом исключаются затраты на геологоразведочные работы, строительство и эксплуатацию карьеров, освобождаются значительные земельные участки от воздей-

ствия негативных антропогенных факторов. Кроме того, золошлаковые материалы целесообразно использовать не только в качестве отощителя, но и в качестве выгорающей добавки, так как теплотворность их находится в пределах 1500-2500 ккал/кг.

Использование высокопластичных глин для получения керамического стенового материала (к стеновым материалам относятся: керамические кирпич и камни) позволит вводить в керамические массы до 60% отощителей [7], в качестве которых целесообразно использовать золошлаковый материал, а в качестве высокопластичной глины – монтмориллонитовую глину. Глина, состоящая только из одного глинистого минерала – монтмориллонита, называется бентонитом. Таким образом, используя бентонитовую глину, можно до 60% применять такой крупнотоннажный отход, как золошлаковый материал в керамическом кирпиче, который относится к материалам массового производства, что будет способствовать сохранению экосистем и снижению себестоимости продукции.

**Постановка задачи.** С учетом сокращения запасов традиционных отощителей и выгорающих добавок необходимо найти новые способы по их замещению различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения.

**Цель работы:** получение керамического кирпича на основе высокопластичной монтмориллонитовой глины (бентонитовой глины), используемой в качестве глинистой связующей, и золошлакового материала, используемого в качестве отощителя и выгорающей добавки.

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

**Сырьевые материалы.** Для получения керамического кирпича в качестве глинистой связующей использовалась монтмориллонитовая глина (бентонит), а в качестве отощителя и выгорающей добавки – золошлаковый материал Усть-Каменогорской ТЭЦ. Химические оксидный и поэлементный составы исследуемых сырьевых компонентов представлены в *табл. 1* и *табл. 2*, фракционный состав – в *табл. 3*, технологические показате-

Таблица 1

#### Усредненный химический состав сырьевых компонентов

Average chemical composition of the raw materials

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	П.п.п.
Таганский бентонит	59,80	23,01	5,58	1,81	3,28	1,38	7,34
Золошлаковый материал Усть-Каменогорской ТЭЦ	50,27	18,21	5,55	7,81	1,78	4,21	12,17

Таблица 2

#### Поэлементный химический состав сырьевых компонентов

Element-wise chemical composition of the raw materials

Компоненты	Содержание элементов, мас. %								
	C	O	Na	Mg	Al+Ti	Si	K	Ca	Fe
Таганский бентонит	4,21	49,28	0,73	1,73	16,24	24,21	0,32	0,89	2,48
Золошлаковый материал	7,44	038	1,39	0,93	10,65	21,9	1,53	6,2	4,58

Таблица 3

## Фракционный состав сырьевых компонентов

Fractional composition of the raw materials

Компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,0001
Таганский бентонит	3,3	2,2	4,3	8,4	81,8
Золошлаковый материал	14,4	32,2	35,8	12,4	5,2

Таблица 4

## Технологические показатели сырьевых компонентов

Technological parameters of the raw materials

Компонент	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °С		
		Начало деформации	Размягчение	Жидкоплавкое состояние
Таганский бентонит	650	1800	1220	1250
Золошлаковый материал	1800	1300	1300	1390

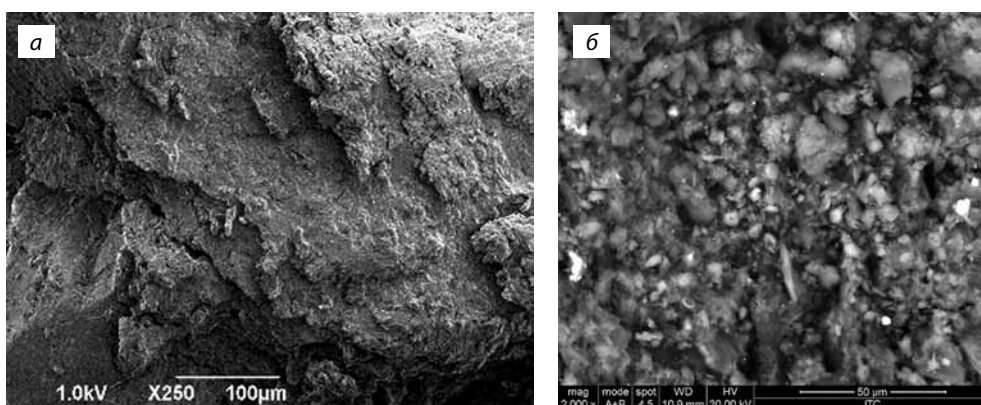


Рис. 1. Микроструктура сырьевых компонентов: а – монтмориллонитовая глина; б – золошлак

Fig. 1. Microstructure of the raw materials: a – montmorillonite clay; b – ashes and slags

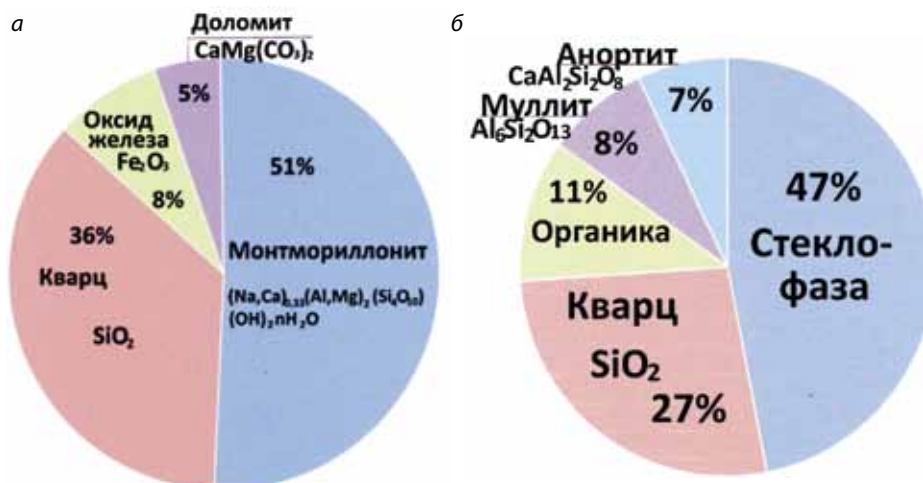


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых компонентов: а – монтмориллонитовая глина; б – золошлаковый материал

Усть-Каменогорской ТЭС

Fig. 2. Mineralogical composition of the raw materials: a – montmorillonite clay; b – ashes and slags from the Ust-Kamenogorsk thermal power plant

ли – в табл. 4, микроструктура – на рис. 1, минералогический состав – на рис. 2.

**Монтмориллонитовая глина.** Таганское месторождение монтмориллонитовых глин (Таганский бентонит) расположено в Тарбогатайском районе Восточно-Казахстанской области, химические составы представлены в табл. 1 и табл. 2, а фракционный в табл. 3. Как следует из рис. 2, глина Таганского месторождения по минералогическому составу имеет только один глинистый минерал – монтмориллонит, поэтому называется бентонитом.

Таганский бентонит по суммарному содержанию  $Al_2O_3 + TiO_2$  относится к полукислому сырью с высоким содержанием красящих оксидов ( $Fe_2O_3$  – более 3%).

По содержанию частиц размером менее  $1 \cdot 10^{-3}$  мм (81,8%, см. табл. 3) таганский бентонит относится к высокодисперсному, по пластичности (число пластичности – 38-40) – к высокопластичному, по чувствительности к сушке – к высокочувствительному глинистому сырью, а по огнеупорности – к классу легкоплавких глин (огнеупорность – 1220-1250°C). Монтмориллонитовые глины практически все чувствительны к сушке [7].

**Составы керамических масс, пластичность и их влажность**

Composition of the ceramic masses, their plasticity and humidity

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %		
	1	2	3
Таганский бентонит	60	50	40
Золошлаковый материал	40	50	60
Число пластичности	23	18	14
Влажность керамической массы, %	27	23	18

Таблица 6

**Физико-механические показатели керамического кирпича**

Physical and mechanical properties of ceramic bricks

Показатель	Составы керамических масс			
	1	2	3	4
Прочность при сжатии, МПа	9,1	9,8	10,8	12,2
Прочность при изгибе, МПа	1,9	2,0	2,2	2,5
Морозостойкость, циклы	15	17	20	24
Водопоглощение, %	13,5	13,0	12,8	12,5
Марка кирпича	M75	M75	M100	M100

**Золошлаковый материал Усть-Каменогорской ТЭС.** Зола гидроудаления ТЭС получается в результате пылевидного сжигания углей разреза «Каражыра» Восточно-Казахстанской области в котлах. Петрографическое изучение золошлакового материала показало наличие следующих фаз: стеклофазы – 47%, кварца – 36 %, органики – 11 % и муллита – 11 %, который придает керамическим материалам основные технические свойства.

**Технология получения керамического кирпича.**

Для получения керамического кирпича и изучения влияния содержания золошлакового материала на технические (физико-механические) показатели кирпича на основе монтмориллонитовой (бентонитовой) глины были исследованы составы, приведенные в табл. 5.

Сырьевые компоненты измельчали до прохождения сквозь сито № 1,0 (1 мм), после чего тщательно перемешивали и полученную шихту увлажняли до влажности 19-27% (в зависимости от содержания глинистого материала). Из увлажненной шихты пластическим способом формовали образцы в натуральную величину кирпича размером 120×250×65 мм. Сформованные образцы высушивали до остаточной влажности не более 5%, а затем обжигали при температуре 1000 °С. Изотермическая выдержка кирпича при конечной температуре – 1-1,5 ч. Основные физико-механические показатели высушенного и обожженного кирпича представлены в табл. 6.

Получить керамический кирпич из таганского бентонита без отощителей практически невозможно, так как он обладает наибольшей влагоемкостью среди других глин. Под влагоемкостью понимается способность глины вмещать в себя определенное количество воды и удерживать ее вопреки действию силы тяжести. Вода в бентонитовой глине удерживается не только силами молекулярного притяжения, но и капиллярными силами, поэто-

му для получения кирпича пластическим прессованием в шихту необходимо добавлять до 50% воды. Таким образом, бентонитовая глина имеет повышенную влагоемкость, благодаря которой она может интенсивно поглощать большое количество воды, прочно ее удерживать и трудно отдавать при сушке, в результате чего происходит растрескивание изделий, т.е. появляются трещины, не соответствующие ГОСТу.

Как следует из табл. 6, с повышением в керамической массе содержания золошлакового материала до 60% и, соответственно, уменьшением бентонита до 40% физико-механические показатели улучшаются. Дальнейшее снижение бентонита (монтмориллонитовой глины) в составах керамических масс снижает и число пластичности (снижается связующая способность), что затрудняет формование изделий, в результате чего на изделиях появляются трещины.

**ВЫВОДЫ**

1. Получить керамический кирпич из бентонита (монтмориллонитовой глины) без отощителей практически невозможно, так как она обладает наибольшей влагоемкостью среди других глин.

2. Монтмориллонитовая глина имеет повышенную влагоемкость, благодаря которой она может интенсивно поглощать большое количество воды, прочно ее удерживать и трудно отдавать при сушке, в результате чего происходит растрескивание изделий.

3. С повышением в керамической массе содержания золошлакового материала до 60% и, соответственно, уменьшением монтмориллонитовой глины до 40% физико-механические показатели улучшаются. Дальнейшее повышение золошлакового материала и снижение монтмориллонитовой глины понизят пластичность керамической массы (снизит связующую способность глины), что не позволит формовать изделия.

## Список литературы

1. Литовкин С.В. Изучение золошлаковых отходов для их использования в качестве вторичных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9-1. С. 23-27.
2. Целыковский Ю.К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС // Новое в российской энергетике. 2000. № 2. С. 22-31.
3. Шуварикова Е.В. Использование международного опыта для решения проблем управления отходами производства и потребления в Пермском крае // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2010. № 7. С. 41-48.
4. Целыковский Ю.К. Утилизация золошлаковых отходов угольных ТЭС (законодательные и нормативно-технические документы). М.: ВТИ, 2014. 63 с.
5. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлакового материала в производстве легковесного кирпича / Е.Г. Сафронов, Е.З. Глазунова, М.И. Иваев и др. // Уголь. 2021. № 9. С. 58-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-58-62.
6. Экономическая целесообразность использования золошлакового материала и исследование регрессивным методом анализа влияния его на физико-механические показатели стенового материала / М.И. Иваев, А.Е. Гайдук, Е.Г. Сафронов и др. // Уголь. 2022. № 4. С. 34-38. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-34-38.
7. Абдрахимов В.З. Получение керамических стеновых материалов на основе монтмориллонитовой глины и «хвостов» обогащения полиметаллических руд // Строительство и реконструкция. 2022. № 4 С. 132-138. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138

## Original Paper

UDC 691.666.42:536 © D.V. Gostev, A.A. Kryukova, A.M. Izmailov, V.Z. Abdrakhimov, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 4, pp. 49-53  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-49-53>

## Title ECOLOGICAL, ECONOMIC AND PRACTICAL FEASIBILITY OF USING ASH SLAG IN THE PRODUCTION OF WALL MATERIAL BASED ON MONTMORILLONITE CLAY

### Authors

Gostev D.V.<sup>1</sup>, Kryukova A.A.<sup>1</sup>, Izmailov A.M.<sup>1</sup>, Abdrakhimov V.Z.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> FGBOU VO "Volga State University of Telecommunications and Informatics" PGUTI, Samara, 443028, Russian Federation

<sup>2</sup> FGBOU VO "Samara state economic University", Samara, 443090, Russian Federation

### Authors Information

**Gostev D.V.**, Assistant of the Department of Digital Economics, e-mail: [dev.gostev@mail.ru](mailto:dev.gostev@mail.ru)

**Kryukova A.A.**, PhD (Economic), Associate Professor of the Department of Digital Economy, e-mail: [kaasamara@mail.ru](mailto:kaasamara@mail.ru)

**Izmailov A.M.**, PhD (Economic), Associate Professor of the Department of Digital Economy, e-mail: [Airick73@bk.ru](mailto:Airick73@bk.ru)

**Abdrakhimov V.Z.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: [3375892@mail.ru](mailto:3375892@mail.ru)

### Abstract

Studies have shown that the use of high-plastic clays (with a plasticity number of more than 35) for the production of ceramic wall material allows up to 60% of thinners to be introduced into ceramic masses, as which it is advisable to use large-tonnage ash and slag materials. Such highly plastic clays include montmorillonite clays. Thus, using montmorillonite clay, it is possible to use up to 60% of such large-tonnage waste as ash-slag material in ceramic bricks, which belongs to mass-produced materials, which will contribute to the preservation of ecosystems. The ecological and economic feasibility is obvious – the cost of raw materials is reduced and large-tonnage waste is disposed of.

### Keywords

Ash slag, Montmorillonite clay, Wall material, Ecology, Economic feasibility.

### References

1. Litovkin S.V. The study of ash and slag waste for their use as secondary resources. *Mezhdunarodnyj Jurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovanij*, 2015, (9-1), pp. 23-27. (In Russ.).
2. Tselykovsky Yu.K. The experience of industrial use of ash and slag waste of thermal power plants. *Novoe v rossijskoj energetike*, 2000, (2), pp. 22-31. (In Russ.).

3. Shuvarikova E.V. Using international experience to solve problems of waste management of production and consumption in the Perm Region. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Economica i Manadzhment*. 2010, (7), pp. 41-48. (In Russ.).

4. Tselykovsky Yu.K. Utilization of ash and slag waste from coal-fired thermal power plants (legislative and regulatory documents). Moscow, VTI Publ., 2014, 63 p. (In Russ.).

5. Safronov E.G., Glazunova E.Z., Ivaev M.I. & Abdrakhimov V.Z. Economic and practical feasibility of using ash and slag material in the production of lightweight bricks. *Ugol'*, 2021, (9), pp. 58-62. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-58-62.

6. Ivaev M.I., Gaiduk A.E., Safronov E.G. & Abdrakhimov V.Z. The economic feasibility of using ash and slag material and the study of the regression method of analyzing its effect on the physical and mechanical characteristics of the wall material. *Ugol'*, 2022, (4), pp. 34-38. (In Russ.) DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-34-38.

7. Abdrakhimov V.Z. Obtaining ceramic wall materials based on montmorillonite clay and "tails" of polymetallic ore enrichment. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2022. No.4, pp. 132-138. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138. (In Russ.).

### For citation

Gostev D.V., Kryukova A.A., Izmailov A.M. & Abdrakhimov V.Z. Ecological, economic and practical feasibility of using ash slag in the production of wall material based on montmorillonite clay. *Ugol'*, 2023, (4), pp. 49-53. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-49-53.

### Paper info

Received November 16, 2022

Reviewed February 28, 2023

Accepted March 27, 2023

## MINERALS RESOURCES