

ПРИМЕНЕНИЕ КРАСНЫХ ШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ В СОСТАВЫ БЕТОНОВ И КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.Б. Лебедев¹, С.Н. Конкин²

¹ НЦ «Переработки ресурсов» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: 2799957@mail.ru

² Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Аннотация: Изучена возможность получения на основе красного шлама Уральского алюминиевого завода (УАЗ) плотного спекшегося керамического материала, пригодного для использования в строительной отрасли. При извлечении глинозема из бокситов в качестве побочного продукта в значительных количествах получают красные шламы, которые транспортируются в шламоотвалы, образующие большие техногенные зоны вблизи глиноземных заводов. В отвалах красных шламов содержатся ценные компоненты (окись железа, глинозем, щелочи). При хранении они загрязняют биосферу вредными продуктами. В качестве исходных сырьевых материалов для приготовления сырьевых смесей использовались красные шламы УАЗ, кварцевый песок Каменск-Уральского месторождения. Сырьевые смеси готовились в составе $Fe_2O_3-SiO_2-Al_2O_3$. Опытным путем установлены оптимальные соотношения сырьевых смесей, параметры формования, сушки и обжига. В результате обжига получен керамический материал, обладающий высокими физико-химическими свойствами. Установлено, что керамический спек на основе красного шлама обладает высокой кислотостойкостью и механической прочностью. Использование его в качестве заполнителя для любой прочности бетонов может иметь большой спрос. Красный шлам может найти применение в производстве огнеупоров. Из полученного материала могут изготавливаться керамические изделия (клинкерный кирпич, шламокаменное литье, облицовочная плитка и др.), а также железорудный окатыш.

Ключевые слова: красный шлам, шламоотвал, утилизация, сырьевая смесь, эвтектики в системе $Fe-SiO_2-Al_2O_3$, кислотоупорные изделия, заполнитель в бетон, глина.

Для цитирования: Лебедев А. Б., Конкин С. Н. Применение красных шламов в качестве добавки в составы бетонов и керамических изделий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12. – С. 79-95. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_79.

Application of red mud as admixture for concrete and ceramics

A.B. Lebedev¹, S.N. Konkin²

¹ Scientific Center «Problems of Processing of Mineral and Technogenic Resources», Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: 2799957@mail.ru

² Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The manufacturability of a dense sintered ceramic material applicable in construction using red mud of Urals Aluminum Smelter (UAS) is studied. Alumina extraction from bauxite results in by-production of much red mud placed in slurry dumps which generate large man

made zones nearby alumina plants. Red mud dumps contain valuable components (iron oxide, alumina, alkalis). When in storage, they pollute the biosphere with harmful species. The initial feedstock for the mixture preparation was UAS' red mud and quartz sand from Kamensk-Uralsky deposit. The mixture composition was $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. The optimal ratios of the mixture components, and the parameters of molding, drying and roasting are found experimentally. Roasting produces a ceramic material with high physicochemical properties. It is found that the ceramic cake made of red mud possesses high acid resistance and high mechanical strength. Its application as an aggregate for any strength concrete may be in high demand. Red mud may find application in manufacture of refractory materials. The obtained product may be used in manufacture of ceramics (clinker bricks, slurry-stone casting, tiling, etc.) and iron ore pellets.

Key words: red mud, slurry dump, recycling, feedstock, eutectics in $\text{Fe-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, acid-resistant products, concrete aggregate, clay.

For citation: Lebedev A. B., Konkin S. N. Application of red mud as admixture for concrete and ceramics. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12):79-95. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_79.

Введение

Рост промышленного производства, расширение номенклатуры изготавливаемой продукции является причиной появления в возрастающих масштабах новых промышленных отходов [1–3]. Вначале получающимся отходам не придается должного значения, но со временем накопление их начинает представлять угрозу: становятся загрязненными водоемы; запыляется воздушная среда; поля, предназначенные для выращивания сельскохозяйственных культур, покрываются вредными веществами [4–6]. Примером этому могут служить красные шламы (КШ), образующиеся при извлечении глинозема из бокситов. В период, когда производство алюминия было невелико, КШ не представляли угрозы для экологического равновесия в природе. В настоящее время производство глинозема выросло в такой степени, что накопление отходов вследствие трудностей их складирования и несоответствия нормальным природным процессам стало большой проблемой. Наряду с высокой механической прочностью, керамический спек на основе КШ обладает вы-

сокой стойкостью [7]. Поэтому, кроме использования его для изготовления заполнителя в бетонах, практически любой прочности КШ может найти применение в производстве огнеупоров. Ежегодный выход КШ составляет около 120–150 млн т, что влечет за собой большие затраты на содержание и ремонт шламоотвалов [8–10]. Наиболее крупным потребителем минеральных отходов является строительная промышленность [11].

Рекомендации по применению КШ в качестве добавки (0,5–12,5 масс.%) в составах шихт для цемента, кирпича и других изделий непригодны для предмета исследования, так как не решают проблемы утилизации этого отхода в том объеме, в каком он образуется. Необходимо найти способы масштабной утилизации КШ. Например, в качестве основного компонента для клинкерных материалов после спекания с повышением его прочности и плотности [12, 13].

Материал может использоваться для следующих типов производств:

- высокопрочные заполнители в тяжелых бетонах, спрос на которые повсеместно и непрерывно растет;

- облицовочная плитка, используемая повсеместно;
- кислотоупорные изделия для химической промышленности;
- клинкерный кирпич для покрытия дорог, подвергающихся интенсивному износу и действию агрессивных веществ.

Стоит отметить, что применение КШ в составе железо-сульфатных связей в жароупорных бетонах и растворах не гарантирует их массовой утилизации, так как количество жароупорных бетонов невелико и, к тому же, огнеупорность их невысока [14, 15].

Промышленность строительной керамики, при своих масштабах производства, может использовать значительное количество КШ в качестве добавки к глине, с целью придания спеку требуемых свойств. Но в этом случае алюминиевый завод должен будет поставлять КШ на многие предприятия, рассредоточенные на большой территории, безвозмездно, так как эффект, получаемый керамическими заводами от применения КШ, не покрывает транспортные расходы и трудозатраты после внедрение новой технологии [16 – 18].

Очевидно, что наиболее эффективным способом утилизации шлама будет организация производства строительного материала в непосредственной близости от шламоотвала или по пути транспортировки шлама в отвал. Причем на этом производстве шлам должен быть основным по массе компонентом сырьевой смеси [19, 20].

В связи с всевозрастающей потребностью в заполнителях для бетона уже сейчас в ряде регионов ощущается трудность с их снабжением, в основном это относится к Западной Сибири и средней полосе Европейской части России. Поэтому изготовление заполнителей на базе промышленных отходов является одной из приоритетных производственных задач [21, 22].

КШ — продукт выщелачивания глинозема из бокситов, содержащий в своем составе значительное количество оксидов железа и щелочей, которые в силикатной технологии считаются сильными плавнями, способствующими спеканию, и, следовательно, образуют материал с высокими прочностными свойствами. На сегодняшний день целесообразно изучение возможности их использования как основного компонента сырьевой шихты для замены таких материалов, как гравий и щебень, для обычных тяжелых бетонов, на основе принципов применения технологий изготовления керамических материалов, а также штучных кислотоупорных изделий [23, 24].

Методика и материалы

Изучение состава и свойств сырья промежуточных продуктов и конечных материалов проводилось с применением комплекса современных методов исследований: химического, дифференциально-термического, рентгеноструктурного анализов. Кроме того, были использованы обычные стандартные методы определения таких свойств, как объемная масса, плотность, прочность, усадка, пористость. Учитывая специфические особенности материала, также определялась его кислотостойкость.

ДТА проводился при условиях нагрева со скоростью 20 °С/мин, наличия термостойкого тигля, навеска содержала 1000 мг, чувствительность: ТГ — 200, ДТГ — 1/20, ДТА — 1/5. Для рентгеновского анализа использовался дифрактометр УРС 60 ИМ.

Плавкость шламов определялась с помощью высокотемпературного микроскопа МНО 2.

Для изучения влияния условий формовки изделий из шихты, содержащей КШ, в лабораторных условиях применялись основные способы формовки: прессование из порошка в пресс-формах

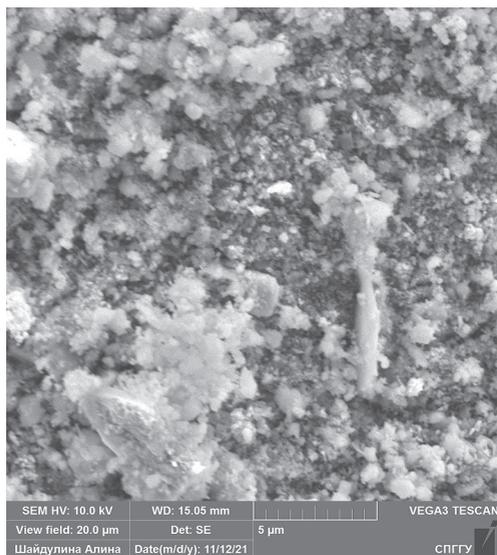


Рис. 1. Электронная микрофотография КШ (увеличение $\times 1250$)

Fig. 1. Electron micrograph of RM (magnification $\times 1250$)

и получение окатыша на тарельчатом окомкователе. Прессование осуществлялось в разборных металлических формах под давлением 200 кгс/см^2 , образцы представлены в виде цилиндров $d = 25 \text{ мм}$ и $h = 25 \text{ мм}$. Для окомкования шихта в виде порошка скатывалась со стенки тарельчатого окомкователя в шарики диаметром $8 - 12 \text{ мм}$. Обжиг лабораторных образцов проводился в печи с силитовыми стержнями для достижения температуры $1180 - 1280 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для изучения свойств КШ были отобраны 24 пробы шлама (за 4 года) из шла-

моотвалов Уральского алюминиевого завода.

По внешнему виду все три разновидности шлама идентичны и представляют собой тонкодисперсный порошок красно-коричневого цвета. Встречаются комки в составе шлама, которые без усилия растираются в порошок. Насыпная масса шлама равна 1500 кг/м^3 , плотность, определенная пикнометрически, $3,1 - 3,3 \text{ г/см}^3$. Гранулометрический состав, определенный процеживанием водной суспензии через соответствующие сита, характеризуется следующими показателями:

- остаток на сите с ячейкой $0,315 - 0\%$;
- остаток на сите с ячейкой $0,14 - 5,2\%$;
- остаток на сите с ячейкой $0,08 - 21,1\%$.

Седиментационный анализ, проведенный на установке УСА-3М, показал, что в КШ содержится от 45 до 57% частиц, имеющих крупность меньше 5 мм . Удельная поверхность КШ, определенная на приборе ПСХ-2, достигает $1,86 \text{ м}^2/\text{г}$, что вполне согласуется с результатами ситового анализа. Однако величина реакционной поверхности КШ еще больше. Так, удельная поверхность, определенная методом десорбции аргона, в отдельных случаях превышает $20,0 \text{ м}^2/\text{г}$, что свидетельствует не только о высокой степени измельчения шлама, но и о большой внутренней пористости частиц [25, 26].

Таблица 1

Химический состав КШ УАЗ
Chemical composition of RM UAZ

№ пп	КШ	Химический состав, %									
		п.п.п.	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃
1	Проба 2019 г.	6,04	44,43	5,0	13,42	8,17	4,44	1,22	12,96	2,67	2,25
2	Проба 2020 г.	5,67	45,52	5,54	12,87	7,92	4,24	1,27	13,29	2,58	2,25
3	Проба 2021 г.	6,36	44,87	4,3	13,42	7,86	4,35	1,19	13,06	2,72	2,01
4	Проба 2022 г.	7,46	41,49	3,87	15,32	7,95	4,16	1,0	13,86	2,59	2,3

На микроснимках (см. рис. 1) при увеличении до 5 мкм КШ представляют собой аморфную массу, в которой кристаллические частицы не обнаружены [27].

Химический состав КШ, определенный в лаборатории научного центра «Переработки ресурсов», приведен в табл. 1 (составлена авторами).

Состав КШ за 4 года можно представить таким соотношением: $\text{FeO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 75,46 : 13,9 : 10,6$ [28].

Рентгеноструктурный анализ (рис. 2) не указывает на присутствие значительного количества кристаллических минералов, он фиксирует только гематит в достаточных количествах. Значительная часть окиси железа находится в такой степени диспергации кристаллов, которая граничит с аморфным состоянием. Карбонат кальция присутствует в значительных количествах, что представлено на рентгенофазовом анализе. Оксид кремния также присутствует в достаточном соотношении [29].

Дифференциально-термический анализ показал, что в КШ содержится

большое количество гелеобразных окислов железа, алюминия и кремния, гидроалюмосиликат натрия и карбонат кальция. Зафиксированы эндотермические эффекты при 200–210 °С (гидроалюмосиликат натрия), 320–380 °С (гидроокиси железа и алюминия), 500–520 °С (гидрогель окиси железа) и 890 °С (кальцит) [30].

Установлено, что КШ различного возраста отличаются друг от друга, в основном, по содержанию карбоната кальция.

Плавокость КШ УАЗ характеризуется показателями, приведенными в табл. 2 (составлена авторами). Для КШ свойственен короткий интервал плавления, не превышающий температуры 50–100 °С. Эта особенность обусловлена тем, что легкоплавкие эвтектики в системах (R_2, R) $\text{O}-\text{SiO}_2$ образуются в ограниченных количествах из-за недостатка кремнезема, и поэтому основным фактором образования расплава является эвтектика в системе $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, появляющаяся при температуре 1330 °С. Но для увеличе-

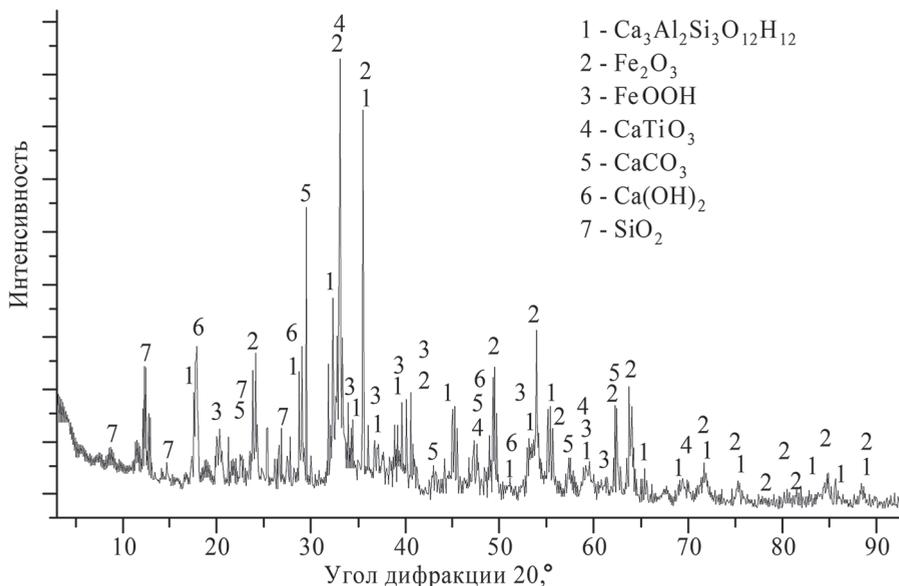


Рис. 2. Рентгенограммы свежего КШ вблизи сброса в шламохранилище
Fig. 2. Radiographs of fresh RM, near the discharge into the sludge storage

Таблица 2

Плавкость красных шламов, °С
Meltability of red mud, °С

№ пп	Наименование пробы	Размягчения	Плавления	Текучести
1	Красный шлам, свежий (отбор с места сброса)	1244	1342	1381
2	Красный шлам из центра отвала	1318	1358	1404

ния интервала плавкости и обеспечения спекания шихты с КШ требуется кремнеземистая добавка [31].

Определение пластичности КШ по стандартной общепринятой методике оценки керамического сырья показало:

- водосодержание при пределе текучести по Аттербергу – 31%;
- водосодержание при пределе раскатывания – 27%;
- число пластичности – 4%.

Обычно керамические массы при числе пластичности менее 7 считаются малопластичными и практически непригодными для формования пластическим способом. В соответствии с этим для повышения вяжущих свойств КШ требуется добавка пластифицирующих веществ. Поверхностно-активные вещества, обычно применяемые в этих целях, в данном случае использованы быть не могут, так как их выгорание будет способствовать восстановлению окиси трехвалентного железа до окиси двухвалентного железа и вспучиванию спека, следовательно, в качестве добавки к КШ целесообразно применять пластичные глины.

Ближайшим к УАЗ разведанным и эксплуатируемым месторождением пла-

стичных глин является Горнощитинское, в котором залегает два продуктивных слоя: верхний – бурая глина, и нижний – более светлый суглинок. Химический состав глин и песка приведен в табл. 3 [32].

ДТА и рентгеноструктурный анализ обнаруживают существенное различие в минералогическом составе глин. Бурая пластичная глина при ДТА характеризуется наличием эндотермических эффектов при 220 °С, 560 °С, 880 °С, свойственных преимущественно монтмориллонитовым глинам. На рентгенограмме пики монтмориллонита более заметны, чем пики других глинистых минералов [33, 34].

Светлому суглинку свойственны эндотермические эффекты при 240 °С и 620 °С, что характерно для каолинитовых глин. Не исключено, что в этой глине вместо монтмориллонита присутствует нонгранит, на что указывает высокое содержание окиси железа и четкий пик на рентгенограмме при $d = 14,2$ (табл. 4, составлена авторами). Определение пластичности глин дало следующие показатели [35].

Учитывая возможность применения полусухого способа формования, в ла-

Таблица 3

Химический состав глин, использованных в качестве добавки для КШ
Chemical composition of clays used as additives for RM

Характеристики	Светлая	Бурая
Предел текучести, %	38,0	45,0
Предел раскатывания, %	23,0	26,0
Предел пластичности, %	15,0	19,0

Таблица 4

Характеристики глинистых добавок КШ
Characteristics of clay additives RM

Характеристики	Светлая	Буряя
Предел текучести, %	38,0	45,0
Предел раскатывания, %	23,0	26,0
Предел пластичности, %	15,0	19,0

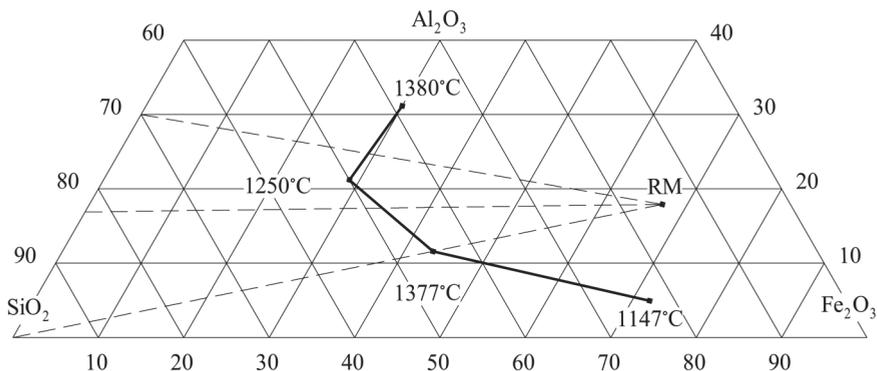
бораторных экспериментах был опробован также песок с Каменск-Уральского месторождения. Песок кварцевый, мелкий, характеризуемый модулем крупности 0,430 мм. При просеве он полностью проходит через сита с ячейкой 0,315 мм [36, 37].

Заполнители для тяжелых бетонов должны обладать высокой механической прочностью. Материал, из которого изготавливается заполнитель для бетона, должен быть на 25–50% выше прочности проектируемого бетона, а для гидротехнических и высокопрочных бетонов справедливо соотношение $R_{cb}:R_b = 2,0$. Таким образом, для обычных бетонов прочность щебня должна находиться в пределах 300–500 кгс/см², а для высокопрочных 900–1000 кгс/см². Такая прочность у керамических материалов получается только при спекании [38].

Как уже отмечалось выше, интервал плавкости КШ очень короток. Его увеличение возможно путем добавки к шла-

му кремнеземистых материалов. Это представлено на фазовой диаграмме системы $FeO-Al_2O_3-SiO_2$ (рис. 3, составлено авторами), на которую нанесены характеристические точки КШ, кварца и глины, полученные пересчетом химического состава компонентов с унификацией флюсующих оксидов. Так, при добавке к шламу кремнезема образуется эвтектика с температурой плавления 1170 °С, появление которой значительно увеличивает интервал плавкости шихты [40, 41].

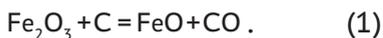
Обе описанные выше глинистые добавки располагаются на диаграмме $FeO-Al_2O_3-SiO_2$ по отношению к КШ в сторону более тугоплавких эвтектик. Максимальное возможное снижение температуры плавления достигается только при условии больших по объему добавок, по сравнению с кварцем. Однако повышение связности шихты определяет необходимость их использования. Поэтому в лабораторных испытаниях

Рис. 3. Фазовая диаграмма системы $FeO-Al_2O_3-SiO_2$ Fig. 3. Phase diagram of the $FeO-Al_2O_3-SiO_2$ system

использованы все три добавки, т.е. обе глины и песок, размолотые и просеянные через сито до крупности 0,14 мм.

Состав шихт варьировался в пределах соотношений от 5:95 до 30:70 (добавка/КШ). Смесь тщательно перемешивали многократным просевом через ячейку 0,14 мм и увлажняли до 8%. Образцы в виде брикетов $d = 35$ мм и $h = 25$ мм прессовали в отдельной форме при давлении 200 кг/см². Отформованный сырец имел вполне удовлетворительную прочность [42].

После сушки цилиндры обжигали в печи при температуре 1180–1280 °С с интервалом в 20 °С. Режим обжига: 3,5 ч — подъем температуры до заданной, 1 ч — подогрев и охлаждение вместе с печью (обычно в течение 8 ч). Обозначенные образцы имели темно-коричневый цвет. На поверхности некоторых из них появлялись мелкие вспучивания ($\varnothing 1$ мм); некоторые начинали раздуваться и деформировались. После испытаний на прочность части образца осматривались в отраженном свете с помощью микроскопа МН-8 при увеличении $\times 100$. Установлено, что образцы по своему объему имели почти черный цвет с металлическим блеском, свойственным высокотемпературным модификациям окиси железа и ее соединений с оксидами других металлов. Структура спека — пористая с большим количеством мелких закрытых пор скругленной формы ($\varnothing 17 - 35$ мм). В некоторых образцах встречаются более крупные поры, имеющие нарушенный контур, размером до 250 мкм, образовавшиеся за счет слияния мелких пор в сообщающиеся каналы. В момент размягчения массы образуются поры в результате вздувания газа, выделяющегося при восстановлении аниона железа посредством углерода [43 — 45]:



Частицы, содержащиеся в микропорах, в процессе формирования порошка являются причиной расширения воздуха. Появление пор внутри изделия и вспучивания на его поверхности может повлиять на выбор технологических операций подготовки шихты к формованию и режиму обжига.

Визуальное наблюдение под микроскопом наличия пор в интервале 30 — 35% хорошо совпадает с расчетами. Испытания показали, что плотность спека γ (удельный вес) колеблется в пределах 2,00 — 2,25 г/см³. Суммарная пористость определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \text{По} &= \frac{\gamma_y - \gamma_0}{\gamma_y} 100\% = \\ &= \frac{3,10 + (2,0 \div 2,25)}{3,19} 100\% = . \quad (2) \\ &= 37,0 \div 29,5\% \end{aligned}$$

Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний керамических масс, полученных при обжиге шихт из КШ с добавками, приведены в табл. 5 [46].

Технические характеристики керамических масс на основе КШ приведены в табл. 6 [47].

Анализируя результаты испытаний этих масс, следует отметить следующее:

1. Наиболее эффективной добавкой по отношению к КШ является кварц (рис. 4, а, составлено авторами). Его добавка до 5% обуславливает снижения температуры обжига, при которой обеспечивается спекание и получение максимальной прочности, на 40 °С по сравнению с КШ. Увеличение содержания кварца в шихте ведет к дальнейшему снижению температуры обжига [48].

Однако кварцевый песок не может быть рекомендован в качестве добавки к КШ, так как он делает массу короткоплавкой, вследствие чего небольшое

Таблица 5

Прочность керамических масс из смесей КШ с добавками
Strength of ceramic masses from mixtures of RM with additives

№	Вид и количество добавки кремнезем-содержащего сырья, %	Температура обжига, °С						
		—	1180	1200	1220	1240	1260	1280
Предел прочности при сжатии, кг/см ²								
1	Суглинок светлый (Горнощитинского месторождения)	5	500	540	740	1020	850	520
2		10	480	640	1050	1010	670	600
3		15	550	910	1000	990	810	700
4		20	580	860	1170	884	400	деф.
5		25	700	919	1027	894	619	деф.
6		30	790	1100	1110	711	деф.	—
7	Глина бурая (Горнощитинского месторождения)	5	490	580	880	820	540	500
8		10	540	740	850	905	700	420
9		15	600	820	930	830	700	380
10		20	600	825	940	870	640	деф.
11		25	650	875	950	700	деф.	—
12		30	740	907	644	544	деф.	—
13	Кварцевый песок Каменск-Уральского месторождения	5	480	550	600	700	500	деф.
14		10	560	640	680	740	360	деф.
15		15	640	680	704	670	деф.	—
16		20	710	720	730	520	деф.	—
17		25	800	454	деф.	—	—	—
18		30	830	деф.	—	—	—	—

Таблица 6

Характеристики керамических масс из смесей КШ с добавками
Characteristics of ceramic masses from mixtures of RM with additives

№ пп	Наименование	Единицы измерения	Показатели		
			добавка к красному шламу		
			бурая пластичная глина	светлый суглинок	молотый песок
1	Оптимальная величина добавки	%	15–20	15–20	15
2	Оптимальная температура обжига	°С	1230	1230	1200
3	Интервал плавкости	°С	60	40	20
4	Объемная масса	г/см ³	1,9–2,3	1,8–2,2	1,9–2,1
5	Плотность	г/см ³	3,2	3,2	3,18
6	Водопоглощаемость	%	5	4,8	6
7	Предел прочности при сжатии	кгс/см ²	1000	1100	850
8.	Кислотостойкость	%	89–95	87–92	92–95

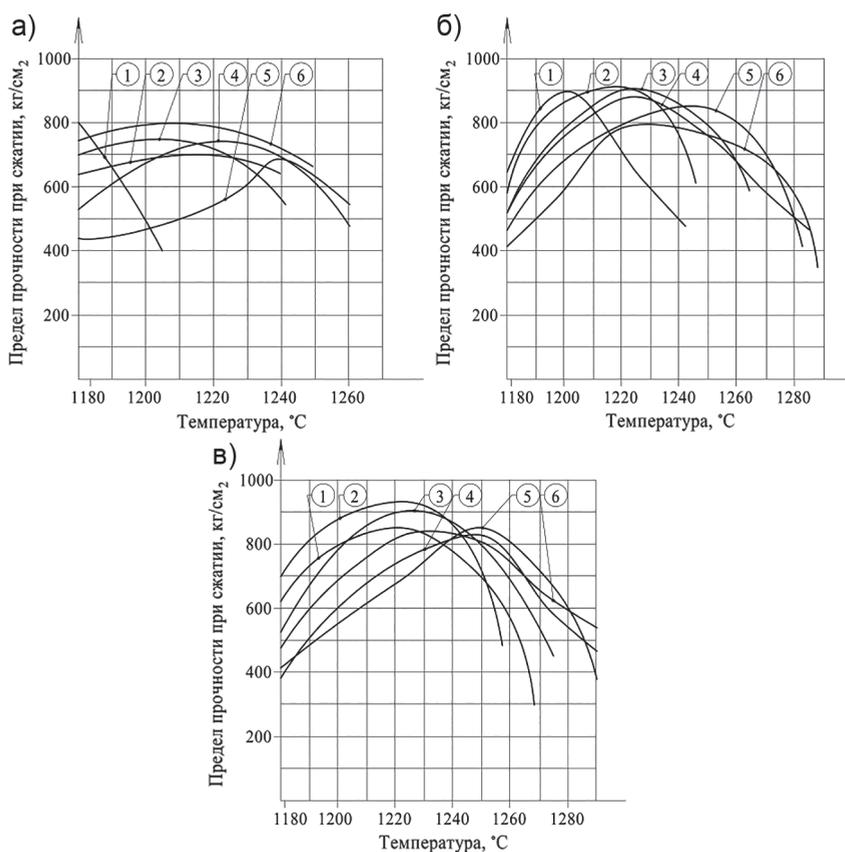


Рис. 4. Предел прочности при сжатии: для кварцевого песка (а); для бурой глины (б); для светлого суглинка (в)

Fig. 4. Compressive strength: for quartz sand (a); for brown clay (b); for light loam (c)

повышение температуры обжига по отношению к оптимальной ведет к падению прочности и деформации изделий. Таким же образом влияют и другие кремнеземистые добавки, которыми можно заменить требующий помола кварцевый песок, например мершалит или трепел.

2. Пластичная бурая глина также способствует снижению температуры обжига КШ (рис. 4, б, составлено авторами). Но по сравнению с кварцем интервал оптимальных температур обжига до спекания достигает 60 °С; в производственных условиях, где значительную роль играет фактор продолжительности тепловой обработки, этот интервал будет еще шире. Величина добавки глины к

шламу, обеспечивающая получение максимального эффекта, как в смысле максимального содержания шлама в шихте, так и по технологическим соображениям, должна быть равна 15–20%.

3. Эффективность использования в качестве добавки светлого суглинка занимает промежуточное положение между кварцем и пластинчатой глиной (рис. 4, в, составлено авторами). Более того, добавка суглинка способствует даже некоторому повышению прочности, по сравнению с двумя другими. Оптимальная величина дозировки его, так же как и глины, равна 15–20%. Оптимальная температура обжига составляет около 1200 °С.

Наряду с высокой механической прочностью керамический спек на основе КШ обладает высокой кислотостойкостью. Поэтому, кроме использования его для изготовления заполнителя в бетонах, практически любой прочности КШ может найти применение в производстве огнеупоров [49].

Выводы

В результате изучения состава и свойства КШ УАЗ установлено следующее:

1. КШ представляет собой тонкодисперсную смесь гематита и гелеобразных масс, состоящих из железа, алюминия, гидроалюмоокислого натрия и карбоната кальция. При добавлении других порошкообразных материалов КШ не требует предварительного измельчения. В водной среде легко размешиваются, но устойчивых суспензий не образуют.

2. Могут быть использованы как основной компонент шихты (80%) в производстве керамических изделий с добавкой кремнеземистых и пластифицирующих материалов (тонкодисперсных суглинков) в количестве до 20%.

3. Свойства обожженного до состояния, близкого к спеканию, керамического спека из шихты состава 80% КШ,

20% суглинка при пластическом способе формования близки к требованиям, предъявляемым к кислотоупорным бетонам для химической промышленности.

4. При пластической формовке по способу, применяемому в керамзитовой промышленности, получен прочный материал, пригодный для использования в качестве крупного заполнителя в обычных тяжелых бетонах.

Использование КШ в качестве добавок к бетонам позволяет существенно уменьшить шламоотвалы, а значит, снизить их негативное влияние на окружающую среду при пылении отвалов, а также позволит более рационально подходить к ресурсосбережению за счет использования в производстве побочных продуктов добычи бокситов.

Рекомендации по применению

В соответствии с результатами исследований рекомендуется КШ применять в производстве строительных материалов в наиболее перспективных направлениях, способствующих утилизации этого отхода в производстве кислотоупорных бетонов и в качестве заменителя гравия для тяжелых бетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Litvinenko V., Bowbrick I., Naumov I., Zaitseva Z.* Global guidelines and requirements for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals // *Journal of Cleaner Production*. 2022, vol. 338, article 130530. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130530.

2. *Пономарева М. А., Черемисина О. В., Машукова Ю. А., Лукьянцева Е. С.* Повышение эффективности извлечения РЗМ из технологических растворов в процессе переработки апатитового сырья // *Записки Горного института*. — 2021. — Т. 252. — С. 1–10. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.13.

3. *Еремеева О. С., Мочалова Л. А.* Организационно-экономический механизм циркулярного недропользования // *Journal of New Economy*. — 2023. — Т. 24. — № 1. — С. 104–125. DOI: 10.29141/2658-5081-2023-24-1-5.

4. *Крупская Л. Т., Зверева В. П., Склярова Г. Ф., Орлов А. М.* Техногенные поверхностные образования как источник загрязнения экосферы и обоснование возможности их освоения в Дальневосточном федеральном округе // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2. — С. 5–21. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-5-21.

5. Майорова Л. П., Черенцова А. А., Крупская Л. Т., Голубев Д. А., Колобанов К. А. Оценка техногенного загрязнения воздушного бассейна при пылении хвостохранилищ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 1. — С. 5–20. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-5-20.

6. Рыльникова М. В., Джаппуев Р. К., Цупкина М. В. Проблемы и перспективы вовлечения в промышленную эксплуатацию отходов переработки руд Тырнаузского месторождения // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2021. — Т. 4. — № 1. — С. 86–96. DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-86-96.

Литературу с п. 7 по п. 10 смотри в REFERENCES.

11. Коновалова Н. А., Панков П. П., Бесполитов Д. В. Минимизация воздействия отходов щебеночного производства на окружающую среду путем их вовлечения в составы дорожно-строительных материалов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. — 2021. — Т. 29. — № 1. — С. 82–91. DOI: 10.22363/2313-2310-2021-29-1-82-91.

12. Капустина Г. Г., Римлянд В. И. Исследование воздействия непрерывного лазерного излучения на красный шлам // Вести научных достижений. Естественные и технические науки. — 2020. — Т. 1. — С. 6–9. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-6-9.

13. Тимофеев А. А., Даныкина Г. Б., Пискажова Т. В., Колмакова Л. П. Виртуализация трубчатого выщелачивателя при производстве глинозема // iPolytech Journal. — 2022. — Т. 26. — № 3. — С. 554–565. DOI: 10.21285/1814-3520-2022-3-554-565.

14. Семеновых М. А., Скрипникова Н. К., Шеховцов В. В. Использование кальцийсодержащего техногенного сырья для получения анортитовой керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2022. — Т. 24. — № 2. — С. 106–113. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-106-113.

15. Сизяков В. М., Козырев Б. А. Переработка формиатных растворов после выщелачивания красного шлама // iPolytech Journal. — 2021. — Т. 25. — № 5. — С. 633–642. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-5-633-642.

16. Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А., Собенин А. В., Усманов А. И. Оценка возможной деградации экосистемы при использовании промышленных отходов горно-металлургического комплекса при ликвидации горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5-2. — С. 193–201. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_193.

17. Палкина Д. С. Экологическая обстановка в регионах базирования российских корпораций цветной металлургии // Экономика и экология территориальных образований. — 2022. — Т. 6. — № 1. — С. 43–54. DOI: 10.23947/2413-1474-2021-6-1-43-54.

18. Voikov A. V., Savelev R. V., Payor V. A., Erokhina O. O. The control method concept of bulk material behaviour in the pelletizing drum for improving the results of DEM-modeling // CIS Iron and Steel Review. 2019, no. 17, pp. 10–13. DOI: 10.17580/cisisr.2019.01.02.

19. Ефименко А. А., Орлов А. А., Макеева Д. А., Козырь Д. А., Волкова В. А. Экологическая безопасность и энергетическая независимость Донбасса // Уголь. — 2021. — № 6. — С. 58–61. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-58-61.

20. Сумина А. В., Павлова Е. В., Кырова С. А., Ворожцов Е. П. Изучение размера пылевых частиц в районах угледобычи с использованием депонирующей способности снежного покрова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. — 2022. — Т. 30. — № 2. — С. 153–163. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-2-153-163.

21. Абдрахимов В. З., Лаухин В. М. Эколого-экономическая эффективность рециклинга золошлака в производство пористого заполнителя // XXI век. Техносферная безопасность. — 2023. — Т. 8. — № 1. — С. 8–17. DOI: 10.21285/2500-1582-2023-1-8-17.

22. Антонинова Н. Ю., Собенин А. В., Усманов А. И., Шепель К. В. Оценка возможности использования отходов железо-магниевого производства для очистки сточных вод

от тяжелых металлов (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}) // Записки Горного института. — 2023. — Т. 260. — № 1. — С. 1–10. DOI: 10.31897/PMI.2023.34.

23. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Влияние шлака от производства металлического хрома на технические показатели кислотоупорных плиток // Construction and Geotechnics. — 2021. — Т. 12. — № 4. — С. 94–102. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.4.07.

24. Анпилов С. М., Абдрахимов В. З. Использование золы легкой фракции и межсланцевой глины в производстве сейсмостойкого кирпича // Уголь. — 2021. — № 4. — С. 57–62. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-57-62.

25. Dobra G., Iliev S., Cotet L., Boianciu A., Hulka I., Kim L., Catrina G. A., Filipescu L. Heavy metals as impurities in the bayer production cycle of the aluminum hydroxide from Sierra Leone bauxite. Preliminary study // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2021, vol. 114, no. 2, pp. 151–165. DOI: 10.17516/1999-494X-0296.

26. Kefiyalew Z., Januarti J. E. Bond strength in PVA fibre reinforced fly ash-based geopolymer concrete // Magazine of Civil Engineering. 2021, vol. 101, no. 1, article 10105. DOI: 10.34910/MCE.101.5.

27. Vidyadhara V., Saurabh B., Ranganath R. V. Impact of pond ash as fine aggregate on mechanical and microstructural properties of geopolymer concrete // Magazine of Civil Engineering. 2022, vol. 113, no. 5, article 11305. DOI: 10.34910/MCE.113.5.

28. Зубкова О. С., Алексеев А. И., Сизяков В. М., Полянский А. С. Исследование влияния солей серной кислоты на процесс осаждения глинистой суспензии // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. — 2022. — Т. 65. — № 1. — С. 44–49. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6447.

Литературу с п. 29 по п. 35 смотри в REFERENCES.

36. Паламодов К. Е. Анализ опасностей при бурении в арктических условиях // Вестник науки. — 2023. — Т. 3. — № 4(61). — С. 231–242.

37. Бурханова Р. А., Лукьяница С. В., Колтунов Д. Р., Маслов Н. А., Лупиногина О. К. Изучение влияния карьерной влажности и гранулометрического состава на стабильность технологических показателей при производстве Lego-кирпича // Инженерный вестник Дона. — 2022. — № 12. — С. 1–11.

38. Матвеев А. И., Лебедев И. Ф., Винокуров В. Р., Львов Е. С. Научно-экспериментальные основы сухого обогачения руд полезных ископаемых // Записки Горного института. — 2022. — Т. 256. — С. 613–622. DOI: 10.31897/PMI.2022.90.

39. Shlyakhova E., Egorochkina I. A complex organomineral admixture for cement saving // Journal of Architectural and Engineering Research. 2022, vol. 3, pp. 93–97. DOI: 10.54338/27382656-2022.3-011.

40. Aryngazin K., Abisheva A. Use of recycled waste in the production of building materials // Technobius. 2022, vol. 2, no. 2, article 0020. DOI: 10.54355/tbus/2.2.2022.0020.

41. Працкова С. Е., Бурмистров В. А., Старикова А. А. Термодинамическое моделирование оксидных расплавов системы $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ // Известия вузов. Химия и химическая технология. — 2020. — Т. 63. — № 1. — С. 45–50. DOI: 10.6060/ivkkt.20206301.6054.

42. Халифа А. А., Утков В. А., Бричкин В. Н. Влияние красного шлама на предотвращение полиморфизма двухкальциевого силиката и саморазрушение агломерата // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2020. — Т. 24. — № 1. — С. 231–240. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-1-231-240.

43. Князева А. Г., Анисимова М. А., Коростелева Е. Н. Особенности диффузионно-контролируемых процессов управляемого объемного синтеза из порошковых смесей $Ti-Al-Fe-Fe_2O_3$ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. — 2022. — № 3. — С. 125–134. DOI: 10.15593/pern.mech/2022.3.13.

44. Минько Д. В., Дьячкова Л. Н., Пинчук Т. И. Структурные особенности композиционного материала, полученного электроимпульсным прессованием из многокомпонентных порошковых смесей на основе железа // Литье и металлургия. — 2023. — № 1. — С. 118–123. DOI: 10.21122/1683-6065-2023-1-118-123.

45. Пелевин А. Е. Технологии обогащения железных руд России и пути повышения их эффективности // Записки Горного института. – 2022. – Т. 256. – С. 579–592. DOI: 10.31897/PMI.2022.61.

46. Шепель Е. В., Аюпова Н. Р. Минералого-геохимические особенности рудовмещающей толщи месторождения Угахан, Бодайбинский рудный район // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 1. – С. 209–225. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3727.

47. Nasurillaeva J. J., Eshniyazov R., Xudoyberdiev F. Metallurgiya shlaklardan sement klinkeri qo'shimchalari olish jarayonlarini o'rganish. Scientific Progress. 2023, vol. 4, no. 1, pp. 70–73.

48. Umarov F. Sh., Jaloldinov A. B., Yuldasheva N. Physico-chemical processes of cement hydration using shales. Science and Innovation. 2023, vol. 2, no. 3, pp. 5–7. DOI: 10.5281/ZENODO.7698734.

49. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Жаростойкий бетон на основе ортофосфорной кислоты, отходов цветной металлургии и химической промышленности // Construction and Geotechnics. – 2021. – Т. 12. – № 1. – С. 72–85. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.1.06. **MIAB**

REFERENCES

1. Litvinenko V., Bowbrick I., Naumov I., Zaitseva Z. Global guidelines and requirements for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*. 2022, vol. 338, article 130530. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130530.

2. Ponomareva M. A., Cheremisina O. V., Mashukova Yu. A., Lukyantseva E. S. Increasing the efficiency of REM extraction from process solutions in the process of processing apatite raw materials. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 252, pp. 1–10. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.13.

3. Eremeeva O. S., Mochalova L. A. Organisational economic mechanism of circular subsoil use. *Journal of New Economy*. 2023, vol. 24, no. 1, pp. 104–125. [In Russ]. DOI: 10.29141/2658-5081-2023-24-1-5.

4. Krupskaya L. T., Zvereva V. P., Sklyarova G. F., Orlov A. M. Aboveground mining waste storage as an ecosystem pollution source and waste exploitability in Russia's Far East. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2, pp. 5–21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-5-21.

5. Mayorova L. P., Cherentsova A. A., Krupskaya L. T., Golubev D. A., Kolobanov K. A. Assessment of manmade air pollution due to dusting at mine tailings storage facilities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 5–20. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-5-20.

6. Rylnikova M. V., Dzhappuev R. K., Tsupkina M. V. Problems and prospects of involvement in industrial operation of waste processing of ores of the Tyrnyauz deposit. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2021, vol. 4, no. 1, pp. 86–96. [In Russ]. DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-86-96.

7. Khalifa A., Bazhin V., Kuskova Y., Abdelrahim A., Ahmed Y. Study the recycling of red mud in iron ore sintering process. *Journal of Ecological Engineering*. 2021, vol. 22, no. 6, pp. 191–201. DOI: 10.12911/22998993/137966.

8. Archambo M., Kawatra S. K. Red mud: fundamentals and new avenues for utilization. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2021, vol. 42, no. 7, pp. 427–450. DOI: 10.1080/08827508.2020.1781109.

9. Qi X., Wang H., Zhang L., Xu B., Shi Q., Li F. Removal of Cr (III) from aqueous solution by using bauxite residue (red mud): Identification of active components and column tests. *Chemosphere*. 2020, vol. 245, article 125560. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125560.

10. Swain B., Akcil A., Lee J. Red mud valorization an industrial waste circular economy challenge; review over processes and their chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2022, vol. 52, no. 4. pp. 520–570. DOI: 10.1080/10643389.2020.1829898.

11. Konovalova N. A., Pankov P. P., Bespolitov D. V. Minimizing the impact of crushed stone production waste on the environment by involving them in the composition of road construction materials. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021, vol. 29, no. 1, pp. 82–91. [In Russ]. DOI: 10.22363/2313-2310-2021-29-1-82-91.
12. Kapustina G. G., Rimlyand V. I. Investigation of the impact of continuous laser radiation on red mud. *Vesti nauchnykh dostizheniy. Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2020, vol. 1, pp. 6–9. [In Russ]. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-6-9.
13. Timofeev A. A., Danykina G. B., Piskazhova T. V., Kolmakova L. P. Virtualization of a tubular lixiviator in alumina production. *iPolytech Journal*. 2022, vol. 26, no. 3, pp. 554–565. [In Russ]. DOI: 10.21285/1814-3520-2022-3-554-565.
14. Semenovykh M. A., Skripnikova N. K., Shekhovtsov V. V. The use of calcium-containing technogenic raw materials for the production of anorthite ceramics. *Journal of Construction and Architecture*. 2022, vol. 24, no. 2, pp. 106–113. [In Russ]. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-106-113.
15. Szyakov V. M., Kozyrev B. A. Processing of formate solutions after red mud leaching. *iPolytech Journal*. 2021, vol. 25, no. 5, pp. 633–642. [In Russ]. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-5-633-642.
16. Antoninova N. Yu., Shubina L. A., Sobenin A. V., Usmanov A. I. Assessment of the possible degradation of the ecosystem when using industrial waste of the mining and metallurgical complex during the liquidation of mine workings. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-2, pp. 193–201. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_193.
17. Palkina D. S. Ecological situation in the regions where Russian non-ferrous metallurgy corporations are based. *Economy and ecology of territorial formations*. 2022, vol. 6, no. 1, pp. 43–54. [In Russ]. DOI: 10.23947/2413-1474-2021-6-1-43-54.
18. Boikov A. V., Savelev R. V., Payor V. A., Erokhina O. O. The control method concept of bulk material behaviour in the pelletizing drum for improving the results of DEM-modeling. *CIS Iron and Steel Review*. 2019, no. 17, pp. 10–13. DOI: 10.17580/cisr.2019.01.02.
19. Efimenko A. A., Orlov A. A., Makeeva D. A., Kozyr D. A., Volkova V. A. Ecological safety and energy independence of Donbass. *Ugol'*. 2021, no. 6, pp. 58–61. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-58-61.
20. Sumina A. V., Pavlova E. V., Kirova S. A., Vorozhtsov E. P. Study of the size of dust particles in coal mining areas using the depositing capacity of the snow cover. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022, vol. 30, no. 2, pp. 153–163. [In Russ]. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-2-153-163.
21. Abdrakhimov V. Z., Laukhin V. M. Ecological and economic efficiency of ash and slag recycling into the production of porous filler. *Technosphere Safety. XXI Century*. 2023, vol. 8, no. 1, pp. 8–17. [In Russ]. DOI: 10.21285/2500-1582-2023-1-8-17.
22. Antoninova N., Sobenin A., Usmanov A., Shepel K. Assessment of the possibility of using iron-magnesium production waste for wastewater treatment from heavy metals (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}). *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 260, no. 1, pp. 1–10. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.34.
23. Abdrakhimov V. Z., Abdrakhimova E. S. Influence of slag from the production of metallic chromium on the technical performance of acid-resistant tiles. *Construction and Geotechnics*. 2021, vol. 12, no. 4, pp. 94–102. [In Russ]. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.4.07.
24. Anpilov S. M., Abdrakhimov V. Z. The use of light fraction ash and intershale clay in the production of earthquake-resistant bricks. *Ugol'*. 2021, no. 4, pp. 57–62. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-57-62.
25. Dobra G., Iliev S., Cotet L., Boiangiu A., Hulka I., Kim L., Catrina G. A., Filipescu L. Heavy metals as impurities in the bayer production cycle of the aluminum hydroxide from Sierra Leone bauxite. Preliminary study. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2021, vol. 114, no. 2, pp. 151–165. DOI: 10.17516/1999-494X-0296.

26. Kefiyalew Z., Januarti J. E. Bond strength in PVA fibre reinforced fly ash-based geopolymer concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2021, vol. 101, no. 1, article 10105. DOI: 10.34910/MCE.101.5.

27. Vidyadhara V., Saurabh B., Ranganath R. V. Impact of pond ash as fine aggregate on mechanical and microstructural properties of geopolymer concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2022, vol. 113, no. 5, article 11305. DOI: 10.34910/MCE.113.5.

28. Zubkova O. S., Alekseev A. I., Sizyakov V. M., Polyansky A. S. Research of sulfuric acid salts influence on sedimentation process of a clay suspension. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2022, vol. 65, no. 1, pp. 44 – 49. [In Russ]. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6447.

29. Nikolaeva N. V., Aleksandrova T. N., Chanturiya E. L., Afanasova A. Mineral and technological features of magnetite – hematite ores and their influence on the choice of processing technology. *ACS Omega*. 2021, vol. 6, no. 13, pp. 9077 – 9085. DOI: 10.1021/acsomega.1c00129.

30. Talibli I. A., Samedzade G. M., Alieva J. M., Mammadov A. N., Gamidov R. G., Gasimova A. M., Shadlinskaya G. V. Sludge-free production of pure alumina from rocks containing iron oxides and silica. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2022, no. 1, pp. 68 – 72. DOI: 10.32737/0005-2531-2022-1-68-72.

31. Skripnikova N. K., Semenovykh M. A., Shekhovtsov V. V. Anorthite-based building ceramics. *Magazine of Civil Engineering*. 2023, vol. 117, no. 1, article 11706. DOI: 10.34910/MCE.117.6.

32. Ochir A., Tserenbyamba Kh. Some results of the preliminary research on the ruins, Dov Ders. *Multidisciplinary Research in Archeology*. 2020, no. 2, pp. 125 – 135. DOI: 10.24412/2658-3550-2020-2-125-135.

33. Shaikhezhan A., Anuarova A. D. Belite-containing clinkers from phosphoric slags for refractory materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2022, vol. 110, no. 2, article 11010. DOI: 10.34910/MCE.110.10.

34. Kunshin A., Dvoynikov M., Timashev E., Starikov V. Development of monitoring and forecasting technology energy efficiency of well drilling using mechanical specific energy. *Energies*. 2022, vol. 15, no. 19, article 7408. DOI: 10.3390/en15197408.

35. Kudinova A. A., Poltoratckaya M. E., Gabdulkhakov R. R., Litvinova T. E., Rudko V. A. Parameters influence establishment of the petroleum coke genesis on the structure and properties of a highly porous carbon material obtained by activation of KOH. *Journal of Porous Materials*. 2022, vol. 11, no. 6, article 9. DOI: 10.1007/s10934-022-01287-1.

36. Palamodov K. E. Analysis of hazards during drilling in arctic conditions. *Vestnik nauki*. 2023, vol. 3, no. 4(61), pp. 231 – 242. [In Russ].

37. Burkhanova R. A., Lukyanitsa S. V., Koltunov D. R., Maslov N. A., Lupinogina O. K. Study of the influence of quarry moisture and particle size distribution on the stability of technological indicators in the production of Lego bricks. *Engineering Journal of Don*. 2022, no. 12, pp. 1 – 11. [In Russ].

38. Matveev A., Lebedev I., Vinokurov V., Lvov E. Scientific experimental bases for dry beneficiation of mineral ores. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 256, pp. 613 – 622. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.90.

39. Shlyakhova E., Egorochkina I. A complex organomineral admixture for cement saving. *Journal of Architectural and Engineering Research*. 2022, vol. 3, pp. 93 – 97. DOI: 10.54338/27382656-2022.3-011.

40. Aryngazin K., Abisheva A. Use of recycled waste in the production of building materials. *Technobius*. 2022, vol. 2, no. 2, article 0020. DOI: 10.54355/tbus/2.2.2022.0020.

41. Pratskova S. E., Burmistrov V. A., Starikova A. A. Thermodynamic modeling of oxide melts of the CaO–Al₂O₃–SiO₂ system. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2020, vol. 63, no. 1, pp. 45 – 50. [In Russ]. DOI: 10.6060/ivkkt.20206301.6054.

42. Khalifa A. A., Utkov V. A., Brichkin V. N. Influence of red mud on the prevention of dicalcium silicate polymorphism and self-destruction of agglomerate. *Proceedings of Irkutsk*

State Technical University. 2020, vol. 24, no. 1, pp. 231 – 240. [In Russ]. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-1-231-240.

43. Knyazeva A. G., Anisimova M. A., Korosteleva E. N. Features of diffusion-controlled processes of controlled volumetric synthesis from Ti–Al–Fe–Fe₂O₃ powder mixtures. *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2022, no. 3, pp. 125 – 134. [In Russ]. DOI: 10.15593/perm.mech/2022.3.13.

44. Minko D. V., Dyachkova L. N., Pinchuk T. I. Structural features of a composite material obtained by electropulse pressing from multicomponent powder mixtures based on iron. *Foundry production and metallurgy*. 2023, no. 1, pp. 118 – 123. [In Russ]. DOI: 10.21122/1683-6065-2023-1-118-123.

45. Pelevin A. E. Iron ore beneficiation technologies in Russia and ways to improve their efficiency. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 256, pp. 579 – 592. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.61.

46. Shepel E. V., Ayupova N. R. Mineralogical and geochemical features of the ore-bearing strata of the Ugakhan deposit, Bodaibo ore district. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2023, vol. 334, no. 1, pp. 209 – 225. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3727.

47. Nasurillaeva J. J., Eshniyazov R., Xudoyberdiev F. Metallurgiya shlaklardan sement klinkeri qo'shimchalari olish jarayonlarini o'rganish. *Scientific Progress*. 2023, vol. 4, no. 1, pp. 70 – 73.

48. Umarov F. Sh., Jaloldinov A. B., Yuldasheva N. Physico-chemical processes of cement hydration using shales. *Science and Innovation*. 2023, vol. 2, no. 3, pp. 5 – 7. DOI: 10.5281/ZENODO.7698734.

49. Abdrakhimov V. Z., Abdrakhimova E. S. Heat-resistant concrete based on phosphoric acid, non-ferrous metallurgy waste and chemical industry. *Construction and Geotechnics*. 2021, vol. 12, no. 1, pp. 72 – 85. [In Russ]. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.1.06.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лебедев Андрей Борисович¹ – канд. техн. наук,
научный сотрудник, НЦ «Переработки ресурсов»,
e-mail: 2799957@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8081-9301,

Конкин Сергей Николаевич¹ – студент,
e-mail: Sergeykonkin3@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0005-2353-7913,

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.
Для контактов: Лебедев А.Б., e-mail: 2799957@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.B. Lebedev¹, Cand. Sci. (Eng.), Researcher,
Scientific Center «Problems of Processing
of Mineral and Technogenic Resources»,
e-mail: 2799957@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8081-9301,

S.N. Konkin¹, Student,
e-mail: Sergeykonkin3@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0005-2353-7913,

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: A.B. Lebedev, e-mail: 2799957@mail.ru.

Получена редакцией 03.03.2023; получена после рецензии 05.06.2023; принята к печати 10.11.2023.
Received by the editors 03.03.2023; received after the review 05.06.2023; accepted for printing 10.11.2023.