

Научная статья

УДК 543.552.054.1

doi: 10.17223/24135542/25/3

Определение парацетамола методом инверсионной вольтамперометрии на электродах, модифицированных редкоземельными элементами

**Анастасия Олеговна Кинсфатор¹,
Владимир Витальевич Шелковников²**

*^{1, 2} Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия*

¹ kinsfator_anastasia@mail.ru

² shvv@chem.tsu.ru

Аннотация. Представлены результаты разработки методики определения парацетамола методом инверсионной вольтамперометрии в растворах. В качестве сенсора предложено использовать графитосодержащий электрод, модифицированный европием и тербием. Определение основано на образовании адсорбирующегося на электроде комплексного соединения парацетамола с ионами РЗЭ, которое способно окисляться при анодной развертке потенциала.

Выбраны оптимальные условия концентрирования и получения аналитического сигнала парацетамола в условиях вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала: $E_3 = -0,9$ В, время электролиза 20–120 с, зависимость тока пика от концентрации подчиняется уравнению $I = 0,578C - 0,037$ ($R^2 = 0,979$). В качестве металла-модификатора был выбран тербий. Предложен возможный механизм концентрирования и окисления парацетамола на модифицированном электроде.

Представлен алгоритм определения парацетамола методом инверсионной вольтамперометрии на электроде, модифицированном тербием. Диапазон определяемых концентраций вещества составляет 0,1–1,5 мг/л. Нижняя граница определяемых содержаний – 0,12 мг/л.

Апробация предложенной методики вольтамперометрического определения парацетамола проведена на лекарственных препаратах, содержащих парацетамол. В качестве таких препаратов были выбраны пенталгин и цитрамон. Модификация электрода тербием показала более высокую точность результатов определения вещества.

Ключевые слова: электрохимические методы анализа, инверсионная вольтамперометрия, модифицированные электроды, парацетамол, редкоземельные элементы

Для цитирования: Кинсфатор А.О., Шелковников В.В. Определение парацетамола методом инверсионной вольтамперометрии на электродах, модифицированных редкоземельными элементами // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2022. № 25. С. 31–41. doi: 10.17223/24135542/25/3

Determination of paracetamol by stripping voltammetry on electrodes modified with rare earth elements

Anastasia O. Kinsfator¹, Vladimir V. Shelkovnikov²

^{1,2} *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

¹ *kinsfator_anastasia@mail.ru*

² *shvv@chem.tsu.ru*

Abstract. The present paper dwells upon the development of a method for the paracetamol determination by stripping voltammetry in solutions. Graphite-containing electrode modified with europium and terbium is proposed to be used as a sensor. The determination is based on the paracetamol with REE ions complex compound formation which adsorbed on the electrode and can be oxidized during anodic potential sweep.

The optimal conditions for concentrating and obtaining an analytical signal of paracetamol under the conditions of voltammetry with a linear potential sweep: $E_c = -0.9$ V, electrolysis time 20 - 120 s were selected, the dependence of the peak current on concentration obeys the equation $I = 0.578C - 0.037$ ($R^2 = 0.979$). It was proposed to use terbium as a metal for electrode modification. A feasible mechanism for the concentration and oxidation of paracetamol on a modified electrode has been proposed.

An algorithm for paracetamol determination by stripping voltammetry (SVA) on a terbium-modified electrode is suggested. The range of determined concentrations of the substance is 0.1-1.5 mg/l. The limit of paracetamol detection is 0,12 mg/l.

The approbation of the proposed method for the voltammetric determination of paracetamol was carried out on drugs containing paracetamol. Determination of paracetamol concentration was carried out on drugs such as pentalgin and citramon. The modification of the electrode with terbium showed a higher accuracy of the results of substance determination. Based on the obtained results the authors propose to use terbium as a modifier for carbon-based electrode.

Keywords: electrochemical methods of analysis, stripping voltammetry, modified electrodes, paracetamol, rare earth elements

For citation: Kinsfator A.O., Shelkovnikov V.V. Determination of paracetamol by stripping voltammetry on electrodes modified with rare earth elements // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Chimia – Tomsk State University Journal of Chemistry*, 2021, 25, 31–41. doi: 10.17223/24135542/25/3

Введение

Парацетамол, или N-(4-гидроксифенил) ацетамид, является одним из наиболее широко используемых обезболивающих и жаропонижающих нестероидных противовоспалительных препаратов. Активность парацетамола аналогична активности аспирина, поэтому он является хорошей альтернативой для пациентов, обладающих повышенной чувствительностью к ацетилсалициловой кислоте [1]. Парацетамол входит в состав лекарственных препаратов, выпускаемых в разнообразных формах: порошки (Колдрекс, Фервекс для детей и взрослых, Терафлю от гриппа и простуды), таблетки

(Панадол, Пенталгин, Цитрамон, Ринза и др.), свечи (Цефекон, Эффералган и др.), капсулы (Солпадеин), суспензии (Детский Панадол); кроме того, в аптеках в свободной продаже имеется парацетамол в виде таблеток [2]. Парацетамол не оказывает вредного воздействия на организм человека, однако его использование в больших дозах в течение длительного времени может приводить к гепатоксии, нефротоксии, аллергическим реакциям и вызывать экзему и астму. Широкое применение лекарственных средств, содержащих в своем составе парацетамол, привело к поиску новых чувствительных и экспрессных способов его определения.

В настоящее время существует множество аналитических методов для определения данного вещества, таких как титриметрия, ИК-спектроскопия, спектрофотометрия, хроматография, высокоэффективная жидкостная хроматография с детектором UV – Vis, ВЭЖХ с ГХ-МС, вольтамперометрия, хемиллюминесцентные и проточные методы [3, 4]. Метод вольтамперометрии имеет ряд преимуществ благодаря простоте выполнения процедуры, доступной стоимости оборудования, быстрому чувствительному, селективному и точному отклику электрода, особенно при использовании химически модифицированных электродов с электрокаталитическими свойствами [5, 6]. В качестве модификаторов используются различные материалы, например композиты, которые состоят из наночастиц оксида цинка и углеродных нанотрубок [7], композиты на основе оксида графена, углеродной черни, наночастиц меди, а также редкоземельные элементы (РЗЭ).

Химическая модификация поверхности электрода придает ей особые свойства, которые способствуют повышению чувствительности, селективности и воспроизводимости метода. По этой причине поиск и создание химически модифицированных электродов (ХМЭ), обладающих медиаторными свойствами, для вольтамперометрического определения широкого круга органических соединений является актуальным направлением современных электроаналитических исследований [5, 8].

В последние десятилетия редкоземельные элементы стали находить широкое применение в электрокатализе. Одна из главных причин, по которым РЗЭ все чаще используются для электрокатализа, – уникальная электронная структура орбитали 4f и соответствующее лантаноидное сжатие [9]. Подуровень 4f редкоземельных элементов имеет семь валентных орбиталей, способных образовывать связи, которые могут быть задействованы как резервные. Поэтому такие элементы можно использовать в качестве добавок или активаторов для улучшения каталитических свойств исходных материалов [10].

В настоящее время редкоземельные металлы пользуются особой популярностью для модификации электрокатализаторов на основе платины. Например, сплав PtLa демонстрируют превосходную каталитическую активность и долгосрочную стойкость к реакции окисления этанола [11]. Сплавы Pt с такими металлами, как европий, тербий и неодим, активно используются для улучшения каталитической активности окисления метанола [12]. Каталитическая активность лантана, церия, празеодима, неодима и прометия обычно не изучается из-за их радиоактивности [9].

В качестве наиболее распространенных модификаторов выступают оксиды редкоземельных элементов, сами элементы используются не так часто. Модифицированный оксидом неодима углеродсодержащий электрод проявляет высокие электрохимические каталитические свойства в реакции окисления парацетамола, что указывает на возможность применения такого электрода для обнаружения данного вещества [13]. В представленной работе было решено рассмотреть, как другие металлы, в виде ионов, а не оксидов, могут влиять на процесс окисления парацетамола.

Цель работы заключалась в разработке методики определения парацетамола методом инверсионной вольтамперометрии на электродах, модифицированных редкоземельными элементами.

Материалы и методы исследования

Вольтамперометрические измерения проводили на анализаторе TA-LAB (НПО «Томьаналит») в постояннотоковом режиме в двухэлектродной ячейке. В качестве рабочего электрода для определения парацетамола методом инверсионной вольтамперометрии (ИВА) предложено использовать углеродсодержащий электрод, модифицированный тербием и европием, а электродом сравнения служил хлоридсеребряный в 1 М КСl. Закрепление модификатора на поверхности электрода проводили методом физической адсорбции. В электрохимическую ячейку вносили 10 мл натрий-фосфатного буферного раствора с $\text{pH} = 6,86$ и добавляли 40 мкл раствора хлорида европия / нитрата тербия. Проводили накопление европия / тербия при потенциале $-1,7$ В.

Для изучения электрохимического поведения парацетамола на электроде, модифицированном РЗЭ, во вторую электрохимическую ячейку помещали 10 мл буферного раствора, вносили раствор парацетамола с концентрацией 0,2 мг/л и 0,1 мг/л. Значения используемых потенциалов варьировали от $-1,1$ до $-0,1$ В. Время накопления тербия и парацетамола – 30 с.

УФ спектры регистрировали на спектрофотометре UNICO-2800UV.

В работе использовали европий (III) хлористый EuCl_3 (хч), тербий (III) азотнокислый $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3$ (хч), натрий-фосфатный буферный раствор ($\text{pH} = 6,86$). Стандартные растворы парацетамола готовили разбавлением из ГСО. Все растворы готовили на деионизированной воде, полученной на Sartorius arium®pro.

Процесс пробоподготовки к апробации методики включал в себя растворение лекарственных препаратов (пенталгина и цитрамона) в форме таблеток в 100 мл деионизированной воды с последующим фильтрованием на бумажном фильтре.

Результаты и обсуждение

Парацетамол не является электроактивным веществом, хоть и содержит группы, которые могут участвовать в процессе переноса электронов. В присутствии парацетамола на вольтамперограмме проявляется сигнал в виде

слабовыраженного пика в области +0,15 В. Для определения таких веществ можно использовать процесс связывания их в комплексные соединения с ионами металлов, которые способны окисляться или восстанавливаться на электроде.

Аналитические сигналы парацетамола, полученные на графитовом электроде, представлены на рис. 1.

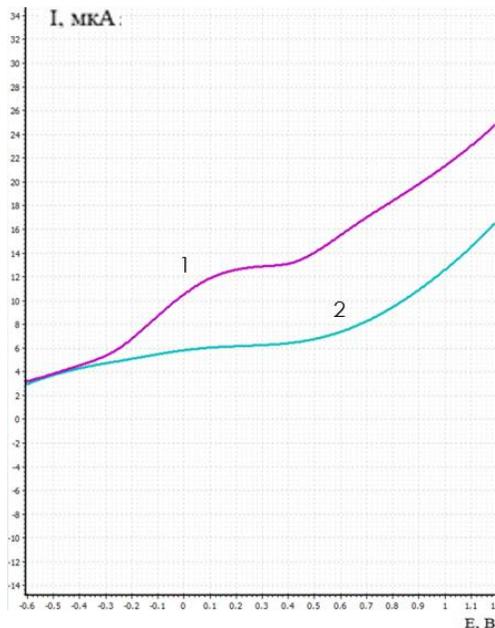


Рис. 1. Вольтамперная кривая окисления парацетамола на графитовом электроде: 1 – фоновый электролит + парацетамол 2 мг/л; 2 – фоновый электролит–натрий–фосфатный буфер с рН = 6,86

Накопление РЗЭ происходит в сильно отрицательной области потенциалов. Кроме восстановления, в этой области происходят и другие процессы, которые затрудняют проявление сигнала.

На кривой окисления тербия, представленной на рис. 2, а, наблюдается три пика, что соответствует ступенчатому окислению Tb на электроде в области сильно отрицательных значений потенциалов: сначала происходит переход степени окисления из 0 в +1, затем в +2 и далее в +3.

На рис. 2, б представлена вольтамперная кривая окисления европия. Кривая имеет две волны. Появление первой волны вызвано окислением и переходом из степени окисления 0 в степень +1, второй волны – переходом из степени окисления +1 в +3.

Так как зависимость для парацетамола была слабовыраженной, то для улучшения сигнала было проведено предварительное осаждение РЗЭ на электроде при потенциале –1,7 В, и далее модифицированный электрод использовался для накопления парацетамола при потенциале –0,9 В (рис. 3).

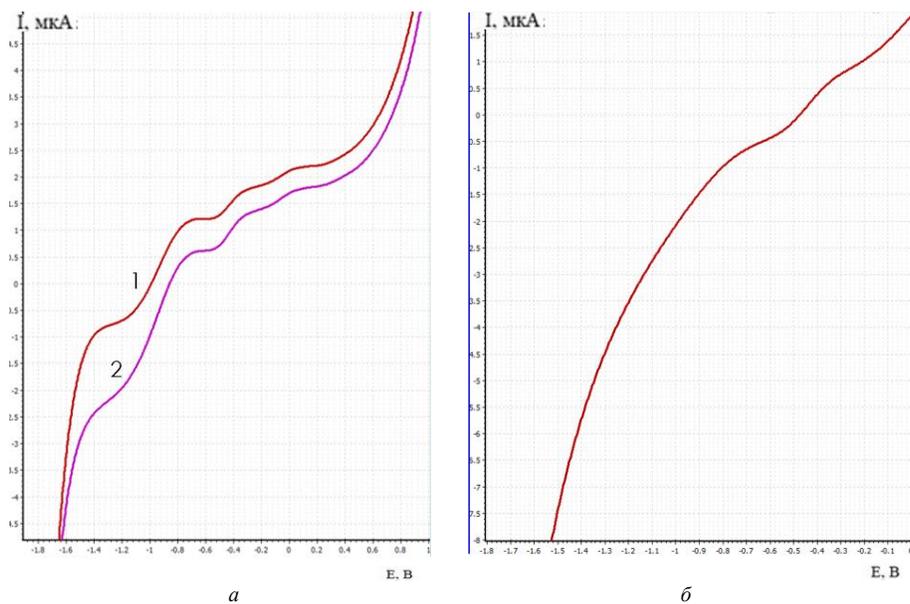


Рис. 2. Вольтамперограммы окисления на графитовом электроде:
 а – тербия (1 – фоновый электролит + $Tb(NO_3)_3$ (конц. $4 \cdot 10^{-6}M$); 2 – фоновый электролит + $Tb(NO_3)_3$ (конц. $2 \cdot 10^{-6}M$); б – европия (фоновый электролит + $EuCl_3$ (конц. $4 \cdot 10^{-6}M$))

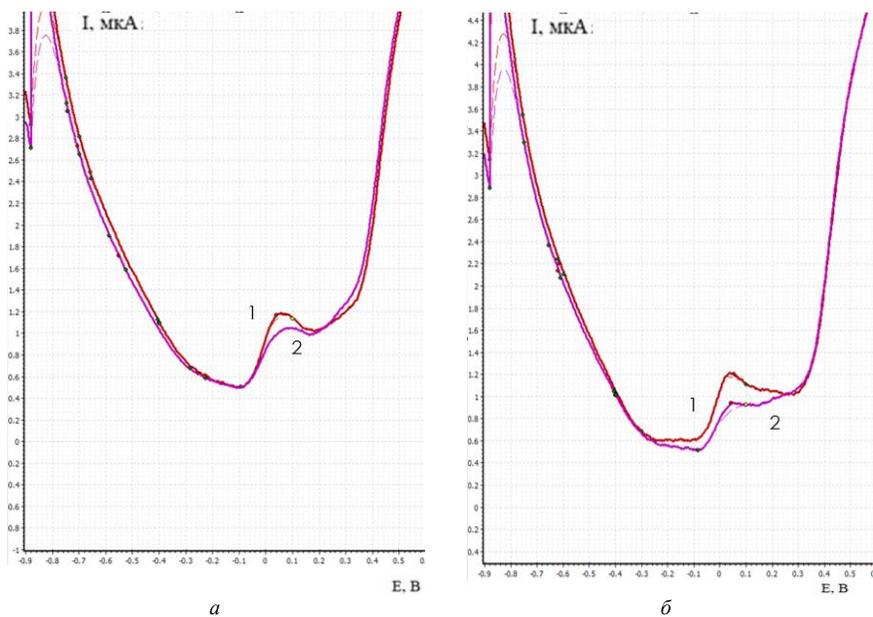


Рис. 3. Дифференциальные вольтамперные кривые окисления парацетамола на электроде, модифицированном тербием (а) и европием (б).
 Концентрация парацетамола: 1 – 10 мг/л, 2 – 5 мг/л

Для объяснения эффекта возрастания сигнала были получены УФ-спектры. Измерения проводили в интервале от 190 до 300 нм. На представленном на рис. 4 УФ-спектре проявляется сигнал в области 241 нм, что соответствует максимуму поглощения водного раствора парацетамола. При добавлении в раствор парацетамола тербия и европия происходит уменьшение сигнала пропорционально концентрации парацетамола. На основании этого можно сделать предположение, что образуется соединение, которое легче окисляется на электроде.

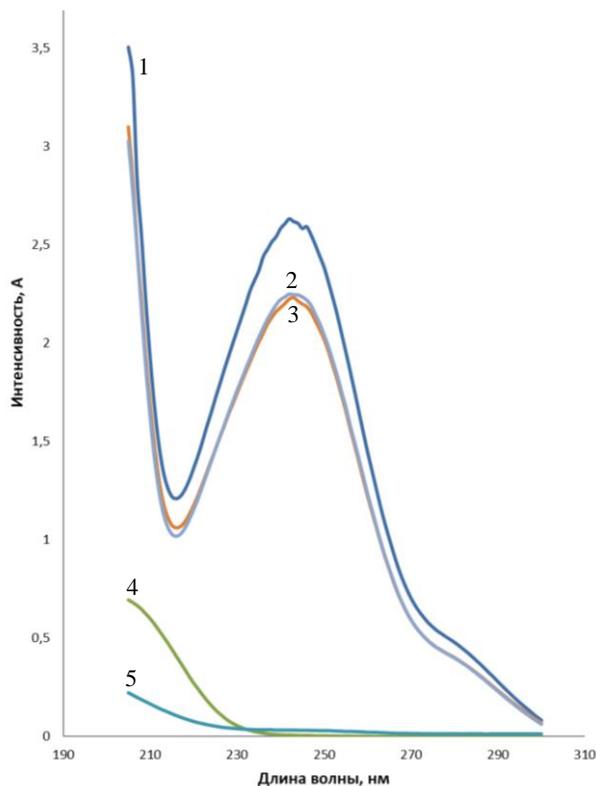
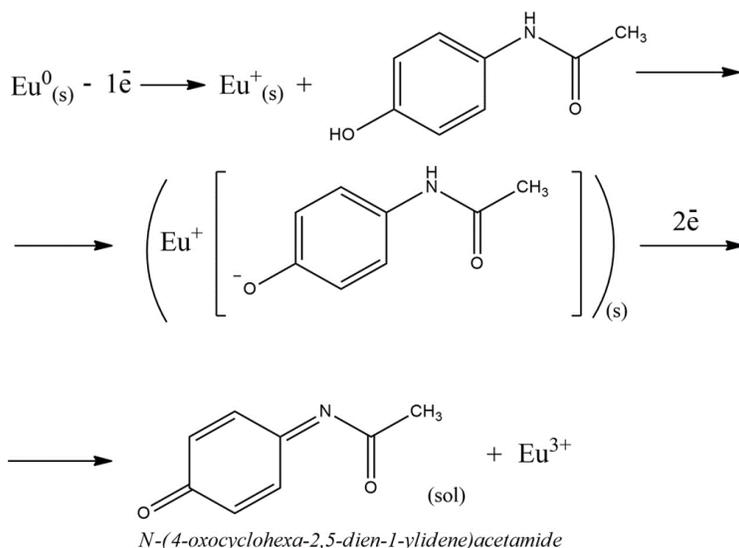


Рис. 4. УФ спектры: 1 – парацетамол $1 \cdot 10^{-5}$ М; 2 – парацетамол $1 \cdot 10^{-5}$ М : EuCl_3 $2 \cdot 10^{-6}$ М; 3 – парацетамол $1 \cdot 10^{-5}$ М : $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3$ $2 \cdot 10^{-6}$ М; 4 – водный раствор $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3$ $2 \cdot 10^{-6}$ М; 5 – водный раствор EuCl_3 $2 \cdot 10^{-6}$ М

При потенциале накопления $-0,9$ В происходит окисление металлического европия на поверхности электрода с 0 до +1. При данном потенциале Eu^+ взаимодействует с парацетамолом, образуя комплексное соединение, адсорбирующееся на поверхности электрода. Далее при анодной развертке происходит процесс окисления комплекса, и образовавшийся 4-ацетамидоциклогексанон переходит в раствор. С тербием процесс протекает аналогично. Возможный механизм реакции окисления парацетамола на электроде, модифицированном европием, может быть представлен схемой:



Для выбора оптимальных условий регистрации вольтамперных кривых изучено влияние потенциала электролиза, концентрации и времени концентрирования на величину аналитического сигнала. Величина тока пика возрастает в более отрицательной области потенциалов вне зависимости от металла-модификатора. Зависимость выходит на предел при потенциале $-0,9$ В, по этой причине данный потенциал предложен в качестве оптимального. Зависимость тока пика от времени электролиза линейна в изученном диапазоне от 20 до 120 с, что позволяет варьировать условия анализа при различном содержании парацетамола в растворе. Концентрационная зависимость в случае комплексного соединения с тербием имеет линейный характер и описывается уравнением $I = 0,578C - 0,037$ ($R^2 = 0,979$). Нижняя граница определяемых содержаний – 0,12 мг/л. При разрядке комплекса с европием наблюдается небольшой линейный диапазон зависимости, до 0,4 мг/л, далее происходит выход на предел. Поэтому в качестве модификатора предложено использовать тербий, а не европий.

Проверку правильности методики проводили на лекарственных препаратах, содержащих парацетамол. Было выбрано два препарата – пенталгин и цитрамон. Результаты определения парацетамола на электродах, модифицированных европием и тербием, представлены в табл. 1, 2 соответственно.

Таблица 1

Результаты определения парацетамола в лекарственных средствах методом инверсионной вольтамперометрии на электроде, модифицированном европием ($n = 5$), $t_{(0,05-4)} = 2,78$

Препарат	Номинальное содержание парацетамола в 1 таблетке, мг	Содержание парацетамола, мг/табл.	t (экс)
Пенталгин	325	196 ± 49	12,9
Цитрамон	180	111 ± 28	16,8

Результаты определения парацетамола в лекарственных средствах методом инверсионной вольтамперометрии на электроде, модифицированном тербием ($n = 5$), $t_{(0,05;4)} = 2,78$

Препарат	Номинальное содержание парацетамола в 1 таблетке, мг	Содержание парацетамола, мг/табл.	t (экс)
Пенталгин	325	300 ± 75	2,65
Цитрамон	180	163 ± 41	2,72

В случае с электродом, модифицированным европием, результаты получились заниженными, содержание парацетамола в образцах не соответствует заявленному. Возможной причиной таких результатов является достаточно низкий диапазон линейности.

Модификация электрода тербием показала более высокие результаты определения вещества. Выявленное содержание парацетамола близко к заявленному. На основании полученных результатов для модификации графитсодержащего электрода было предложено использовать тербий.

Выводы

Показана возможность использования метода инверсионной вольтамперометрии для определения парацетамола на графитовом электроде, модифицированном тербием. Методика определения отличается простотой и экспрессностью. Предложен возможный механизм процесса окисления комплекса парацетамола на электроде, модифицированном РЗЭ. Разработан алгоритм определения парацетамола методом ИВА на электроде, модифицированном тербием, в растворах лекарственных препаратов, позволяющий контролировать его содержание в диапазоне 0,1–1,5 мг/л.

Список источников

1. Wade, M.A.; *The Extra Pharmacopoeia*, London: The Pharmaceutical Press, 1979. doi: 10.1002/jps.2600661152
2. Машковский М.Д. *Лекарственные средства*. 16-е изд., перераб., испр. м доп. М.: Новая волна, 2012. 1216 с.
3. Gadallah M.I., Ali H.R.H., Askal H.F., Saleh G.A. Facile HPTLC-densitometric determination of ertapenem and paracetamol in pharmaceuticals and rabbit plasma with pharmacokinetic insights // *Microchem. J.* 2019. Vol. 150. Art. 104093/ P. 1–12. doi: 10.1016/j.microc.2019.104093
4. Iranifam M., Khodaei S., Saadati M. Chemiluminescence reaction of graphene oxide – luminol – dissolved oxygen and its application for determination of isoniazid and paracetamol // *Microchem. J.* 2019. Vol. 146. P. 850–855. doi: 10.1016/j.microc.2019.02.022
5. Будников Г.К., Евтюгин Г.А., Майстренко В.Н. Модифицированные электроды для вольтамперометрии в химии, биологии и медицине. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 416 с.
6. Будников Г.К., Лабуда Я. Химически модифицированные электроды как амперометрические сенсоры в электроанализе // *Успехи химии*. 1992. Т. 61, № 6. С. 1491–1514. doi: 10.1070/RC1992v061n08ABEH001000

7. Kumar M., Swamy B.E.K., Reddy S., Zhao W., Chetana S., Kumar V.G. ZnO/functionalized MWCNT and Ag/functionalized MWCNT modified carbon paste electrodes for the determination of dopamine, paracetamol and folic acid // *J. Electroanal. Chem.* 2019. Vol. 835. P. 96–105. doi: 10.1016/j.jelechem.2019.01.019
8. Шайдарова Л.Г., Будников Г.К. Химически модифицированные электроды на основе благородных металлов, полимерных пленок или их композитов в органической вольтамперометрии // *Журнал аналитической химии.* 2008. Т. 63, № 10. С. 1014–1036. doi: 10.1134/S0044450219060136
9. Gao W., Wen D., Ho J.C., Qu Y. Incorporation of rare earth elements with transition metal-based materials for electrocatalysis: a review for recent progress // *J. Materials Today Chemistry.* 2019. Vol. 12. P. 266–281. doi: 10.1016/j.mtchem.2019.02.002
10. Li M., Li H., Jiang X., Jiang M., Zhan X., Fu G., Lee J.-M., Tang Y. Gd-induced electronic structure engineering of a NiFe-layered double hydroxide for efficient oxygen evolution // *J. of Mate. Chem. A.* 2021. Vol. 9. P. 2999–3006. doi: 10.1039/d0ta10740a
11. Xiang S., Wang L., Huang C.C., Fan Y.J., Tang H.G., Wei L. et al. Concave cubic PtLa alloy nanocrystals with high-index facets: controllable synthesis in deep eutectic solvents and their superior electrocatalytic properties for ethanol oxidation // *J Power Sources.* 2018. P. 423–428. doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.07.102
12. Oliveira Neto A., Watanabe A.Y., Brandalise M., Tusi M.M., Rodrigues R.M. de S., Linardi M. et al. Preparation and characterization of Pt-Rare Earth/C electrocatalysts using an alcohol reduction process for methanol electro-oxidation // *J. Alloys Compd.* 2009. P. 288–291. doi: 10.1016/j.jallcom.2008.08.073
13. Arancibia V., Penagos-Llanos J., Nagles E., García-Beltrán O., Hurtado J. Development of a microcomposite with single-walled carbon nanotubes and Nd₂O₃ for determination of paracetamol in pharmaceutical dosage by adsorptive voltammetry // *J. of Pharmaceutical Analysis.* 2018. Vol. 9 (1). P. 62–69. doi: 10.1016/j.jpha.2018.11.005

References

1. Wade, M.A. *The Extra Pharmacopoeia*, London: The Pharmaceutical Press, 1979. doi: 10.1002/jps.2600661152
2. Mashkovsky M.D. *Medicines [Lekarnstvennye sredstva]*. / M.D. Mashkovsky. - 16th ed., revised, corrected. and additional - M.: RIA "New Wave", 2012. - 1216 p. (In Russian)
3. Gadallah M.I.; Ali H.R.H.; Askal H.F.; Saleh G.A. Facile HPTLC-densitometric determination of ertapenem and paracetamol in pharmaceuticals and rabbit plasma with pharmacokinetic insights // *Microchem. J.* – 2019. – V. 150. – Art. 104093, P. 1–12. doi: 10.1016/j.microc.2019.104093
4. Iranifam M.; Khodaei S.; Saadati M. Chemiluminescence reaction of graphene oxide – luminol– dissolved oxygen and its application for determination of isoniazid and paracetamol // *Microchem. J.* – 2019. – V. 146. – P. 850–855. doi: 10.1016/j.microc.2019.02.022
5. Budnikov G.K.; Evtugin G.A.; Maystrenko V.N. Modified electrodes for voltammetry in chemistry, biology and medicine [Modificirovannye elektrody dlya vol'tamperometrii v himii, biologii i medicine]. – M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2010. - 416 p. (In Russian)
6. Budnikov G.K.; Labuda J. Chemically modified electrodes as amperometric sensors in electroanalysis [Himicheski modifitsirovannye elektrody kak amperometricheskie sensory v elektroanalize]. // *Success. chemistry.* - 1992. - T. 61, No. 6. - S. 1491-1514. doi: 10.1070/RC1992v061n08ABEH001000. (In Russian)
7. Kumar M.; Swamy B.E.K.; Reddy S.; Zhao W.; Chetana S.; Kumar V.G. ZnO/functionalized MWCNT and Ag/functionalized MWCNT modified carbon paste electrodes for the determination of dopamine, paracetamol and folic acid // *J. Electroanal. Chem.* – 2019. – V. 835. – P. 96–105. doi: 10.1016/j.jelechem.2019.01.019

8. Shaidarova L.G.; Budnikov G.K. Chemically modified electrodes based on noble metals, polymer films, or their composites in organic voltammetry [Himicheski modifitsirovannye elektrody na osnove blagorodnyh metallov, polimernykh plenok ili ih kompozitov v organicheskoy vol'tamperometrii]. // Journal. analyte chemistry. - 2008. - Т. 63, No. 10. - S. 1014-1036. doi: 10.1134/S0044450219060136. (In Russian)
9. Gao W.; Wen D.; Ho J.C.; Qu Y. Incorporation of rare earth elements with transition metal-based materials for electrocatalysis: a review for recent progress// J. Materials Today Chemistry. -2019. – V.12. – P.266-281. doi: 10.1016/j.mtchem.2019.02.002
10. Li M.; Li, H.; Jiang X.; Jiang, M.; Zhan X.; Fu G.; Lee J.-M.; Tang Y. Gd-induced electronic structure engineering of a NiFe-layered double hydroxide for efficient oxygen evolution// J.of Mate. Chem. A. –2021. – V.9. – P. 2999-3006. doi: 10.1039/d0ta10740a
11. Xiang S.; Wang L.; Huang C.C.; Fan Y.J.; Tang H.G.; Wei L, et al. Concave cubic PtLa alloy nanocrystals with high-index facets: controllable synthesis in deep eutectic solvents and their superior electrocatalytic properties for ethanol oxidation // J Power Sources. –2018; –P.423–428. doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.07.102
12. Oliveira Neto A.; Watanabe A. Y.; Brandalise M.; Tusi M. M.; Rodrigues R.M.de S.; Linnardi M.; et al. Preparation and characterization of Pt-Rare Earth/C electrocatalysts using an alcohol reduction process for methanol electro-oxidation// J. Alloys Compd. – 2009;–P.288–291. doi: 10.1016/j.jallcom.2008.08.073
13. Arancibia V.; Penagos-Llanos J.; Nagles E.; García-Beltrán O.; Hurtado J. Development of a microcomposite with single-walled carbon nanotubes and Nd₂O₃ for determination of paracetamol in pharmaceutical dosage by adsorptive voltammetry// J. of pharmaceutical analysis. –2018. – V.9 (1). – P. 62–69. doi: 10.1016/j.jpha.2018.11.005

Сведения об авторах:

Кинсфатор Анастасия Олеговна – лаборант-исследователь, химический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия. E-mail: kinsfator_anastasia@mail.ru

Шелковников Владимир Витальевич – канд. хим. наук, доцент, зав. кафедрой аналитической химии, химический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия. E-mail: shvv@chem.tsu.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Kinsfator Anastasia O. – Research Assistant, Chemistry department, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: kinsfator_anastasia@mail.ru

Shelkovnikov Vladimir V. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of Analytical Chemistry Department, Chemistry Department, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: shvv@chem.tsu.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 25.04.2022; принята к публикации 06.05.2022
The article was submitted 25.04.2022; accepted for publication 06.05.2022*