

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

RECYCLING OF MAN-MADE MINERAL FORMATIONS AND WASTE

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 666.774:669.054.82

DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-21-28



РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВО КИСЛОТОУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Абдрахимов В.З.

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

Аннотация. Постановка задачи. С учетом истощения силикатного алюмосодержащего традиционного сырья для производства керамических материалов строительного направления необходимо изыскать и исследовать способы его замены на техногенное сырье. Такой опыт показали передовые зарубежные государства и использовали еще его как инструментарий по охране окружающей природной среды от различных негативных последствий. **Цель работы.** Получение кислотоупоров на основе отходов металлургии – глинистой части хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд (далее ГЦИ), используемых в качестве глинистого связующего, и шлака от выплавки ферротитана, используемого в качестве отощителя, без применения природных традиционных материалов, исследование влияния шлака на технические показатели кислотоупоров. **Используемые методы.** Для исследования сырьевых материалов в настоящей работе были использованы современные методы химического анализа: для поэлементного анализа – растровый электронный микроскоп JSM 6390A (Jeol, Япония); для петрографического исследования использовались иммерсионные жидкости, прозрачные шлифы и аншлифы, микроскопы МИН-8 и МИН-7. Для определения технических свойств использовался ГОСТ 961-89 «Плитки кислотоупорные и термокислотоупорные керамические» (марка КШ (кислотоупорные шамотные)). **Результат.** Исследования показали, что использование ГЦИ без шлака от выплавки ферротитана, который применяется в качестве отощителя, не позволяет получить кислотоупорную плитку, отвечающую требованиям ГОСТ 961-89 по кислотостойкости даже при температуре обжига 1300°C, из-за повышенного содержания в ГЦИ оксида железа Fe₂O₃ (более 6%). Введение в составы керамических масс шлака от выплавки ферротитана, содержащего оксид алюминия Al₂O₃ более >70%, способствует повышению кислотостойкости. **Практическая значимость.** Использование шлака от выплавки ферротитана с повышенным содержанием оксида алюминия позволяет получить кислотоупорную плитку с высокими техническими показателями.

Ключевые слова: глинистая часть, шлак от выплавки ферротитана, кислотоупорная плитка, отходы металлургии, экология

© Абдрахимов В.З., 2023

Для цитирования

Абдрахимов В.З. Рециклинг отходов металлургии без применения природных традиционных материалов в производство кислотоупорных материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №2. С. 21-28. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-21-28>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

RECYCLING OF METALLURGICAL WASTE WITHOUT THE USE OF NATURAL TRADITIONAL MATERIALS IN THE PRODUCTION OF ACID-RESISTANT MATERIALS

Abdrakhimov V.Z.

Samara State Economic University, Samara, Russia

Abstract. Problem Statement. Factoring into the depletion of silicate aluminum-containing traditional raw materials for the production of ceramic materials of the construction application, it is necessary to find and study how to replace them with industry-related raw materials. Such experience has been shown by advanced foreign states that also used is as a tool for protecting the environment against various negative consequences. **Objectives.** The research is aimed at producing acid-resistant materials based on metallurgical waste, namely a clay part of gravity tailings of zircon-ilmenite ores (GZI) used as a clay binder and ferrotitanium slag used as a leaner without the use of natural traditional materials; studying the effect of slag on the technical characteristics of acid-resistant materials. **Methods Applied.** To study the raw materials, modern chemical analysis methods were used in the research: JSM 6390A, a scanning electron microscope by Jeol, Japan, to perform an elemental analysis; immersion liquids, transparent sections and polished sections, microscopes MIN-8 and MIN-7 were used for the petrographic study. To determine the technical properties, GOST 961-89 "Acid-resistant and thermostable acid-resistant ceramic tiles" of the KSh brand (acid-resistant chamotte) was used. **Result.** The studies have shown that the use of GZI without ferrotitanium slag, which is applied as a leaner, does not contribute to producing acid-resistant tiles in compliance with the requirements of GOST 961-89 for acid resistance even at a firing temperature of 1300 °C because of a higher content of iron oxide ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 6\%$) in GZI. Introducing ferrotitanium slag, containing aluminum oxide $\text{Al}_2\text{O}_3 > 70\%$, into compositions of ceramic mixtures contributes to an increase in acid resistance. **Practical Relevance.** The use of ferrotitanium slag with an increased content of aluminum oxide makes it possible to produce acid-resistant tiles with increased technical indicators.

Keywords: clay part, ferrotitanium slag, acid-resistant tiles, metallurgical waste, ecology

For citation

Abdrakhimov V.Z. Recycling of Metallurgical Waste Without the Use of Natural Traditional Materials in the Production of Acid-Resistant Materials. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 21-28. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-21-28>

Введение

Ежегодно в России образуется свыше 5 млрд т твердых отходов, из которых коммунальные твердые отходы практически не превышают 70 млн т, что показывает невысокую долю – в пределах 1,5% [1]. Суммарное количество отходов производства, которые называют техногенным сырьем, приближается к 99%.

Металлургическая промышленность в России, согласно данным Росстата, занимает второе место по степени загрязнения окружающей среды после энергетической отрасли. В самой металлургической отрасли доминирует цветная металлургия, за которой следует чёрная.

Таким образом, главными отходообразующими сегментами экономики России стали: угольная промышленность, доля техногенного сырья которой составляет в районе 57% (2,8 млрд т) сов-

местно с добычей, обогащением и агломерацией; цветная металлургия – 15% (740 млн т) совместно с добычей, обогащательными фабриками, добычей ториевых и урановых руд и переработкой различных цветных металлов; черная металлургия – 11% (535 млн т), включая переработку и обогащение железных руд [1].

За последние столетия гигантские объемы техногенного сырья образовались в хвостохранилищах, шламонакопителях, золошлакоотвалах различных ТЭС, полигонах и т.д., что в конечном итоге может привести к кризису [2-4]. Такой экологический кризис XXI века скорее всего станет кризисом редуцентов, это когда редуценты уже не в состоянии будут значительно увеличивающиеся объемы отходов разлагать, особенно то количество техногенного сырья, произведенное человечеством, которое не имеет в природе аналогов по химическому составу [5]. Сле-

дует отметить, что и микроорганизмов для утилизации вновь образовавшегося техногенного сырья и расщепления его в исходные химические элементы также недостаточно [6, 7].

Аналитическая служба международной аудиторско-консалтинговой сети FinExpertiza в 2019 году выяснила, что в России по образованию производственных отходов был установлен рекорд. Количество отходов (техногенного сырья) достигло 7,75 млрд т, что практически в 4 раза больше с момента начала наблюдений с 2002 года (было 2 млрд т).

Специфика большинства металлургических заводов России показывает, что эти производства отрицательно воздействуют не только на экологию, но и на здоровье человека. Из-за массового хранения вредоносного крупнотоннажного техногенного сырья металлургической промышленности происходит зашламовывание почвы, а из-за недостаточно очищенных вод, сброшенных в водоемы, и выброса огромного количества вредных веществ в атмосферу происходит отравление окружающей природной среды [8-10].

Применение крупнотоннажного техногенного сырья в производстве керамических кислотоупорных материалов будет способствовать утилизации отходов производств, расширит сырьевую основу для керамических изделий и внесет большой вклад в экологию государства.

Теоретической основой в настоящее время для разработки основных направлений по использованию отходов производств и созданию безотходных технологий считается комплексное материаловедение. Комплексное материаловедение – это когда связи, относящиеся к корреляционным, представлены в триаде, которая состоит из: а) структуры – от нано- до макромасштаба; б) вещественного состава, в который входят фазовый и химико-минеральный; в) характеристики полученного неорганического материала.

В настоящее время практически отсутствует финансирование на геологоразведочные изыскания сырьевой базы для получения массовых керамических материалов, поэтому актуальными становятся вопросы по замене традиционного природного сырья на техногенные отходы металлургии [11, 12]. Использование техногенного сырья в производстве кислотоупорной продукции будет способствовать изъятию из финансирования геологоразведочных работ, разработки и содержания карьеров. Кроме того, высвободятся

от влияния неблагоприятных антропогенных агентов большие территории.

Для защиты окружающей среды в директиве ЕС 2008/98/ЕС указано, что в этом случае в большей мере будет эффективна именно переработка техногенного сырья с целью его вторичного применения в новом каком-либо продукте, необходимом для общества [13].

С учетом истощения силикатного алюмосодержащего традиционного сырья для производства керамических материалов строительного направления необходимо изыскать и исследовать способы его замены на техногенное сырье. Такой опыт показали передовые зарубежные государства, который использовали еще как инструментальный в деле охраны окружающей природной среды от различных негативных последствий.

Целью работы является получение кислотоупоров на основе отходов металлургии – глинистой части хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд (далее ГЦИ), используемых в качестве глинистого связующего, и шлака от выплавки ферротитана, используемого в качестве отошителя, без применения природных традиционных материалов, а также исследование влияния шлака на технические показатели кислотоупоров.

Материалы и методы исследования

Для исследования сырьевых материалов в настоящей работе были использованы современные методы химического анализа: для поэлементного анализа – растровый электронный микроскоп JSM 6390A (Jeol, Япония); для петрографического исследования использовались иммерсионные жидкости, прозрачные шлифы и аншлифы под микроскопом МИН-8 и МИН-7. Для определения технических свойств использовался ГОСТ 961-89 «Плитки кислотоупорные и термокислотоупорные керамические» (марка КШ (кислотоупорные шамотные)).

1. Экспериментальная часть. В качестве глинистого компонента для изготовления кислотоупоров применялась ГЦИ (глинистая часть хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд), а в качестве отошителей – шамот из обожженной ГЦИ при температуре 1200°C и шлак от выплавки ферротитана. Оксидный и поэлементный химические составы используемых отходов производств представлены в **табл. 1** и **2**, фракционный (гранулометрический) состав – в **табл. 3**, микроструктура отходов производств показана на **рис. 1**, а минералогический состав – на **рис. 2**.

Таблица 1. Усредненный оксидный химический состав сырьевых материалов
Table 1. Average oxide chemical composition of raw materials

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	п.п.п.*
ГЦИ	59,59	22,43	6,74	1,28	1,54	1,58	7,04
Шамот из обожженной ГЦИ	61,88	25,18	7,58	1,54	1,89	1,93	–
Шлак от выплавки ферротитана	1,82	72,13	0,3	14,52	7,72	3,51	–

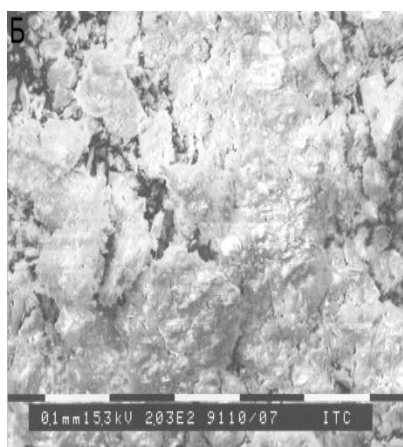
* п.п.п. – потери при прокаливании; R₂O=Na₂O+K₂O.

Таблица 2. Поэлементный химический состав сырьевых материалов
Table 2. Element-by-element chemical composition of raw materials

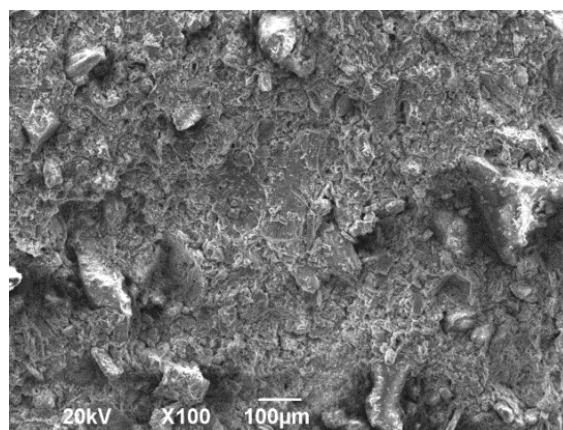
Компонент	Содержание элементов, мас. %								
	C	O	Na	Mg	Al+Ti	Si	K	Ca	Fe
ГЦИ	2,18	51,26	0,26	0,54	15,45	24,8	0,32	0,2	4,87
Шамот из обожженной ГЦИ	–	48,76	0,31	0,71	17,18	27,14	0,35	0,22	5,18
Шлак от выплавки ферротитана	–	35,08	2,35	5,68	36,48+6,32	1,28	0,89	11,78	0,21

Таблица 3. Фракционный состав сырьевых материалов
Table 3. Fractional composition of raw materials

Компонент	Содержание фракций %, при размере частиц, мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
ГЦИ	0,8	8,1	12,1	21,0	58
Шлак от выплавки ферротитана	10,83	25,43	25,52	12,85	25,37



а



б

Рис. 1. Микроструктура отходов производств: а – ГЦИ, увеличение ×1000; б – шлак от выплавки ферротитана, увеличение ×100

Fig. 1. Microstructure of industrial waste: a is GZI, ×1000; б is ferrotitanium slag, ×100



Рис. 2. Минералогический состав отходов производств: а – ГЦИ; б – шлак от выплавки ферротитана
Fig. 2. Mineralogical composition of industrial waste: a is GZI; б is ferrotitanium slag

Глинистый компонент (ГЦИ). Получается ГЦИ после грохочения и дезинтеграции руды с влажностью 37-45% в виде суспензии. Цвет ГЦИ в зависимости от содержания оксида железа может меняться от светло-желтого до розового, плотность сырьевого материала 2,36-2,42 г/см³. В отличие от традиционных каолиновых глин, ГЦИ является более равномерным (однородным) по фракционному (гранулометрическому) и химическим составам благодаря использованию микрогравитационного способа обогащения. Большинство исследований показало, что более однородными являются каолины, обогащенные микрогравитационным способом. Кроме того, применение ГЦИ в производстве кислотоупоров обходится без дорогостоящих карьерных работ и обогащения, что значительно экономит финансовые средства предприятия.

ГЦИ по содержанию оксида алюминия Al_2O_3 является полукислым сырьевым компонентом с повышенным содержанием железистых оксидов (Fe_2O_3 – более 3%, (см. табл. 1)). По наличию фракций крупностью 0,001 мм ГЦИ классифицируется как дисперсное сырье (содержание фракций величиной <0,001 мм – 58% (см. табл. 3)), по пластичности классифицируется как среднепластичное (число пластичности 21-23), среднечувствительное – по чувствительности к сушке, тугоплавкое – по огнеупорности (огнеупорность 1580°C), сильноспекающееся – по спекаемости с интервалом спекания 120-150°C.

Шамот. При термообработке 1200°C ГЦИ получается шамот. Используется в кислотоупорах в качестве отошителя, который даже при обжиге не меняет усадку, поэтому способствует формированию механического каркаса, координирует пластичность керамической массы. Как видно из табл. 1, при обжиге ГЦИ на шамот его химический состав обогащается оксидом алюминия (Al_2O_3) – соответственно с 22,43 до 25,18%.

Шлак от выплавки ферротитана. Фундаментальным отличием шлака от выплавки ферротитана от практически всех аналогичных шлаков цветной и

черной металлургии, химической промышленности и теплоэнергетики является то, что его химическая основа – это глинозем, среднее содержание которого не менее 70%, содержание MgO – более 7%, CaO – более 12%, а SiO_2 не превышает 2-3 мас. % (см. табл. 1). Состав шлака от выплавки ферротитана рационально показать в трехкомпонентной системе $MgO-CaO-Al_2O_3$ [16]. В легированных сталях ферротитан используют для раскисления. Использование в составах керамических масс шлака предоставит возможность весомерно увеличить как кислотостойкость, так и термостойкость благодаря высокому содержанию в шлаке Al_2O_3 [5]. На рис. 2, б представлен минеральный состав шлака, а в табл. 4 свойства минералов шлака.

Как видно из табл. 4, все минералы (фазы) огнеупорные, за исключением стеклофазы. Исследуемый шлак имеет высокие термические показатели: температура размягчения – 1450-1500°C; разрушения – 1520-1580°C; плавления – 1650°C.

2. Получение кислотоупорных плиток. Для получения кислотоупорных плиток были разработаны составы керамических масс. Составы, основные показатели (дообжиговые свойства), пластичность и усадка керамических масс приведены в табл. 5.

Производство кислотоупорной плитки (квдратная плитка типа ПК-1 размером 100×100×20 мм) осуществлялось по классической технологии: компоненты (ГЦИ и отошители) измельчали до размера частиц крупностью менее 1 мм, затем согласно содержанию компонентов в составах (см. табл. 5) они тщательно перемешивались. Керамические образцы производили пластическим способом при влажности шихты 22-24%. Отпрессованные образцы высушивали до влажности не более 5%, затем подвергали термообработке при температурах 1250 и 1300°C.

В табл. 6 представлены технические показатели кислотоупорных плиток, обожженных при температурах 1250 и 1300°C.

Таблица 4. Свойства кристаллических фаз (минералов), входящих в шлак от выплавки ферротитана
Table 4. Properties of crystalline phases (minerals) included in ferrotitanium slag

Минерал	Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³	Твердость по шкале Мооса	Микротвердость, кг/мм ²
Корунд Al ₂ O ₃	2050	3,9-4,1	9	2108
Бонит CaO·6Al ₂ O ₃	1850	3,38	6,5-7,0	1200-1300
Перовскит CaTiO ₃	1970	3,97-4,0	5,5	1120-1150
Стеклофаза (кварц с различными примесями железа, кальция и т.д.)	1300-1400	2,9	6,0-6,5	1150-1250
Магнезиальная шпинель MgAl ₂ O ₄ (MgO·Al ₂ O ₃)	2135	4,05	7,5-8,0	1378-1505

Таблица 5. Составы и показатели керамических масс
Table 5. Compositions and indicators of ceramic mixtures

Компонент	Составы		
	1	2	3
ГЦИ, мас. %	100	60	60
Шамот из обожженной ГЦИ, мас. %	–	40	–
Шлак от выплавки ферротитана, мас. %	–	–	40
Показатели керамической массы:			
– пластичность шихты	22	11	11
– усадка высушенной плитки, %	6,8	4,8	4,8

Таблица 6. Физико-механические показатели кислотоупорных плиток
Table 6. Physical and mechanical parameters of acid-resistant tiles

Показатели	Составы			Согласно ГОСТ 961-89 «Плитки кислотоупорные и термостойкие керамические» (марка КШ (кислотоупорные шамотные))
	1	2	3	
Температура обжига 1250°C				
Водопоглощение, %	3,4	3,2	3,6	Менее 5,0
Кислотостойкость, %	96,5	96,8	97,7	Не менее 98,0
Предел прочности при сжатии, МПа	57,2	60,1	63,5	Не менее 50
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	32,4	34,3	37,4	Не менее 25
Морозостойкость, циклы	42	47	57	Не менее 20
Термическая стойкость, теплосмены	3	4	6	Не менее 5
Температура обжига 1300°C				
Водопоглощение, %	2,3	2,2	1,9	Менее 5,0
Кислотостойкость, %	97,8	98,1	98,8	Не менее 98,0
Предел прочности при сжатии, МПа	63,8	69,4	73,3	Не менее 50
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	38	42	48	Не менее 25
Морозостойкость, циклы	58	69	75	Не менее 20
Термическая стойкость, теплосмены	4	5	8	Не менее 5

Обсуждение полученных результатов

Как видно из **табл. 6**, образцы из состава №1, обожженные при температурах 1250 и 1300°C, не соответствуют требованию ГОСТ 961-89 по кислотостойкости, так как ГЦИ имеет повышенное содержание оксида железа ($Fe_2O_3 > 6\%$) (см. **табл. 1**). В работах [5, 16] было показано, что оксид железа снижает кислотостойкость.

Введение в ГЦИ оптимального количества шамота (40%) способствует производству кислотоупорных плиток, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 961-89 практически по всем физико-механическим (техническим) показателям при термообработке 1300°C (см. **табл. 5, 6**). Следует отметить, что в представленной работе под оптимальным содержанием принимается такое количество отошителя, которое снижает до минимального число пластичности (с 22 до 11) керамической массы, но при дальнейшем уменьшении пластичности на исследуемых образцах появляются трещины.

Замена шамота на шлак от выплавки ферротитана в адекватном количестве увеличивает кислотостойкость в связи с повышенным содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3 > 70\%$) (см. **табл. 1**), который способствует повышению кислотостойкости [17], но также повышает водопоглощение. Феррохромовый алюминотермический шлак имеет огнеупорность выше, чем ГЦИ, соответственно 1580 и 1650°C, поэтому чтобы снизить водопоглощение, необходимо поднять температуру обжига кислотоупорных плиток до 1300°C (см. **табл. 6**).

Выводы

Исследования показали, что образцы из ГЦИ, обожженные при температурах 1250 и 1300°C, не соответствуют требованиям ГОСТ 961-89 по кислотостойкости, из-за повышенного содержания в ГЦИ оксида железа ($Fe_2O_3 > 6\%$), который способствует заметному понижению кислотостойкости.

Установлено, что использование 40% шамота, которое идентифицируется как оптимальное, даёт возможность изготовить кислотоупорные изделия при термообработке 1300°C, отвечающие условиям ГОСТ. В представленной работе под оптимальным содержанием принимается такое количество отошителя, которое уменьшает до минимального число пластичности (с 22 до 11), так как при дальнейшем ухудшении пластичности на исследуемых образцах появляются трещины.

Таким образом, применение оптимального количества шлака (40%) с повышенным содержанием оксида алюминия при термообработке 1300°C дает возможность получить кислотоупорную плитку с высокими химическими и физико-механическими показателями.

Список источников

1. Волынкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. №2. С. 43-49.
2. Романов П.С., Романова И.П. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности // Синергия. 2016. №2. С. 94-99.
3. Романова И.П., Бегунов О.Б. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности // Территория науки. 2016. №2. С. 53-57.
4. Бутин В.М., Мыска С.Ю. Направления развития системы переработки расходов промышленно-производственных подсистем АПК // Территория науки. 2015. №6. С. 91-97.
5. Абдрахимова Е.С. Рециклинг шлака от выплавки ферротитана в производство сейсмостойкого кирпича на основе бейделлитовой глины // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. №7. С. 32-36. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-7-32-36
6. Кальнер В.Д. Экологически ориентированная среда обитания – интегральный критерий качества жизни // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. №11. С. 50-54.
7. Целлюлозно-бумажное производство: устойчивое развитие и формирование экономики замкнутого цикла / Кряжев А.М., Гусев Т.В., Тихонова И.О., Очеретенко Д.П., Алмгрен Р. // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. №11. С. 48-53.
8. Коряков В.Е., Шишкина А.А., Шишкина П.А. Влияние предприятий металлургической промышленности на окружающую среду и здоровье человека // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. №3. С. 275-278.
9. Крахт В.Б., Меркер Э.Э., Крахт Л.Н. Развитие металлургии и проблемы экологии // Фундаментальные исследования 2005. №2. С. 78-79.
10. Говорушко С.М. Влияние цветной металлургии на окружающую среду // География в школе. 2018. №6. С. 3-7.
11. Дадькин В.С., Дадькина О.В. Методика расчета необходимого прироста запасов в управлении воспроизводством минерально-сырьевой базы // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2019. №3. С. 54-57.
12. Абдрахимова В.З., Абдрахимова Е.С. Пористый наполнитель на основе аспирационной пыли от феррохрома и жидкостекольной композиции // Экология промышленного производства. 2023. №1. С. 3-6. DOI: 10.52190/2073-2589_2023_1_2
13. Дубовик О.Л. Реформа Европейского Законодательства об отходах // Российское право: образование, практика, наука. 2010. №5-6. С. 80-84.
14. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование фазового состава керамического материала возрастом более ста лет // Химическая технология. 2023. №2. С. 42-48. DOI: 10.31044/1684-5811-2023-24-2-42-48

15. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Влияние отхода химического производства – алюмощелочного шлама на фазовый состав керамогранита // Новые огнеупоры. 2023. №1. С. 46-51.
16. Феррохромовые алюминотермические шлаки – техногенное сырье многофункционального применения. Ч. 1. Вещественный состав и свойства феррохромовых шлаков / Рытвин В.М., Перепелицын В.А., Понамаренко А.А., Гильванг С.И. // Новые огнеупоры. 2017. №10. С. 8-14.
17. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Физико-химические процессы при обжиге кислотоупоров. СПб.: Недра, 2003. 273 с.
- fluence of metallurgical enterprises on the environment and human health. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences]. 2019;(7):275-278. (In Russ.)
9. Krakht V.B., Merker E.E., Krakht L.N. Development of metallurgy and problems of ecology. *Fundamentalnye issledovaniya* [Basic Research]. 2005;(2):78-79. (In Russ.)
10. Govorushko S.M. Influence of non-ferrous metallurgy on the environment. *Geografiya v shkole* [Geography at School]. 2018;(6):3-7. (In Russ.)
11. Dadykin V.S., Dadykina O.V. Methodology for calculating the necessary increase in reserves in the management of reproduction of the mineral resource base. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of Samara State Economic University]. 2019;(3):54-57. (In Russ.)
12. Abdrakhimova V.Z., Abdrakhimova E.S. A porous filler based on aspiration dust from ferrochrome and a liquid glass composition. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of Industrial Production]. 2023;(1):3-6. DOI: 10.52190/2073-2589_2023_1_2
13. Dubovik O.L. Reform of the European Legislation on waste. *Rossiyskoe pravo: obrazovanie, praktika, nauka* [Russian Law: Education, Practice, Science]. 2010;(5-6):80-84. (In Russ.)
14. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Study on a phase composition of a ceramic material of over a hundred years old. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical Technology]. 2023;(2):42-48. DOI: 10.31044/1684-5811-2023-24-2-42-48
15. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Influence of chemical production waste, aluminum-alkali sludge, on the phase composition of porcelain stoneware. *Novye огнеупоры* [New Refractories]. 2023;(1):46-51. (In Russ.)
16. Rytvin V.M., Perepelitsyn V.A., Ponomarenko A.A., Gilvang S.I. Ferrochrome aluminothermal slags are industry-related raw materials for a multifunctional use. Part 1. The material composition and properties of ferrochrome slags. *Novye огнеупоры* [New Refractories]. 2017;(10):8-14. (In Russ.)
17. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. *Fiziko-khimicheskie protsessy pri obzhige kisloutuporov* [Physical and chemical processes in firing acid-resistant materials]. Saint Petersburg: Nedra, 2003, 273 p. (In Russ.)

References

1. Volynkina E.P. Analysis of the state and difficulties of processing industry-related waste in Russia. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta* [Bulletin of Siberian State Industrial University]. 2017;(2):43-49. (In Russ.)
2. Romanov P.S., Romanova I.P. Recycling of metallurgical industry waste as a way to save natural resources and reduce environmental tensions. *Sinergiya* [Synergy]. 2016;(2):94-99. (In Russ.)
3. Romanova I.P., Begunov O.B. The use of metallurgical industry waste in the construction industry as a way to save natural resources and reduce environmental tensions. *Territoriya nauki* [The Territory of Science]. 2016;(2): 53-57. (In Russ.)
4. Bautin V.M., Mychka S.Yu. Areas of development of the waste recycling system for industrial production subsystems of the agro-industrial complex. *Territoriya nauki* [The Territory of Science]. 2015;(6):91-97. (In Russ.)
5. Abdrakhimova E.S. Recycling of ferrotitanium slag into the production of earthquake-resistant bricks based on beidellite clay. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2021;25(7):32-36. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-7-32-36
6. Kalner V.D. Ecologically oriented habitat is an integral criterion of the quality of life. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2019;23(11):50-54. (In Russ.)
7. Kryazhev A.M., Gusev T.V., Tikhonova I.O., Ocheretenko D.P., Almgren R. Pulp and paper production: sustainable development and the formation of a closed-loop economy. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2020;24(11):48-53. (In Russ.)
8. Koryakov V.E., Shishkina A.A., Shishkina P.A. In-

Поступила 17.03.2023; принята к публикации 28.04.2023; опубликована 27.06.2023
Submitted 17/03/2023; revised 28/04/2023; published 27/06/2023

Абдрахимов Владимир Закирович – доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры «Экология и землепользование», Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия.
Email: 3375892@mail.ru. ORCID 0000-0002-1832-2572

Vladimir Z. Abdrakhimov – DrSc (Eng.), Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Department of Ecology and Land Use, Samara State Economic University, Samara, Russia.
Email: 3375892@mail.ru. ORCID 0000-0002-1832-2572