

## Технология получения нанесенного катализатора на основе алюмосиликатной матрицы, модифицированной оксидом европия

Ирина В. Кузнецова<sup>1</sup>

kuznetsovaiv@mail.ru

 0000-0001-6666-6292Денис С. Сугатов<sup>1</sup>

den.sugatov2000@gmail.com

Валентина И. Грызлова<sup>1</sup>

valya.gr.11@gmail.com

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия


**Аннотация.** Количество используемых во всем мире автомобилей постоянно растёт. В связи с этим, проблема борьбы с загрязнителями атмосферы – выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания приобретает особую актуальность. За прошедшее время автопроизводители внесли много улучшений в конструкцию автомобильного двигателя и топливных систем, чтобы соответствовать требованиям допустимого уровня загрязнения. Одним из лучших решений данной проблемы является использование, так называемого каталитического преобразователя (конвертера) или просто катализатора с высоким содержанием благородных металлов, основная функция которых – это одновременное окисление несгоревших углеводородов и CO, а также восстановление оксидов азота. Было обнаружено, что добавление редкоземельных металлов к Pd, Pt – катализаторам улучшает их свойства и снижает долю благородных металлов в составе катализаторов. В работе представлены результаты исследования комплексообразования в системе  $\text{Eu}^{3+}$ -лиганд, где лиганд – органическая кислота, фотоколориметрическим и потенциометрическим методами. В системе  $\text{Eu}^{3+}$ -галловая кислота образуется устойчивый комплекс состава  $\text{MeLn}_x - 1:2$ . В системе  $\text{Eu}^{3+}$ -щавелевая кислота образуется устойчивый комплекс состава  $\text{MeLn}_x - 1:1$ . В системе  $\text{Eu}^{3+}$ -валин образуется устойчивый комплекс состава  $\text{MeLn}_x - 1:2$ . Показана новая методика получения комплексных соединений, заключающаяся в добавлении в раствор, содержащий растворы соли  $\text{Eu}^{3+}$  и органической кислоты, в водно-спиртовой среде, пероксида водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  для блокировки восстановления  $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ . Разработана технология получения автомобильного катализатора, состоящая из последовательных этапов: получение комплексных соединений, нанесение полученных комплексных соединений на керамические блочные матрицы, сушка, нанесение платиновой (палладиевой) кислоты, прокаливание. Наличие иона  $\text{Eu}^{3+}$  в керамической матрице доказано методом элементного анализа. Технология может быть применена для решения проблемы загрязнения окружающей среды такими загрязнителями, как выхлопные газы автомобилей, содержащих в своем составе множество вредных веществ.

**Ключевые слова:** автомобильный катализатор, соединения европия, органические кислоты, элементный анализ, ИК-спектроскопия, фотоколориметрический метод, потенциометрический метод

## Technology for obtaining a deposited catalyst based on an aluminosilicate matrix modified with europium oxide

Irina V. Kuznetsova<sup>1</sup>

kuznetsovaiv@mail.ru

 0000-0001-6666-6292Denis S. Sugatov<sup>1</sup>

den.sugatov2000@gmail.com

Valentina I. Gryzlova<sup>1</sup>

valya.gr.11@gmail.com

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The number of cars used worldwide is constantly growing. In this regard, the problem of combating atmospheric pollutants – exhaust gases of internal combustion engines is of particular relevance. Over the years, automakers have made many improvements to car engine design and fuel systems to meet pollution limits. One of the best solutions to this problem is the use of a so-called catalytic converter (converter) or simply a catalyst with a high content of noble metals, the main function of which is the simultaneous oxidation of unburned hydrocarbons and CO, as well as the reduction of nitrogen oxides. It was found that the addition of rare earth metals to Pd, Pt catalysts improves their properties and reduces the proportion of noble metals in the composition of catalysts. The paper presents the results of a study of complexation in the  $\text{Eu}^{3+}$ -ligand system, where the ligand is an organic acid, by photocolormetric and potentiometric methods. In the  $\text{Eu}^{3+}$ -gallic acid system, a stable complex of the composition  $\text{MeLn}_x - 1:2$  is formed. In the  $\text{Eu}^{3+}$ -oxalic acid system, a stable complex of the composition  $\text{MeLn}_x - 1:1$  is formed. In the  $\text{Eu}^{3+}$ -valine system, a stable complex of the composition  $\text{MeLn}_x - 1:2$  is formed. A new technique for obtaining complex compounds is shown, consisting in adding hydrogen peroxide  $\text{H}_2\text{O}_2$  to a solution containing solutions of  $\text{Eu}^{3+}$  salt and organic acid in an aqueous-alcoholic medium to block the reduction of  $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ . A technology for obtaining an automotive catalyst has been developed, consisting of successive stages: obtaining complex compounds, applying the obtained complex compounds to ceramic block matrices, drying, applying platinum (palladium) acid, calcination. The presence of the  $\text{Eu}^{3+}$  ion in the ceramic matrix is proved by the method of elemental analysis. The technology can be applied to solve the problem of environmental pollution, such pollutants as exhaust gases of cars containing a lot of harmful substances in their composition.

**Keywords:** automotive catalyst, europium compounds, organic acids, elemental analysis, IR spectroscopy, photocolormetric method, potentiometric method

### Для цитирования

Кузнецова И.В., Сугатов Д.С., Грызлова В.И. Технология получения нанесенного катализатора на основе алюмосиликатной матрицы, модифицированной оксидом европия // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 208–213. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-208-213

### For citation

Kuznetsova I.V., Sugatov D.S., Gryzlova V.I. Technology for obtaining a deposited catalyst based on an aluminosilicate matrix modified with europium oxide. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 208–213. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-208-213

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Сегодня количество используемых во всем мире автомобилей постоянно растёт. В связи с этим, проблема борьбы с загрязнителями атмосферы – выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания приобретает особую актуальность. Это приводит к ужесточению систем нормирования автомобильных выхлопов во всем мире [1]. За прошедшее время автопроизводители внесли много улучшений в конструкцию автомобильного двигателя и топливных систем, чтобы соответствовать требованиям допустимого уровня загрязнения. Одним из лучших решений данной проблемы является использования, так называемого каталитического преобразователя (конвертера) или просто катализатора с высоким содержанием благородных металлов, основная функция которых – это одновременное окисление несгоревших углеводородов и СО, а также восстановление оксидов азота [2]. Однако чтобы соответствовать жестким экологическим требованиям, производители вынуждены увеличивать содержание благородных металлов в составе каталитических композиций, что приводит к удорожанию каталитического конвертера [3]. Было обнаружено, что добавление редкоземельных металлов к Pd, Pt – катализаторам улучшает их свойства и снижает долю благородных металлов в составе катализаторов [4–6]. Авторы работы [7] исследовали системы  $\text{SnO}_2\text{--CeO}_2$ , полученные путем осаждения в водно-изопропанольной среде с последующей термической обработкой для окисления СО. Церий обладает переменной степенью окисления +3, +4 и может отдавать лишний кислород или его задерживать в реакциях окисления выхлопных газов. Авторы [8, 9] исследовали каталитические свойства: удельную поверхность, общий объем пор и энергию активации нового катализатора, содержащего церий в сравнении с традиционным катализатором. Данные говорят о том, что новый катализатор по всем свойствам лучше традиционного. Авторы [10] определяли активность палладиевых катализаторов на керамических носителях с добавками оксидов редкоземельных элементов (ОРЗЭ). В работе [11] описан метод приготовления катализатора, основанный на пропитке матрицы растворами комплексных соединений металлов. Этот метод позволяет получить более равномерное распределение частиц металла по объему катализатора. Промотирование алюмооксидного катализатора ОРЗЭ приводит

к увеличению его каталитической активности. Россия обладает крупнейшей ресурсной базой редкоземельных элементов. По последним данным общие запасы редкоземельных металлов в России составляют 12 млн тонн, то есть 10 процентов от общемировых. В современных реалиях инфраструктурная составляющая является ключевым фактором экономической эффективности освоения месторождений полезных ископаемых. Этот факт диктует необходимость более полного освоения месторождений, обладающих благоприятным географическим положением. Среди наиболее перспективных из них выделяется Ловозерский щелочной массив [12]. Еще планируется освоение крупнейшего в России Якутского Томторского месторождения редкоземельных металлов и Зашихинского месторождения в Забайкалье. На Томторе руду начнут добывать в 2025 году. Также в Московской области намечен запуск предприятия по разделению редкоземельных металлов, извлеченных из отходов минеральных удобрений [13]. Таким образом, использование РЗЭ в различных областях исследований является перспективным направлением. В последнее время увеличивается число публикаций по исследованию свойств материалов, содержащих оксид европия. В работе [14] определяли магнитные и структурные свойства  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  и  $\text{Eu}(\text{OH})_3$ . Авторы [15] исследовали фотокаталитические свойства сверхмалых нанокластеров платины, нанесенных на оксид европия. В статье [16] проведен обзор по синтезу, характеристикам (структурным, морфологическим, оптическим) и применению оксида европия. Европий имеет переменную степень окисления +2, +3, поэтому может быть применен наравне с церием в окислительно-восстановительном катализе.

**Цель работы** – получение нанесенного катализатора на основе алюмосиликатной матрицы, модифицированного оксидом европия и исследование его свойств.

## Материалы и методы

В качестве исходных реагентов были использованы следующие реактивы: нитрат европия –  $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , органические кислоты: щавелевая  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ , галловая  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , валин  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2$ , соляная кислота –  $\text{HCl}$ , хлорид натрия –  $\text{NaCl}$ , гидроксид натрия –  $\text{NaOH}$ , этиловый спирт –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , перекись водорода –  $\text{H}_2\text{O}_2$ , палладиевая (платиновая) кислоты –  $\text{H}_2[\text{PdCl}_6]$ .

Предлагается получить катализаторы Pd (Pt)/  $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{--Al}_2\text{O}_3$  по следующей схеме (рисунок 1).

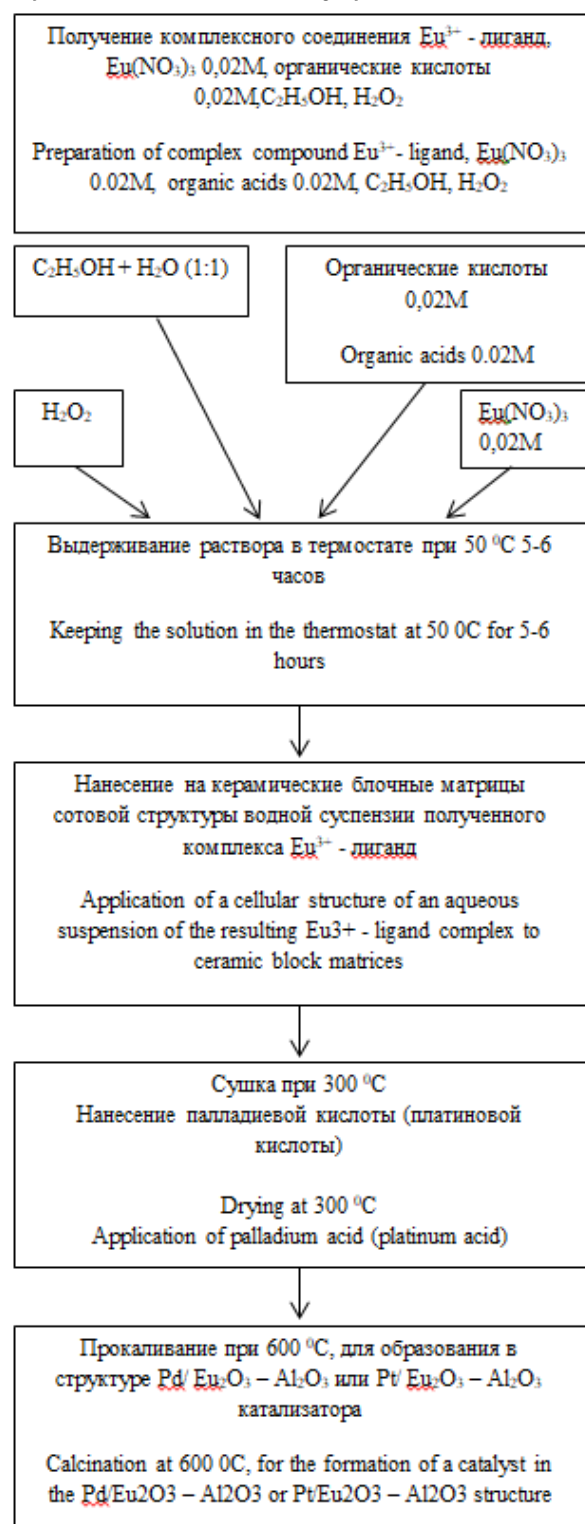


Рисунок 1. Схема получения автомобильного катализатора

Figure 1. The scheme of obtaining an automotive catalyst

Керамическую подложку производили из глины Лукошинского месторождения (Липецкая область). Глину размалывали, готовили пресс-порошок, прессовали на гидравлическом прессе пластины, сушили и обжигали при 1250 °C. Готовые пластины имели водопоглощение 6,7% и механическую прочность 269 мПа.

Составы комплексных соединений определяли фотоколориметрическим и потенциометрическим методами [17, 18]. Для определения состава комплексов фотоколориметрическим методом готовили растворы каждого из компонентов (соль европия и кислота щавелевая или галловая) с одинаковой молярной концентрацией и смешивали их в антибатных соотношениях (от 1:9 до 9:1), сохраняя неизменным общий объем раствора ( $V_M + V_R = \text{const}$ ), и, как следствие, сумму общих молярных концентраций металла и лиганда ( $c_M + c_R = c = \text{const}$ ). Концентрация металла в серии растворов будет  $c_M = c(1 - x)$ , а концентрация лиганда:  $c_R = c \cdot x$ , где  $x$  – молярная доля лиганда в смеси металл-лиганд. Определяли максимальное светопоглощение на длинах волн 340–670 нм. Измерения светопоглощения проводили при постоянных значениях ионной силы, температуры и pH растворов. Состав комплекса  $\text{MeLn}_n$  определяли по следующей формуле:  $n = x_{\text{max}} / 1 - x_{\text{max}}$ , где  $n$  – количество лиганда в комплексе,  $x_{\text{max}}$  – соотношение при максимальном значении оптической плотности  $D$ .

При определении состава комплексных соединений потенциометрическим методом проводили потенциометрическое титрование при 20 °C раствором NaOH 0,4 н. На каждое титрование готовили раствор общим объемом 25 мл, содержащий: по 2,5 мл растворов нитрата европия и валина с молярной концентрацией  $C = 0,1 \text{ M}$ , 0,5 мл раствора HCl для снижения кислотности среды, 1 мл раствора NaCl для создания ионной силы  $\mu = 0,1$ . По результатам титрования строили кривые титрования, определяли константу устойчивости полученного комплексного соединения и его приблизительный состав.

Идентификацию комплексного соединения в растворе проводили с помощью ИК-спектроскопии (спектрометр Bruker VERTEX 70).

Элементный анализ керамической подложки, пропитанной полученным комплексным соединением, проводился с помощью Oxford INCAEnergy 250 – системы энергодисперсионного микроанализа для электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 2 (а, б) представлены кривые поглощения исследуемых комплексных соединений при различных длинах волн. Наибольшее значение оптической плотности наблюдаем при 670 нм. В результате фотоколориметрического метода исследования установили, что  $\text{Eu}^{3+}$  образует устойчивый комплекс со щавелевой кислотой состава  $\text{MeLn}_x$  1:1 (пик высокой интенсивности на кривой поглощения), а с галловой кислотой устойчивый комплекс состава  $\text{MeLn}_x$  1:2 (о чем также говорит высота пика на кривой поглощения).

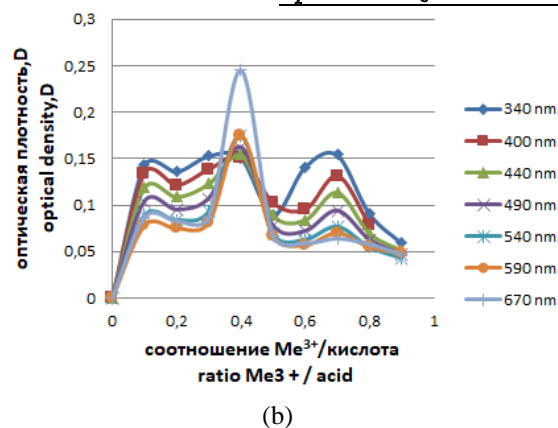
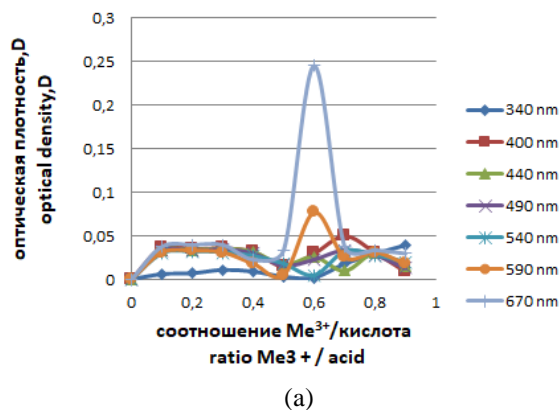


Рисунок 2. Кривая поглощения  $\text{Eu}^{3+}$ /галловая кислота  
Figure 2.  $\text{Eu}^{3+}$ /gallic acid absorption curve

По результатам потенциометрического метода исследования (рисунок 3) определили, что в процессе комплексообразования в системе  $\text{Eu}^{3+}$ -валин, участвуют 2 группы ( $-\text{COOH}$ ), так как расход щелочи при нейтрализации в процессе титрования эквивалентен количеству карбоксильных групп, участвующих в комплексообразовании. Таким образом, в системе  $\text{Eu}^{3+}$ -валин образуется комплекс состава  $\text{MeLn}_x - 1:2$ , что указывает на тетраэдрическую геометрию комплекса [19].

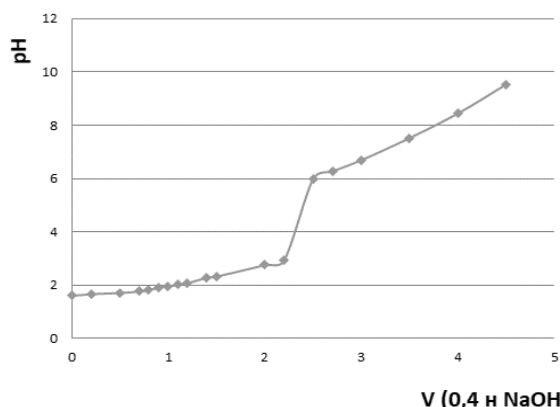


Рисунок 3. Кривая титрования смеси  $\text{Eu}^{3+}$ /валин (1:2) гидроксидом натрия

Figure 3. Titration curve of  $\text{Eu}^{3+}$ /valine mixture (1: 2) with sodium hydroxide

По данным потенциометрии были рассчитаны константа диссоциации валина (7.66) и константа устойчивости образующегося комплексного соединения (0,69). Численное значение константы устойчивости комплекса говорит о малой устойчивости данного соединения. Тем не менее, синтез данного комплекса как отдельной фазы может быть использован при постановке и проведении различных химических и биохимических исследований, а также для банка данных [20].

После определения возможности существования комплексных соединений в системах

$\text{Eu}^{3+}$  – валин,  $\text{Eu}^{3+}$  – щавелевая кислота,  $\text{Eu}^{3+}$  – галловая кислота данные комплексы были синтезированы по схеме (рисунок 1). При синтезе комплексных соединений в водно-спиртовой среде использовали раствор пероксида водорода, который позволяет получить устойчивую форму европия в степени окисления +3. Наличие комплексного соединения в растворе было доказано ИК-спектроскопией (рисунок 4).

Для получения катализатора выдерживали 3 керамических пластины в растворе полученных комплексных соединений  $\text{Eu}^{3+}$  – валин,  $\text{Eu}^{3+}$  – щавелевая кислота,  $\text{Eu}^{3+}$  – галловая кислота в течении суток и высушили. Элементный анализ показал наличие европия в составе керамики. Причем подложка, пропитанная раствором неустойчивого комплекса  $\text{Eu}^{3+}$  – валин, содержит наибольшее количество европия (12,284%). По всей видимости, при суточной выдержке пластины в растворе происходит разрушение комплекса и образованные свободные ионы европия диффундируют в поры керамической подложки. Подложки, модифицированные ионами европия, можно использовать в технологии дальнейшего нанесения растворов благородных металлов по предложенной технологической схеме (рисунок 1).

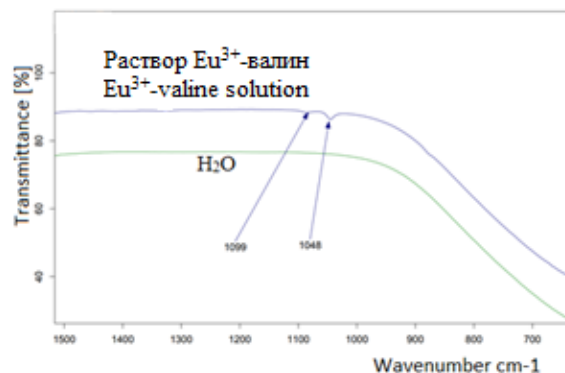


Рисунок 4. ИК-спектроскопия раствора  $\text{Eu}^{3+}$ -валин  
Figure 4. ИК-spectroscopy of  $\text{Eu}^{3+}$  – valine solution

**Заключение**

Фотоколориметрическим и потенциометрическим методами определено, что в системе  $\text{Eu}^{3+}$  – галловая кислота образуется устойчивый комплекс состава  $\text{MeLn}_x - 1:2$ . В системе  $\text{Eu}^{3+}$  – щавелевая кислота образуется устойчивый комплекс состава  $\text{MeLn}_x - 1:1$ .

В системе  $\text{Eu}^{3+}$  – валлин образуется комплекс состава  $\text{MeLn}_x - 1:2$ . При синтезе комплексных соединений использовали пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  для блокировки восстановления  $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ . Наибольшее количество иона  $\text{Eu}^{3+}$  в керамическую матрицу переходит из комплексного соединения  $\text{Eu}^{3+}$  – валлин.

**Литература**

- 1 Kaur N. Palladium catalysts: synthesis of five-membered N-heterocycles fused with other heterocycles // *Catalysis Reviews*. 2015. V. 57. № 1. P. 1-78. doi: 10.1080/01614940.2014.976118
- 2 Das P., Linert W. Schiff base-derived homogeneous and heterogeneous palladium catalysts for the Suzuki–Miyaura reaction // *Coordination Chemistry Reviews*. 2016. V. 311. P. 1-23. doi: 10.1016/j.ccr.2015.11.010
- 3 Clavadetscher J., Indrigo E., Chankeshwara S.V., Lilienkamp A. et al. In-Cell Dual Drug Synthesis by Cancer-Targeting Palladium Catalysts // *Angewandte Chemie*. 2017. V. 129. № 24. P. 6968-6972.
- 4 Siyu Lin, Linyan Yang, Xue Yang, Renxian Zhou Redox properties and metal–support interaction of  $\text{Pd/Ce}_{0.67}\text{Zr}_{0.33}\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst for CO, HC and NO x elimination // *Applied Surface Science*. 2014. V. 305. P. 642–649.
- 5 Colussi S., Leitenburg C., Dolcetti G., Trovarelli A. The role of rare earth oxides as promoters and stabilizers in combustion catalysts // *Journal of Alloys and Compounds*. 2004. V. 373. P. 387–392.
- 6 Wei Liu, Wenxin Tong, Xinxin Lu, Shanghua W Effects of different types of rare earth oxide additives on the properties of silicon nitride ceramic substrates // *Ceramics International*. 2019. V. 45. № 9. doi:10.1016/j.ceramint.2019.03.176
- 7 Liberman E.Y., Simakina E.A., Izotova A.O., Kon'kova T.V. et al. Synthesis and activity of nanodispersed  $\text{SnO}_2\text{-CeO}_2$  catalyst in the oxidation reactions of carbon monoxide and methane // *Kinetics and Catalysis*. 2021. V. 62. № 1. P. 155–159.
- 8 Слептерев А.А., Цырульников П.Г. Палладиевые катализаторы, на оксиде алюминия, модифицированном оксидами РЗЭ // *Омский научный вестник*. 2013. № 1 (117). С. 51–58.
- 9 Mohallem N. D. S., Viana M. M., Silva R. A. Automotive catalysts: performance, characterization and development // *New Trends and Developments in Automotive Industry*. IntechOpen, 2011.
- 10 Дубко А.И., Юдин Н.В., Пинчук Ю.А., Обухов Е.О. Исследование активности палладиевых катализаторов на керамических носителях с добавками оксидов редкоземельных элементов (ОРЗЭ) // *Успехи в химии и химической технологии*. 2017. Т. 31. № 5.
- 11 Muñoz F.F., Baker R.T., Leyva A.G., Fuentes R.O. Reduction and catalytic behaviour of nanostructured Pd/gadolinia-doped ceria catalysts for methane combustion // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2013. V. 136–137. P. 122–132.
- 12 Lalomov A., Bochnova A. Rare-metal potential of placer deposits and weathering crusts of the Russian Arctic // *Arctic: Ecology and Economy*. 2018. P. 111–122. doi: 10.25283/2223–4594–2018–4–111–122
- 13 Kasatkin V.V., Kasatkin A.V., Ilyichev V.A., Sedov N.S. et al. Post-prospecting radioecological surveys on the Tomtorskoye rare metal deposit (Sakha Republic (Yakutia)) // *Radiation Hygiene*. 2008. V. 11. № 4. doi: 10.21514/1998–426X-2018–11–4–18–27
- 14 Lee D., Seo J., Valladares L.D.L.S., Avalos Quispe O. et al. Magnetic and structural properties of yellow europium oxide compound and  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  // *Journal of Solid State Chemistry*. 2015. V. 228. P. 141–145. doi: 10.1016/j.jssc.2015.04.018
- 15 Ren C., Li W., Li H., Liu X. et al. Ultrasmall Pt nanoclusters deposited on europium oxide: A newly active photocatalyst for visible-light-driven photocatalytic hydrogen evolution // *Applied Surface Science*. 2019. V. 480. P. 96–104. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.02.192
- 16 Kumar S., Prakash R., Singh, Vivek K. Synthesis, Characterization, and Applications of Europium Oxide: A Review // *Reviews in Advanced Sciences and Engineering*. 2016. V. 4(4). P. 247–257. doi: 10.1166/rase.2015.1102
- 17 Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact // *Geoscience Frontiers*. 2019. V. 10. № 4. P. 1285–1303.
- 18 Трошина М.А. О комплексообразовании в системе «Сульфат хрома (III) – сульфат алюминия-сульфат титанила-вода» // *Вектор науки ТГУ*. 2017. № 1. С. 24–28. doi: 10.18323/2073–5073–2017–1–23–29
- 19 Aliyu H.N., Naaliya J. Potentiometric studies on essential metal (II) amino acid complexes // *Global Advanced Research Journal of Microbiology*. 2012. V. 1(5). P. 72–78.
- 20 Xu L., Feng L., Han Y., Jing Y. et al. Supramolecular self-assembly enhanced europium (III) luminescence under visible light // *Soft Matter*. 2014. V. 10. № 26. P. 4686–4693. doi: 10.1039/c4sm00335g


**References**

- 1 Kaur N. Palladium catalysts: synthesis of five-membered N-heterocycles fused with other heterocycles. *Catalysis Reviews*. 2015. vol. 57. no. 1. pp. 1-78. doi: 10.1080/01614940.2014.976118
- 2 Das P., Linert W. Schiff base-derived homogeneous and heterogeneous palladium catalysts for the Suzuki–Miyaura reaction. *Coordination Chemistry Reviews*. 2016. vol. 311. pp. 1-23. doi: 10.1016/j.ccr.2015.11.010
- 3 Clavadetscher J., Indrigo E., Chankeshwara S.V., Lilienkamp A. et al. In-Cell Dual Drug Synthesis by Cancer-Targeting Palladium Catalysts. *Angewandte Chemie*. 2017. vol. 129. no. 24. pp. 6968-6972.
- 4 Siyu Lin, Linyan Yang, Xue Yang, Renxian Zhou Redox properties and metal–support interaction of  $\text{Pd/Ce}_{0.67}\text{Zr}_{0.33}\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst for CO, HC and NO x elimination. *Applied Surface Science*. 2014. vol. 305. pp. 642–649.
- 5 Colussi S., Leitenburg C., Dolcetti G., Trovarelli A. The role of rare earth oxides as promoters and stabilizers in combustion catalysts. *Journal of Alloys and Compounds*. 2004. vol. 373. pp. 387–392.
- 6 Wei Liu, Wenxin Tong, Xinxin Lu, Shanghua W Effects of different types of rare earth oxide additives on the properties of silicon nitride ceramic substrates. *Ceramics International*. 2019. vol. 45. no. 9. doi:10.1016/j.ceramint.2019.03.176



- 7 Liberman E.Y., Simakina E.A., Izotova A.O., Kon'kova T.V. et al. Synthesis and activity of nanodispersed SnO<sub>2</sub>-CeO<sub>2</sub> catalyst in the oxidation reactions of carbon monoxide and methane. *Kinetics and Catalysis*. 2021. vol. 62. no. 1. pp. 155–159.
- 8 Slepterev A.A., Tsyulnikov P.G. Palladium catalysts based on alumina modified with REE oxides. *Omsk Scientific Bulletin*. 2013. no. 1 (117). pp. 51–58. (in Russian).
- 9 Mohallem N. D. S., Viana M. M., Silva R. A. Automotive catalysts: performance, characterization and development. *New Trends and Developments in Automotive Industry*. IntechOpen, 2011.
- 10 Dubko A.I., Yudin N.V., Pinchuk Yu.A., Obukhov E.O. Investigation of the activity of palladium catalysts on ceramic carriers with additives of oxides of rare earth elements (REE). *Advances in chemistry and chemical technology*. 2017. vol. 31. no. 5. (in Russian).
- 11 Muñoz F.F., Baker R.T., Leyva A.G., Fuentes R.O. Reduction and catalytic behaviour of nanostructured Pd/gadolinia-doped ceria catalysts for methane combustion. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2013. vol. 136–137. pp. 122–132.
- 12 Lalomov A., Bochnova A. Rare-metal potential of placer deposits and weathering crusts of the Russian Arctic. *Arctic: Ecology and Economy*. 2018. pp. 111–122. doi: 10.25283/2223-4594-2018-4-111-122
- 13 Kasatkin V.V., Kasatkin A.V., Ilychev V.A., Sedov N.S. et al. Post-prospecting radioecological surveys on the Tomtorskoye rare metal deposit (Sakha Republic (Yakutia). *Radiation Hygiene*. 2008. vol. 11. no. 4. doi: 10.21514/1998-426X 2018-11-4-18-27
- 14 Lee D., Seo J., Valladares L.D.L.S., Avalos Quispe O. et al. Magnetic and structural properties of yellow europium oxide compound and Eu(OH)<sub>3</sub>. *Journal of Solid State Chemistry*. 2015. vol. 228. pp. 141–145. doi: 10.1016/j.jssc.2015.04.018
- 15 Ren C., Li W., Li H., Liu X. et al. Ultrasmall Pt nanoclusters deposited on europium oxide: A newly active photocatalyst for visible-light-driven photocatalytic hydrogen evolution. *Applied Surface Science*. 2019. vol. 480. pp. 96–104. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.02.192
- 16 Kumar S., Prakash R., Singh, VivekK. Synthesis, Characterization, and Applications of Europium Oxide: A Review. *Reviews in Advanced Sciences and Engineering*. 2016. vol. 4(4). pp. 247–257. doi: 10.1166/rase.2015.1102
- 17 Balaran V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*. 2019. vol. 10. no. 4. pp. 1285–1303.
- 18 Troshina M.A. On complex formation in the system "Chromium sulfate (III) - aluminum sulfate-titanyl sulfate-water". *Vector of Science TSU*. 2017. no. 1. pp. 24–28. doi: 10.18323/2073-5073-2017-1-23-29 (in Russian).
- 19 Aliyu H.N., Naaliya J. Potentiometric studies on essential metal (II) amino acid complexes. *Global Advanced Research Journal of Microbiology*. 2012. vol. 1(5). pp. 72–78.
- 20 Xu L., Feng L., Han Y., Jing Y. et al. Supramolecular self-assembly enhanced europium (III) luminescence under visible light. *Soft Matter*. 2014. vol. 10. no. 26. pp. 4686-4693. doi: 10.1039/c4sm00335g

**Сведения об авторах**

**Ирина В. Кузнецова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuznetsovaiv@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-6666-6292>

**Денис С. Сугатов** студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, den.sugatov2000@gmail.com

**Валентина И. Грызлова** студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, valya.gr.11@gmail.com


**Вклад авторов**

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Irina V. Kuznetsova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kuznetsovaiv@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-6666-6292>

**Denis S. Sugatov** student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, den.sugatov2000@gmail.com

**Valentina I. Gryzlova** student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, valya.gr.11@gmail.com

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/01/2022	После редакции 08/02/2022	Принята в печать 01/03/2022
Received 17/01/2022	Accepted in revised 08/02/2022	Accepted 01/03/2022