

**А.С. Карманова<sup>1</sup>, Е.И. Панькова<sup>1</sup>, В.А. Шаманов<sup>1</sup>, А.А. Мартынова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет

<sup>2</sup>АО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов», Пермь

### **ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАССЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОРГАНИЧЕСКИМИ И МИНЕРАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Показана актуальность вовлечения алюмо- и лигнинсодержащих отходов промышленности в сферу производства стеновых керамических материалов. Приведены результаты исследований глинистого сырья Таушинского месторождения, алюмосодержащего отхода и гидролизного лигнина. По результатам исследования глинистое сырье отличается умеренным содержанием красящих оксидов, а по суммарному содержанию  $Al_2O_3$  и  $TiO_2$  в прокаленном состоянии исследуемая глина относится к группе полукислых. В результате анализа научно-технической литературы и на основе ранее проведенных поисковых исследований были выявлены допустимые интервалы варьирования расхода гидролизного лигнина и алюмосодержащего отхода, а также температуры обжига лабораторных образцов. В результате проведения многофакторного эксперимента, математической обработки и оптимизации полученных данных было установлено, что наименьшее значение водопоглощения керамических образцов по массе (12,97 %) наблюдается при расходе лигнина, равном 5,8 %, расходе алюмосодержащего отхода, равном 23,5 %, при температуре обжига 1148 °С, при этом значения воздушной и огневой усадки составили 7,61 и 3,17 % соответственно. В ходе проведения микроструктурного анализа керамических образцов с содержанием техногенных отходов установлено, что даже при низких температурах обжига (1000 °С) наличие алюмосодержащего отхода способствует образованию поликристаллических форм муллита в зоне их присутствия. Дальнейшее увеличение температуры до 1100 °С приводит к значительному увеличению стекловидной фазы, при этом частицы алюмосодержащего отхода, встраиваясь в структуру керамического черепка, не только уплотняют ее, но и способствуют росту на своей поверхности игольчатых муллитоподобных новообразований. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности и целесообразности использования отходов химической и гидролизной промышленности для улучшения сушильных и обжиговых свойств керамических масс на основе малопластичного глинистого сырья.

**Ключевые слова:** глина, гидролизный лигнин, алюмосодержащий отход, черепок, микроструктура, муллит.

---

Карманова А.С., Панькова Е.И., Шаманов В.А., Мартынова А.А. Характеристики керамической массы, модифицированной органическими и минеральными отходами техногенного происхождения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 4 (35). – С. 55–65. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.04.06

Karmanova A., Pankova E., Shamanov V., Martynova A. Characteristics of ceramic mass modified by organic and mineral waste of technogenic origin. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2019. No. 4 (35). Pp. 55-65. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.04.06

Керамическая промышленность является одной из ведущих отраслей производства материалов строительного назначения. Изделия строительной керамики пользуются спросом благодаря своим высоким физико-механическим характеристикам, а также отличаются долговечностью, художественной выразительностью, кислотостойкостью и отсутствием эмиссии опасных веществ [1].

Между тем, на фоне истощения запасов минеральных ресурсов актуальным является их рациональное использование, разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий, а также поиск новых видов сырья, в том числе техногенного происхождения [2].

На территории Пермского края действует достаточно внушительное количество промышленных предприятий, в результате деятельности которых образуются отходы различного класса опасности. По разным данным в Пермском крае ежегодно образуется около 40 млн т отходов производства и потребления [3, 4]. Традиционными «лидерами» в этой сфере являются химическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая отрасли, в которых ежегодно накапливается большое количество техногенных отходов, содержащих оксиды кремния, алюминия, железа и пр. [5, 6]. Также на данный момент наблюдается развитие лесоперерабатывающей промышленности, которая характеризуется большим выбросом отходов в виде гидролизного лигнина [7].

По мнению отечественных и зарубежных ученых, из всех возможных потребителей техногенного сырья отрасль производства стеновой керамики является наиболее перспективной, поскольку использование отходов силикатного и алюмосиликатного состава не только оказывает положительное влияние на процессы структуро- и минералообразования керамического черепка, но и способствует снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду [8–10].

Целью настоящего исследования является улучшение сушильных и обжиговых свойств керамических масс на основе малопластичного глинистого сырья Таушинского месторождения Пермского края за счет введения в состав шихты алюмосодержащего отхода утилизации энергонасыщенных материалов и гидролизного лигнина.

Для проведения исследований была использована глина Таушинского месторождения Пермского края, которая представляет собой неоднородную породу коричневого оттенка с беспорядочной структурой, отличается низким содержанием крупнозернистых и посторонних включений [11].

По данным химического анализа, используемая глина по своему составу отличается высоким содержанием оксида железа и магния, весьма

незначительным количеством двуокси титана (по суммарному содержанию  $Al_2O_3$  и  $TiO_2$  в прокаленном состоянии исследуемая глина относится к группе полукислых):

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO	$Na_2O$	$K_2O$	п.п.п
63,1	16,27	0,38	6,16	2,55	2,61	1,55	1,88	5,70

Алюмосодержащий отход, химический состав которого представлен ниже, мас. %, представляет собой полидисперсный порошок от серого до светло-коричневого цвета со сложным распределением частиц по размеру, с преобладанием частиц сферической формы размером до 50 мкм [12]:

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO	$Na_2O$	$K_2O$	п.п.п.
0,07–0,14	91,7–95,7	<0,05	0,2–5,0	<0,05	<0,05	–	<0,05	–

В качестве выгорающей добавки был использован лигнин Косьвинского гидролизного завода, предварительно измельченный до фракции 0,2–0,4 мм, характеризующийся высоким водопоглощением по массе (64,8 %), низкой зольностью (6,49 %) с преобладанием  $SiO_2$  (93,4 %), содержащий трудногидролизуемые полисахариды (30,28 %) [13].

В соответствии с принятой методикой проведения эксперимента из керамической массы различного состава методом пластического формования были изготовлены образцы-плиточки размером 50×50×10 мм. Обжиг предварительно высушенных при температуре  $(105\pm 5)$  °С образцов осуществлялся в муфельной печи со скоростью подъема температуры 180 °С/ч. Испытания образцов на воздушную и огневую усадку и водопоглощение по массе проводили согласно требованиям ГОСТ 21216 и ГОСТ 2409.

На начальном этапе исследования было определено допустимое содержание в керамической шихте гидролизного лигнина (табл. 1) и алюмосодержащего отхода (рис. 1). При этом в качестве технологических характеристик и их граничных значений были выбраны число пластичности, значение которого не должно быть менее 7, а также воздушную усадку, значение которой не должно превышать 8 %. При этом смесь с добавлением отхода должна сохранять свои формовочные свойства и связность.

Как можно наблюдать из данных табл. 1, при введении в состав керамической массы гидролизного лигнина в количестве 20 % смесь теряет свою связность и не формуется. При уменьшении количества лигнина до 15 % была получена смесь с числом пластичности, равным 7,09, а значе-

ние воздушной усадки отформованных образцов составило 7,7 %, что удовлетворяет начальным условиям. Примечательно, что содержащиеся в отходе лигносульфонаты [14] оказывают на керамическую массу пластифицирующий эффект: при введении 5 % лигнина число пластичности увеличивается до 7,9 (на 11 % по сравнению с исходным глинистым сырьем).

Таблица 1

Изменение технологических характеристик  
керамической массы в присутствии гидролизного лигнина

Характеристика	100 % глина	5 % лигнина	10 % лигнина	15 % лигнина	20 % лигнина
Формовочная влажность	16,65	22,07	24,80	27,99	Не формируется
Число пластичности	7,06	7,90	7,63	7,09	
Воздушная усадка	6,1	7,3	7,1	7,7	

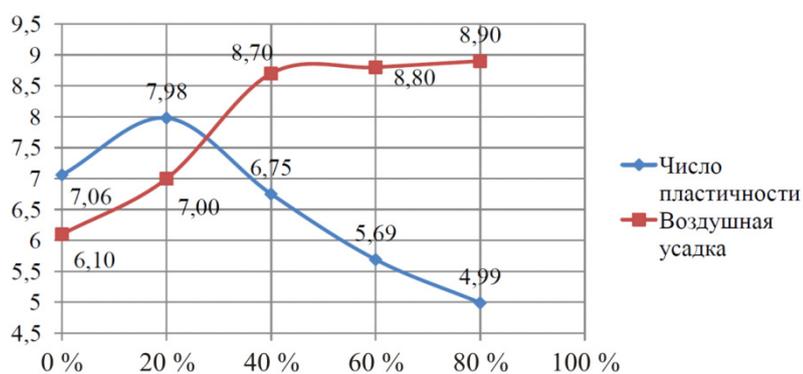


Рис. 1. Изменение технологических характеристик керамической массы в присутствии алюмосодержащего отхода

Как показывают данные на рис. 1, алюмосодержащий отход также оказывает на керамическую массу пластифицирующий эффект: при введении отхода до 20 % число пластичности шихты увеличивается на 13 % (с 7,06 до 7,98). Дальнейшее увеличение алюмосодержащего отхода приводит к ухудшению формуемости и нарушению связности образцов. Между тем, алюмосодержащий отход негативно сказывается на усадочных деформациях керамической массы: при содержании в смеси 40 % отхода значение воздушной усадки увеличивается с 6,1 до 8,7 %.

Для изучения совместного влияния вводимых в керамическую шихту техногенных отходов был проведен полный трехфакторный эксперимент (табл. 2), в котором содержание расхода гидролизного лигнина изменялось от 5 до 15 % с шагом 5 %, алюмосодержащего отхода – от 10 до

30 % с шагом 10 %, а обжиг образцов осуществлялся при температуре от 1000 до 1200 °С с шагом 100 °С.

Таблица 2

Значения факторов и функций отклика в каждой точке плана

№ п/п	$m_{\text{лигн}}, \%$	$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}, \%$	$T, \text{°C}$	$\Delta I_{\text{в}}, \%$	$\Delta I_{\text{огн}}, \%$	$W_m, \%$
1	5	10	1000	8,29	0,33	16,12
2	5	10	1100	8,29	1,92	13,35
3	5	10	1200	8,29	2,31	3,21
4	5	20	1000	7,98	0,18	21,48
5	5	20	1100	7,98	1,24	20,71
6	5	20	1200	7,98	5,10	13,23
7	5	30	1000	7,53	0,32	11,91
8	5	30	1100	7,53	1,40	13,5
9	5	30	1200	7,53	2,11	3,34
10	10	10	1000	7,78	0,85	21,55
11	10	10	1100	7,78	3,76	17,26
12	10	10	1200	7,78	4,91	9,69
13	10	20	1000	7,31	0,24	29,74
14	10	20	1100	7,31	1,30	28,54
15	10	20	1200	7,31	5,28	9,32
16	10	30	1000	7,65	0,84	19,45
17	10	30	1100	7,65	3,50	17,34
18	10	30	1200	7,65	7,04	9,35
19	15	10	1000	7,46	0,31	27,06
20	15	10	1100	7,46	1,64	24,89
21	15	10	1200	7,46	2,36	18,98
22	15	20	1000	6,63	0,29	38,00
23	15	20	1100	6,63	1,35	36,37
24	15	20	1200	6,63	5,49	19,01
25	15	30	1000	7,33	0,31	24,96
26	15	30	1100	7,33	1,38	24,94
27	15	30	1200	7,33	3,33	19,04

После математической обработки результатов эксперимента в программном комплексе STATISTICA были получены зависимости изменения водопоглощения, воздушной и огневой усадки от температуры обжига, расхода лигнина и алюмосодержащего отхода (рис. 2).

Как можно наблюдать на рис. 2, а, на величину воздушной усадки образцов наиболее значимое влияние оказывает содержание в керамической шихте гидролизного лигнина, при этом область наименьших значений воздушной усадки наблюдается при содержании лигнина более 12 % и алюмосодержащего отхода от 14 до 28 %. В свою очередь, как видно из

рис. 2, б, большое содержание в смеси гидролизного лигнина способствует значительному увеличению водопоглощения по массе керамических образцов: оптимальное значение водопоглощения (от 6 до 16 %) наблюдается при расходе лигнина до 10 % в интервале температуры обжига от 1120 до 1180 °С. Между тем, принимая во внимание данные рис. 2, в, заключаем, что область наименьших значений огневой усадки ограничена интервалами изменения температуры обжига до 1140 °С.

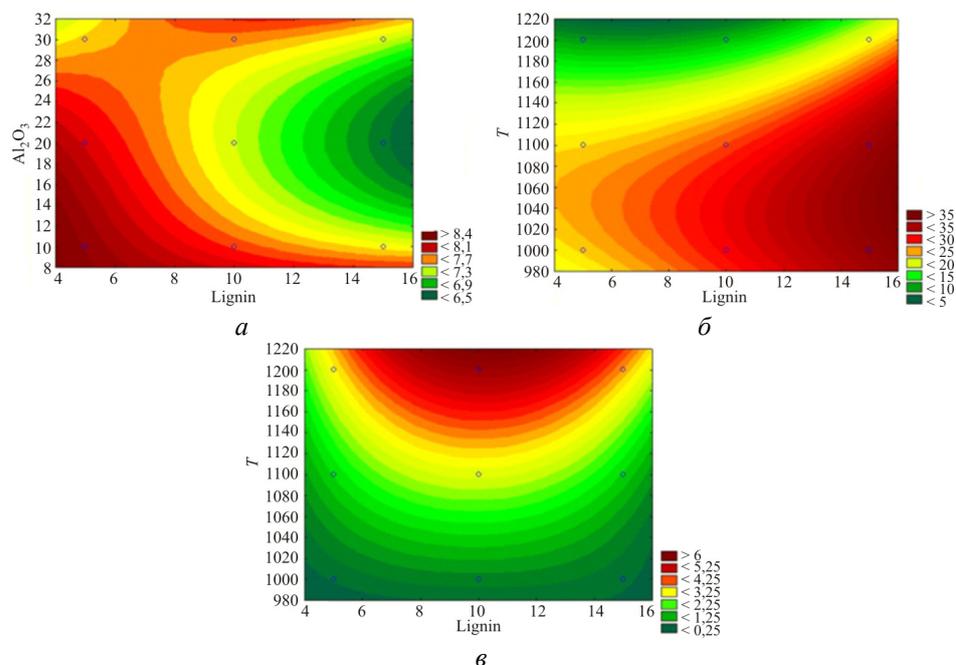


Рис. 2. Проекция функций отклика на плоскость: а – зависимость воздушной усадки от содержания отходов; б – зависимость водопоглощения по массе от содержания лигнина и температуры обжига при расходе алюмосодержащего отхода, равного 20 %; в – зависимость огневой усадки от содержания лигнина и температуры обжига при расходе алюмосодержащего отхода, равного 20 %

Учитывая неоднозначность оптимальных интервалов варьирования факторов, на следующем этапе исследования в программном комплексе Microsoft Excel с помощью надстройки «Поиск решения» была решена задача поиска оптимальных значений исследуемых факторов. В результате поиска наименьшего значения целевой функции водопоглощения по массе (12,97 %) был определен оптимальный состав керамической шихты (глина – 70,7 %, лигнин – 5,8 %, алюмосодержащий отход – 23,5 %), а также оптимальная температура обжига, равная 1148 °С, при этом значения воздушной и огневой усадки составили 7,61 и 3,17 % соответственно.

Полученные результаты показывают, что добавление алюмосодержащего отхода положительно влияет на формирование керамического черепка. Для анализа процессов, происходящих при взаимной работе компонентов шихты керамического образца, были проведены исследования микроструктуры полученного композита (рис. 3).

На рис. 3, *а* можно наблюдать достаточно равномерное распределение сферических частиц алюмосодержащего отхода, а также частичное образование поликристаллических форм муллита в зоне их присутствия [15]. Между тем, необходимо отметить незначительное содержание стекловидных фаз и присутствие в структуре керамики мелких пор, обусловленных выгоранием гидролизного лигнина. При увеличении температуры обжига (рис. 3, *б*) количество стекловидной фазы увеличивается в значительной мере, а частицы алюмосодержащего отхода, встраиваясь в структуру керамического черепка, не только уплотняют ее, но и способствуют росту на своей поверхности игольчатых муллитоподобных новообразований [16]. Дальнейшее увеличение температуры обжига (рис. 3, *в*) приводит к появлению дефектной малопористой структуры керамического черепка [17], свидетельствующей о пережоге керамики. При этом на поверхности сферических частиц алюмосодержащего отхода можно наблюдать равномерное распределение наноразмерных частиц  $\alpha$ -форм оксида алюминия, что свидетельствует о изменении энергетического потенциала изучаемого отхода.

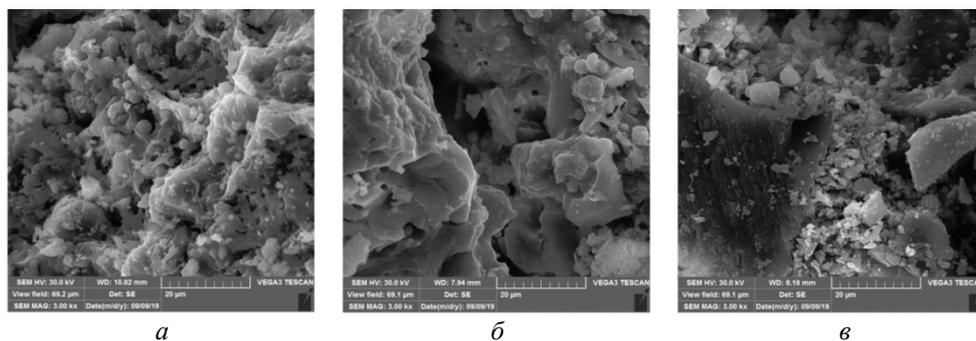


Рис. 3. Микроструктура керамических образцов с содержанием лигнина в количестве 5,8 % и алюмосодержащего отхода в количестве 23,5 % при температуре обжига: *а* – 1000 °С; *б* – 1100 °С; *в* – 1200 °С

В результате проведенного исследования было установлено следующее:

1. Использование отходов силикатного и алюмосиликатного состава при производстве керамических материалов оказывает положительное

влияние на процессы структуро- и минералообразования керамического черепка, способствует снижению антропогенной нагрузки на компоненты окружающей среды.

2. Для обеспечения требуемых технологических характеристик керамической массы количество гидролизного лигнина и алюмосодержащего отхода в шихте не должно превышать 15 и 30 % соответственно.

3. Состав керамической шихты, содержащий 70,7 % глинистого сырья Таушинского месторождения, 5,8 % лигнина Косьвинского гидролизного завода, 23,5 % алюмосодержащего отхода, характеризуется воздушной усадкой, равной 7,61 %. После обжига керамической смеси оптимального состава при температуре 1148 °С были получены образцы с водопоглощением по массе, равным 12,97 %, и огневой усадкой, равной 3,71 %.

#### Список литературы

1. Кобелева Е.В. Оценка и пути улучшения качества исходной шихты для производства полнотелого керамического кирпича // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика.* – 2017. – № 1. – С. 472–473.
2. Потравный И.М., Новоселов А.Л., Новоселова И.Ю. Оптимизация использования ресурсов техногенных месторождений с учетом факторов неопределенности // *Экономика региона.* – 2017. – Т. 13, вып. 4. – С. 1280–1290.
3. Оценка объемов образования твердых бытовых отходов при построении локальных и региональных материальных балансов отходов / Ю.М. Макарова, Г.В. Ильных, Н.Н. Слюсарь [и др.] // *Экология и промышленность России.* – 2012. – № 11. – С. 22–27.
4. Пугин К.Г. Оценка объемов образования и размещения отходов промышленных предприятий Пермского края // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика.* – 2011. – № 3 (3). – С. 50–55.
5. Metallurgical sludge as sand replacement and constituent of crushed concrete aggregate / M. Alwaeli, J. Golaszewski, J. Pizon [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2019. – Vol. 603, iss. 3, no. 032087.
6. Разработка научных основ управления отходами предприятий химической и нефтехимической отраслей / Д.Е. Быков, Н.Г. Гладышев, К.Л. Чертец [и др.] // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.* – 2018. – № 5. – С. 36–42.
7. Колесникова А.В. Оценка объемов образования древесных отходов в Российской Федерации и анализ их использования // *Экономика природопользования.* – 2013. – № 6. – С. 54–71.
8. Singh J., Singh S.P. Geopolymerization of solid waste of non-ferrous metallurgy – A review // *Journal of Environmental Management.* – 2019. – Vol. 251, no. 109571.
9. Technical and environmental assessment of the incorporation of iron ore tailings in construction clay bricks / B.C. Mendes, L.G. Pedroti, M.P.F. Fontes [et al.] // *Construction and Building Materials.* – 2019. – Vol. 227, no. 116669.
10. Обоснование возможности получения керамических строительных материалов из отходов горнопромышленного комплекса / О.В. Суворова, Р.Г. Мелконян, В.А. Бокарева [и др.] // *Техника и технология силикатов.* – 2012. – Т. 19, № 2. – С. 19–25.
11. Карманова А.С., Шаманов В.А. Теоретические предпосылки использования алюмосодержащих отходов для производства стеновых керамических изделий // *Химия. Экология. Урбанистика: сб. материалов конф.* – 2019. – С. 92–95.
12. Поник А.Н., Карпова Н.Ю., Батракова Г.М. Технологическая схема очистки отходов, образующихся в процессе уничтожения топливных элементов / А.Н. Поник, Н.Ю. Карпова, Г.М. Батракова // *Экология и промышленность России.* – 2015. – № 7. – С. 32–35.

13. Волосатова К.А. Исследование возможности применения гидролизованного лигнина в производстве стеновых блоков для малоэтажного строительства // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3 (50). – С. 125.
14. Кругов С.М., Грибков И.В., Зарубин М.Я. Изучение строения и свойств промышленных гидролизных лигнинов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2007. – № 179. – С. 201–210.
15. Кондратьев А.С., Ларченкова Л.А. Методика проведения, обработки и анализа результатов физического эксперимента с применением инструментальных пакетов // Компьютерные инструменты в образовании. – 2008. – № 3. – С. 34–38.
16. Preparation and properties of porous mullite ceramics with high-closed porosity and high strength from fly ash via reaction synthesis process / B. Ma, C. Su, X. Ren [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Vol. 803. – P. 981–991.
17. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Исследование фазового состава керамических материалов на основе алюмосодержащих отходов цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности // Новые огнеупоры. – 2015. – № 1. – С. 3–9.

#### References

1. Kobeleva E.V. Ocenka i puti uluchsheniya kachestva iskhodnoj shihy dlya proizvodstva polnotelogo keramicheskogo kirpicha [Evaluation and ways to improve the quality of the initial mixture for the production of solid ceramic bricks]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 2017, №1, pp. 472–473.
2. Potravnyj I.M., Novoselov A.L., Novoselova I.Yu. Optimizaciya ispol'zovaniya resursov tekhnogennyh mestorozhdenij s uchetom faktorov neopredelennosti [Optimization of the use of resources of technogenic deposits, taking into account uncertainties]. *Ekonomika regiona*. 2017, T. 13, no. 4, pp. 1280–1290.
3. Makarova Yu.M., Il'inyh G.V., Slyusar' N.N. i dr. Ocenka ob'emov obrazovaniya tverdyh bytovykh othodov pri postroenii lokal'nyh i regional'nyh material'nyh balansov othodov [Estimation of solid domestic waste generation volumes when constructing local and regional material waste balances]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012, № 11, pp. 22–27.
4. Pugin K.G. Ocenka ob'emov obrazovaniya i razmeshcheniya othodov promyshlennyh predpriyatij permskogo kraja [Assessment of the volume of generation and disposal of waste from industrial enterprises of the Perm region]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*. 2011, № 3 (3), pp. 50–55.
5. Alwaeli M., Golaszewski, J., Pizon, J. and etc. Metallurgicalsludge as sand replacement and constituent of crushed concrete aggregate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, Vol. 603, Iss. 3, No. 032087.
6. Bykov D.E., Gladyshev N.G., Chertes K.L. i dr. Razrabotka nauchnyh osnov upravleniya othodami predpriyatij himicheskoy i neftekhimicheskoy otraslej [Development of the scientific basis for waste management in chemical and petrochemical industries]. *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2018, № 5, pp. 36–42.
7. Kolesnikova A.V. Ocenka ob'emov obrazovaniya drevesnyh othodov v Rossijskoj Federacii i analiz ih ispol'zovaniya [Assessment of wood waste generation in the Russian Federation and analysis of their use]. *Ekonomika prirodopol'zovaniya*. 2013, № 6, pp. 54–71.
8. Singh, J., Singh, S.P. Geopolymerization of solid waste of non-ferrous metallurgy. A review. *Journal of Environmental Management*. 2019, Vol. 251, – No. 109571.
9. Mendes, B.C., Pedroti, L.G., Fontes, M.P.F. and etc. Technical and environmental assessment of the incorporation of iron ore tailings in construction clay bricks. *Construction and Building Materials*. 2019, Vol. 22, No. 116669.
10. Suvorova O.V., Melkonyan R.G., Bokareva V.A. i dr. Obosnovanie vozmozhnosti polucheniya keramicheskikh stroitel'nyh materialov iz othodov gornopromyshlennogo kompleksa [Justification of the possibility of obtaining ceramic building materials from waste from the mining complex]. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2012, vol. 19, № 2, pp. 19–25.

11. Karmanova A.S., Shamanov V.A. Teoreticheskie predposylki ispol'zovaniya alyumosoderzhashchih othodov dlya proizvodstva stenovykh keramicheskikh izdelij [Theoretical background for the use of aluminum-containing waste for the production of wall ceramic products]. *Materialy konferencii «Himiya. Ekologiya. Urbanistika»*. 2019, pp. 92-95.
12. Ponik A.N., Karpova N.Yu., Batrakova G.M. Tekhnologicheskaya skhema ochistki othodov, obrazuyushchih v processe unichtozheniya toplivnykh elementov [Technological scheme for the treatment of waste generated during the destruction of fuel cells]. *Ecology and Industry of Russia*. 2015, №7, pp. 32-35.
13. Volosatova K.A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya gidroliznogo lignina v proizvodstve stenovykh blokov dlya maloetazhnogo stroitel'stva [Study of the possibility of using hydrolysis lignin in the production of wall blocks for low-rise construction]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2018, № 3 (50), pp. 125.
14. Krugov S.M., Gribkov I.V., Zarubin M.Ya. Izuchenie stroeniya i svoystv promyshlennykh gidroliznykh ligninov [Study of the structure and properties of industrial hydrolysis lignins]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2007, № 179, pp. 201-210.
15. Kondrat'ev A.S., Larchenkova L.A. Metodika provedeniya, obrabotki i analiza rezul'tatov fizicheskogo eksperimenta s primeneniem instrumental'nykh paketov [Study of the structure and properties of industrial hydrolysis lignins]. *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii*. 2008, № 3, pp. 34-38.
16. Ma B., Su C., Ren X. and etc. Preparation and properties of porous mullite ceramics with high-closed porosity and high strength from fly ash via reaction synthesis process. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019, vol. 803, pp. 981-991.
17. Abdrahimov V.Z., Abdrahimova E.S. Issledovanie fazovogo sostava keramicheskikh materialov na osnove alyumosoderzhashchih othodov cvetnoj metallurgii, himicheskoy i neftekhimicheskoy promyshlennosti [Study of the phase composition of ceramic materials based on aluminum-containing wastes of non-ferrous metallurgy, chemical and petrochemical industries]. *Novye ogneupory*. 2015, № 1, pp. 3-9.

Получено 30.09.2019

**A. Karmanova, E. Pankova, V. Shamanov, A. Martynova**

## **CHARACTERISTICS OF CERAMIC MASS MODIFIED BY ORGANIC AND MINERAL WASTE OF TECHNOGENIC ORIGIN**

The relevance of the involvement of aluminum-containing and lignin-containing industrial waste in the production of ceramic wall materials is shown. The results of studies of clay raw materials of the Taushinsky Deposit, aluminum-containing waste and hydrolytic lignin are presented. According to the results of the study, the clay raw material is characterized by a moderate content of coloring oxides, and according to the total content of  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  in the calcined state, the studied clay belongs to the semi-acids group. As a result of the analysis of the literature data and the conduct of "search" studies, permissible intervals of variation of the consumption of hydrolytic lignin and aluminum-containing waste, as well as the firing temperature of laboratory samples, were identified. As a result of a multifactorial experiment, mathematical processing and optimization of the obtained data, it was found that the lowest value of water absorption of ceramic samples by weight (12.97 %) is observed with a lignin consumption of 5.8 %, an aluminum-containing waste consumption of 23.5 %, at a firing temperature of 1148 °C, while the values of air and fire shrinkage were 7.61 % and 3.17 %, respectively. In the course of microstructural analysis of ceramic samples containing technogenic waste, it was found that even at low firing temperatures (1000 °C), the presence of aluminum-containing waste contributes to the formation of polycrystalline forms of mullite in the zone of their presence. A further increase in temperature to 1100 °C leads to a significant increase in the vitreous phase, while the particles of aluminum-containing waste, embedded into the structure of a ceramic body, not only compact it, but also contribute to the growth of needle-shaped mullite-like

formations on its surface. The results obtained allow to conclude that it is possible and advisable to use waste from the chemical and hydrolysis industry to improve drying and firing properties of ceramic materials based on low-plastic clay raw materials.

**Keywords:** clay, hydrolysis lignin, aluminum-containing waste, ceramic body, microstructure, mullite.

**Карманова Арина Сергеевна** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: karmanova.arina@inbox.ru).

**Панькова Екатерина Илдусовна** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: t89523234979@gmail.com).

**Шаманов Виталий Альбертович** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shamanov@cems.pstu.ru).

**Мартынова Анна Александровна** (Пермь, Россия) – начальник лаборатории охраны окружающей среды, АО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов» (614113, Россия, Пермь, ул. Чистопольская, 16, e-mail: Martinovaniipm@yandex.ru).

**Karmanova Arina** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Civil engineering and material science, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: karmanova.arina@inbox.ru).

**Pankova Ekaterina** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Civil engineering and material science, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: t89523234979@gmail.com).

**Shamanov Vitaliy** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Civil engineering and material science, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: shamanov@cems.pstu.ru).

**Martynova Anna** (Perm, Russian Federation) – Chief of environmental protection laboratory, Joint-stock company “Research Institute of Polymer Materials” (614113, Perm, Chistopolskaya st., 16, e-mail: Martinovaniipm@yandex.ru).