

В.З. АБДРАХИМОВ¹, Е.С. АБДРАХИМОВА²¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный экономический университет», г. Самара, Россия²ФГБОУ ВО «Самарский университет (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева), г. Самара, Россия

ПОЛУЧЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ШЛАКА ОТ ВЫПЛАВКИ БЕЗУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА И НЕКОНДИЦИОННОЙ ГЛИНЫ

Аннотация. В Российской Федерации большинство легкоплавких глин, применяемых в производстве керамического кирпича, имеют низкое содержание оксида алюминия ($Al_2O_3=12-15\%$). При таком низком содержании оксида алюминия в глинистых материалах из них невозможно получить кирпич марок М150 и выше. Для возведения несущих стен нижних этажей зданий повышенной этажности (15 этажей и более) требуется керамический кирпич марок — М150-М300. В такие глинистые материалы для получения сейсмостойкого кирпича М150 и выше необходимо вводить отощитель, содержащий $Al_2O_3>50\%$. С учетом сокращения запасов традиционного высокоглиноземистого природного сырья необходимо найти новые способы его замещения различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения. В настоящей работе взамен природных традиционных отощителей предлагается использовать шлак от выплавки безуглеродистого феррохрома содержащий $Al_2O_3=55,8\%$. В качестве глинистого материала использовалась некондиционная бейделлитовая глина, которая без отощителей не пригодна для производства керамического кирпича. Получен на основе шлака от выплавки безуглеродистого феррохрома и некондиционной глины керамический сейсмостойкий кирпич М125-М175 в интервале температур 1050-1100°С.

Ключевые слова: сейсмостойкий кирпич, отходы производств, некондиционная бейделлитовая глина, шлак от выплавки безуглеродистого феррохрома.

V.Z. ABDRAKHIMOV¹, E.S. ABDRAKHIMOVA²,¹Samara State University of Economics, Samara, Russia,²Samara University (Samara national Research University named after Academician S.P. Koroleva), Samara, Russia

OBTAINING EARTHQUAKE-RESISTANT BRICKS BASED ON SLAG FROM THE SMELTING OF CARBON-FREE FERROCHROME AND SUBSTANDARD CLAY

Abstract. In the Russian Federation, most low-melting clays used in the production of ceramic bricks have a low content of aluminum oxide ($Al_2O_3=12-15\%$). With such a low content of aluminum oxide in clay materials, it is impossible to obtain bricks of grades M150 and higher from them. For the construction of load-bearing walls of the lower floors of high-rise buildings (15 floors or more), ceramic bricks of the M150-M300 brands are required. In such clay materials, to obtain earthquake-resistant bricks M150 and higher, it is necessary to introduce a thinning agent containing $Al_2O_3>50\%$. Taking into account the reduction of reserves of traditional high-alumina natural raw materials, it is necessary to find new ways to replace it with various types of waste. The experience of advanced foreign countries has shown the technical feasibility of this direction and its application as a tool for protecting the natural environment from pollution. In this paper, instead of natural traditional desiccants, it is proposed to use slag from the smelting of carbon-free ferrochrome containing

Al₂O₃=55.8%. As a clay material, substandard beidellite clay was used, which is not suitable for the production of ceramic bricks without thinners. A ceramic earthquake-resistant brick M125-M175 was obtained on the basis of slag from the smelting of carbon-free ferrochrome and substandard clay in the temperature range of 1050-1100°C

Keywords: *earthquake-resistant brick, industrial waste, substandard beidellite clay, slag from the smelting of carbon-free ferrochrome*

Введение

В среднем за год все подразделения ФИЦ ЕГС РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук») фиксируют на территории Российской Федерации около 10 тысяч землетрясений, обеспечивая их регистрацию, начиная с магнитудного уровня $M > 4.0$ [1]. Количество ежегодно регистрируемых ощутимых землетрясений на территории Российской Федерации составляет около 100, из которых лишь несколько вызывают повреждения или слабые разрушения.

Для возведения самонесущих и несущих стен согласно с п.6.14.4 СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» необходимо использовать керамические камни и кирпич не ниже марки М125, если сейсмичность строительной площадки выше 5 баллов [2, 3].

Большинство легкоплавких глин Российской Федерации с низким содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3=12-18\%$) [2, 3]. При таком содержании оксида алюминия в глинистых компонентах из них невозможно получить кирпич марок М125 и более. Для возведения несущих стен нижних этажей зданий повышенной этажности (15 этажей и более) требуется керамический кирпич марок — М150-М300.

К основным резервам для получения высокомарочных керамических кирпичей и камней можно отнести отходы цветной металлургии с повышенным содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3 > 50\%$), которые можно использовать в качестве отощителей.

Постановка задачи. С учетом сокращения запасов традиционного высокоглиноземистого природного сырья необходимо найти новые способы его замещения различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения.

Цель. Получить на основе шлака от выплавки безуглеродистого феррохрома и некондиционной глины керамический сейсмостойкий кирпич с высокими физико-механическими показателями.

Получение сейсмостойкого кирпича

Сырьевые материалы. Для получения сейсмостойкого керамического кирпича использовались следующие сырьевые компоненты Самарской области: некондиционная легкоплавкая бейделлитовая глина Образцовского месторождения — в качестве глинистого связующего, отход цветной металлургии — шлак от выплавки безуглеродистого феррохрома в качестве алюмосодержащего отощителя. Для улучшения природных свойств глиняного сырья — уменьшения общей усадки, чувствительности к сушке и обжигу, улучшения формовочных свойств и снижению деформационных искривлений, широко используют и применяют отощающие добавки.

Химические составы сырьевых компонентов представлены: оксидный состав в таблице 1, поэлементный в таблице 2, фракционный состав в таблице 3, микроструктура на рисунке 1, а минералогический состава на рисунке 2.

Таблица 1 - Химический состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
1. Бейделлитовая глина	57,13	19,25	8,52	2,0	1,2	1,5	10,62
2. Шлак	5,9	55,8	1,8	13,9	14,7	2,3	Cr ₂ O ₃ 5,6

Таблица 2 - Поэлементный химический состав сырьевых компонентов

Компонент	Элементы									
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
1. Бейделлитовая глина	4,04	51,92	0,53	0,54	14,70	21,19	1,2	0,73	0,58	4,57
2. Шлак	Cr 3,60	51,35	0,90	5,32	25,38	3,75	—	0,63	8,30	0,77

Таблица 3 – Фракционный (гранулометрический) состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,0001
1. Бейделлитовая глина	7	8	11	19	55
2. Шлак	10,84	24,41	25,49	12,88	26,38

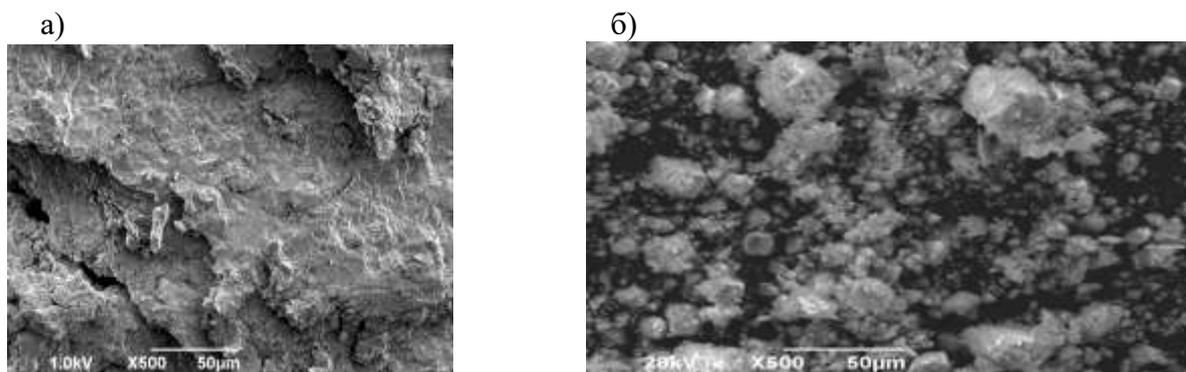


Рисунок 1 – Микроструктура сырьевых компонентов: а) - бейделлитовая глина; б) - шлак от выплавки безуглеродистого феррохрома. Микроструктура выполнена с помощью растрового электронного микроскопа JEOL-6390A. Увеличение x500.

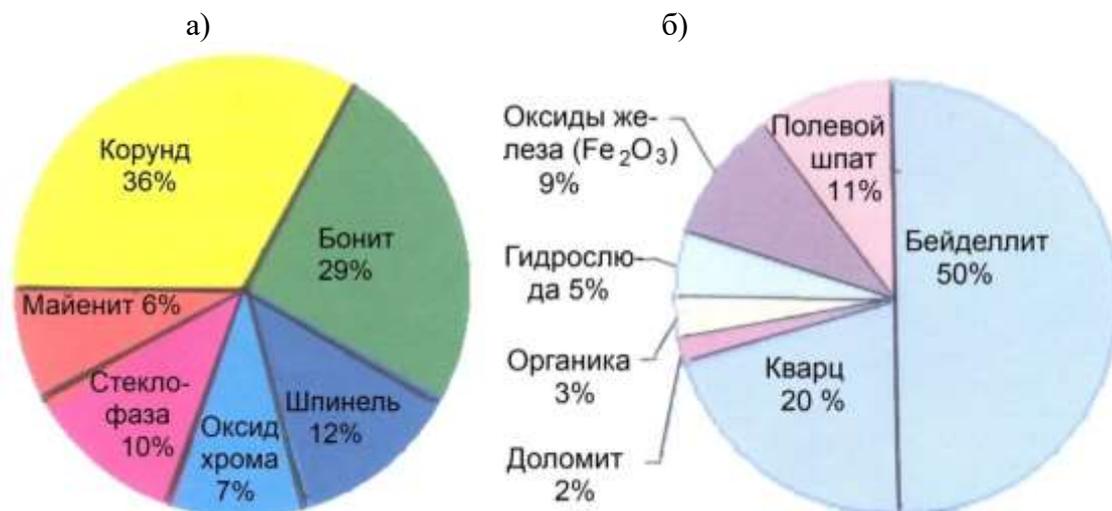


Рисунок 2 – Минералогический состав сырьевых компонентов: а) шлак от выплавки безуглеродистого феррохрома; б) бейделлитовая глина.

Бейделлитовая глина. Бейделлитовая глина Образцовского месторождения характеризуется как среднедисперсная, преимущественно с низким содержанием мелких и средних включений [4, 5].

Основным пороодообразующим минералом глины является бейделлит. Среднее содержание его в глине составляет до 80%. Бейделлит ($Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$) относится к минералам группы монтмориллонита и назван по местности Бейделл в Колорадо (США) [5-7]. Для кристаллической структуры группы монтмориллонита, как и для всех слоистообразных веществ, характерно слоистое расположение анионов и катионов. Отличительной особенностью по сравнению с минералами групп каолинита и галлуазита здесь является то, что «гидрагиллитовый» слой располагается между двумя слоями кремнекислородных тетраэдров [4-7].

По гранулометрическому составу (таблица 3) глина Образцовского месторождения относится к группе среднедисперсного сырья, высокочувствительного к сушке и характеризуется высокой усадкой образцов, а по пластичности относится к среднепластичной, число пластичности которой колеблется в пределах 19-23.

Используемая в настоящей работе бейделлитовая глина считается некондиционным сырьем, так как непригодна для производства кирпича как самостоятельное сырье без добавок и отощителей (рисунок 3).



Рисунок 3 – Образец из бейделлитовой глины, обожженный при 1000°С

В таблице 4 представлены технологические свойства бейделлитовой глины.

Таблица 4 – Технологические показатели бейделлитовой глины

Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °С		
	начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
850	1280	1300	1340

Шлак от выплавки безуглеродистого феррохрома являются отходом ОАО «Самарский металлургический завод» и представляет собой материал плотной порфирированной структуры красно-бурого цвета с вкраплениями шпинели [8, 9]. Порфирированная структура (т.е. структура, похожая на порфирированную) является разновидностью зернисто-кристаллической структуры [10-12]. Порода с такой структурой содержит вкрапленники больших размеров и имеет окружающую их основную массу зернисто-кристаллическую. Это напоминает сильно увеличенную порфирированную структуру с вкрапленниками. Усредненный химический состав шлаков представлен в таблице 1.

Минералогический состав шлаков представлен в основном корундом, бонитом, шпинелью, стеклофазой, оксидом хрома и майенитом (рисунок 2, а), а основные свойства минералов в таблице 5. Основным минералом в шлаке от выплавки без углеродистого хрома является корунд [13-15].

Таблица 5 – Свойства кристаллических фаз (минералов), входящих в шлак от выплавки без углеродистого феррохрома

Минерал	Содержание фракций в %, размер частиц в мм			
	Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³	Твердость по шкале Мооса	Микротвердость, кг/мм ²
1. Корунд Al ₂ O ₃	2050	3,9-4,1	9	2108
2. Бонит CaO•6Al ₂ O ₃	1850	3,38	6,5-7	1200-1300
3. Оксид хрома Cr ₂ O ₃	2435	5,21	8,5	1900-2000
4. Майенит 12CaO•7Al ₂ O ₃	1415	2,9	6,0-6,5	1150-1250
5. Магнезиальная шпинель — MgAl ₂ O ₄ (MgO•Al ₂ O ₃)	2135	4,05	7,5-8	1378-1505

Огнеупорность шлака — 1580-1620°С, температура деформации под нагрузкой 0,2 МПа: начало размягчения — 1350-1400°С, разрушения 1500-1550°С, температура плавления 1620°С.

Получение сейсмостойкого кирпича и его свойства

Сырьевые компоненты, после измельчения до прохождения сквозь сито 1 мм согласно рецепту (таблица 6): тщательно перемешивались. Кирпич-сырец получали пластическим способом при формовочной влажности 20-22%, затем высушивали до остаточной влажности не более 5% и обжигали в муфельной печи в интервале температур 1000-1100°С. Изотермическая выдержка при конечной температуре 1 час.

Таблица 6 – Составы керамических масс

Компонент	Содержание компонентов, мас. %			
	1	2	3	4
1. Бейделлитовая глина	100	80	70	60
2. Шлак от выплавки безуглеродистого феррохрома	—	20	30	40

Физико-механические показатели обожженных керамических материалов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Физико-механические показатели сейсмостойкого кирпича

Показатели	Составы			
	1	2	3	4
Температура обжига 1000°С				
1. Механическая прочность при сжатии, МПа	7,8	13,0	13,8	13,5
2. Механическая прочность при изгибе, МПа	1,8	2,7	2,5	2,3
3. Морозостойкость, циклы	14	18	20	19
4. Термостойкость, 350-вода 20°С	1	3	5	4
Температура обжига 1050°С				
1. Механическая прочность при сжатии, МПа	9,3	16,5	17,3	17,2
2. Механическая прочность при изгибе, МПа	2,2	3,2	3,0	2,9
3. Морозостойкость, циклы	16	35	38	36
4. Термостойкость, 350-вода 20°С	2	4	5	7
Температура обжига 1100°С				
1. Механическая прочность при сжатии, МПа	10,1	17,9	17,3	16,9
2. Механическая прочность при изгибе, МПа	2,4	3,8	3,5	3,4
3. Морозостойкость, циклы	20	49	47	42
4. Термостойкость, 350-вода 20°С	3	6	8	9

Как видно из таблицы 4, получить сейсмостойкий керамический кирпич из бейделлитовой глины без применения высокоглиноземистого сырьевого компонента — шлака от выплавки безуглеродистого феррохрома даже при температуре обжига 1100°C практически невозможно.

Введение в составы керамических масс шлака от выплавки безуглеродистого феррохрома сразу повышает марочность кирпича до М125 даже при температуре 1000°C. Оптимальный состав для получения сейсмостойкого керамического кирпича №2, в котором содержание отработанного катализатора составляет 20%. Дальнейшее увеличение в составах керамических масс шлака от выплавки безуглеродистого феррохрома требует повышение температуры кирпича, так как огнеупорность катализатора составляет — 1580-1620°C.

Марочность керамического кирпича из оптимального состава №2, обожженного в интервале температур 1050-1100°C составляет М125-175, что позволит использовать его для возведения несущих стен нижних этажей зданий повышенной этажности (10 этажей и более).

Выводы

1. Исследования показывают, что с учетом истощения запасов традиционного качественного природного сырья в России и во многих других странах мира необходимо найти новые способы его замещения различными видами отходов.

2. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления при этом решаются вопросы экономические — снижение себестоимости продукции и экологические — защита природной среды от загрязнения.

3. На основе некондиционного сырья — бейделлитовой глины и отходов цветной металлургии - шлака от выплавки безуглеродистого феррохрома получены при температуре обжига в интервале 1050-1100°C сейсмостойкие керамические кирпичи М125-175 с высокими физико-механическими показателями.

4. Безусловным достоинством использования крупнотоннажных отходов цветной металлургии является снижение экологической напряженности в регионах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маловичко А.А., Селезнев В.С., Виноградов Ю.Н., Дягилев Р.А., Горажаев С.В. и др. Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук. Обнинск: ФИЦ, ЕГС РАН. 2017. 52 с.
2. Абдрахимов В.З. Влияние нанотехногенного сырья на сушильные свойства и физико-механические показатели керамического кирпича // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. №1. С. 29-34.
3. Абдрахимов В.З. Использование обожженного солевого шлака для получения высокопрочного сейсмологического кирпича // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. №5. С. 45-50.
4. 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.
5. Абдрахимов В.З. Использование отхода обогащения угля и бейделлитовой глины в производстве пористого заполнителя на основе жидкостекольных композиций // Известия вузов. Строительство. 2019. №7. С. 25-34.
6. Абдрахимов В.З. Повышение экологической безопасности за счет использования золошлакового материала и отработанного катализатора в производстве керамического кирпича на основе бейделлитовой глины // Биологическая совместимость: человек, регион, технологии. 2019. №2. С. 35-42.
7. Абдрахимов В.З. Использование золошлакового материала и нанотехногенного карбонатного шлака в производстве кирпича на основе бейделлитовой глины // Строительство и реконструкция. 2019. №2. С. 81-89.
8. Абдрахимов В.З. Применение алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения // Новые огнеупоры. 2013. №1. С. 13-23
9. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование отходов цветной металлургии и ортофосфорной кислоты в производстве жаростойкого бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2021. №2. С. 42-48.

10. Чернышов А.И., Тишин П.А., Володина И.В. Структуры и текстуры магматических и метаморфических горных пород. Томск. Издательский дом Томского государственного университета, 2018. 1356 с.
11. Попова В.С., Богатикова О.И. Петрография и петрология магматических, метафизических и метасоматических пород. М.: Лотос, 2001. 768 с.
12. Шамина М.И., Шалдыбин М.В. Магматические горные породы. Томск: Томский политехнический университет, 2013. 20 с.
13. Тюлькин Д.С., Плетнев П.М., Богданов В.А. Корундомуллитовые огнеупоры для синтеза и обжига технической керамики // Сборник научных трудов Международной конференции «СТРОЙСИБ 2012»: Новые технологии в материаловедении. Новосибирск, 2012. С. 45–54.
14. Сорокина Е.С., Ожогина Е.Г., Якоб Д.Е., Хофмейстер В. Некоторые особенности онтогении корунда и качество рубина месторождения Снежное, Таджикистан (Восточный Памир). Записки РМО, 2012. №6. С. 100-108.
15. Buravleva S.Y., Smirnov S.Z., Pakhomova V.A., Fedoseev D.G. Use of Raman spectrometry to determine the composition of primary inclusions in sapphires // 11th International Conference on Raman Spectroscopy and its Applications to Geological, Planetary and Archeological Sciences". Abstract volume. Washington University, St Louis, USA, 2014. P. 161.

REFERENCES

1. Malovichko A.A., Seleznev V.S., Vinogradov Yu.N., Diaghilev R.A., Gorazhaev S.V., etc. Federal Research Center Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences. Obninsk: Fiz. EGS RAS. 2017. 52 p.
2. Abdrakhimov V.Z. Influence of nanotechnogenic raw materials on drying properties and physical and mechanical parameters of ceramic bricks. Safety of structures. 2020. № 1. P. 29-34.
3. Abdrakhimov V.Z. The use of burnt salt slag for obtaining high-strength seismological bricks. Safety of structures. 2019. №5. P. 45-50.
4. Abdrakhimova E.S. Recycling of slag from ferrotitanite smelting into the production of earthquake-resistant bricks based on beidellite clay // Ecology and industry of Russia. 2021. Vol. 25. № 7. Pp. 32-36.
5. Abdrakhimov V.Z. Use of coal and beidellite clay processing waste in the production of porous aggregate based on liquid-glass compositions // Izvestiya vuzov. Construction. 2019. № 7. Pp. 25-34.
6. Abdrakhimov V.Z. Improving environmental safety through the use of ash and slag material and spent catalyst in the production of ceramic bricks based on beidellite clay // Biological compatibility: man, region, technologies. 2019. №2. Pp. 35-42.
7. Abdrakhimov V.Z. The use of ash and slag material and nanotechnogenic carbonate sludge in the production of bricks based on beidellite clay // Construction and reconstruction. 2019. №2. Pp. 81-89.
8. Abdrakhimov V.Z. The use of aluminum-containing waste in the production of ceramic materials for various purposes // New refractories. 2013. № 1. Pp. 13-23.
9. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. The use of non-ferrous metallurgy waste and orthophosphoric acid in the production of heat-resistant concrete // Industrial and civil construction. 2021. №2. Pp. 42-48.
10. Chernyshov A.I., Tishin P.A., Vologda I.V. Structures and textures of igneous and metamorphic rocks. Tomsk. Publishing House of Tomsk State University, 2018. 1356 p.
11. Popova V.S., Bogatikova O.I. Petrography and petrology of igneous, metaphysical and metasomatic rocks. Moscow: Lotos, 2001. 768 p.
12. Shaminova M.I., Shaldybin M.V. Igneous rocks. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2013. 20 p.
13. Tyulkin D.S., Pletnev P.M., Bogdanov V.A. Corundomullite refractories for synthesis and firing of technical ceramics // Collection of scientific papers of the International conference "STROY SIB 2012": New technologies in materials science. Novosibirsk, 2012. Pp. 45-54.
14. Sorokina E.S., Ozhogina E.G., Jacob D.E., Hofmeister V. Some features of corundum ontogeny and ruby quality of the Snezhnoye deposit, Tajikistan (Eastern Pamir). Notes of the RMO, 2012. No. 6. Pp. 100-108.
15. Buravleva S.Y., Smirnov S.Z., Pakhomova V.A., Fedoseev D.G. Use of Raman spectrometry to determine the composition of primary inclusions in sapphires // 11th International Conference on Raman Spectroscopy and its Applications to Geological, Planetary and Archeological Sciences". Abstract volume. Washington University, St Louis, USA, 2014. P. 161.

Информация об авторах:

Абдрахимов Владимир Закирович

Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Землеустройство и кадастры», почетный работник
высшего и профессионального образования.

E-mail: 3375892@mail.ru

Абдрахимова Елена Сергеевна

Самарский университет (Национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева),
г. Самара, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Химия».

E-mail: 3375892@mail.ru

Information about authors:

Abdrakhimov Vladimir Z.

Samara State University of Economics, Samara, Russia,
doctor of technical sciences, professor, professor of the department of land management and cadastre, honorary worker of
higher and professional education.

E-mail: 3375892@mail.ru

Abdrakhimova Elena S.

Samara University (National Research University named after Academician S.P. Koroleva), Samara, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of «Chemistry».

E-mail: 3375892@mail.ru