

УДК 543.25:543.8

## МИЦЕЛЛЯРНЫЕ СРЕДЫ В ЦИКЛИЧЕСКОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ ДИ-, ТРИГИДРОКСИБЕНЗОЛОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

*Г.К. Зиятдинова, Э.Р. Зиганишина, Г.К. Будников*

### Аннотация

Найдены закономерности вольтамперометрического поведения ди-, тригидроксибензолов и их производных на стеклоуглеродном электроде (СУЭ) в мицеллярных средах. Добавление поверхностно-активных веществ (ПАВ) приводит к смещению потенциалов анодных и катодных пиков и увеличению их токов. Наилучшие результаты получены в случае катионного ПАВ цетилпиридиний бромида. При этом наблюдаются минимальная разность потенциалов анодного и катодного пиков и максимальные токи дигидроксибензолов. Окисление пропилгаллата, а также производных пирокатехина и пирогаллола протекает необратимо как в водной, так и в мицеллярной средах. Природа заместителей в структуре соединений влияет на их вольтамперные характеристики. Токи окисления аналитов линейно связаны с их концентрацией в диапазоне 5–1570 мкМ, а пределы обнаружения составляют 2–15 мкМ. Величина относительного стандартного отклонения при определении аналитов в модельных системах не превышает 5%. Возможно совместное определение производных пирокатехина и пирогаллола в смесях.

**Ключевые слова:** ПАВ, самоорганизующиеся системы, циклическая вольтамперометрия, гидроксibenзолы.

### Введение

Ди- и тригидроксибензолы находят широкое применение при дублении кожи и меха, в косметической и фармацевтической промышленности, фотографии и являются важными экотоксикантами [1, 2]. Даже в низких концентрациях они оказывают вредное воздействие на живые организмы. С другой стороны, их производные используются в пищевой промышленности в качестве антиоксидантных добавок [3]. Поэтому контроль содержания ди- и тригидроксибензолов в объектах окружающей среды, биологических образцах и продуктах питания представляет актуальную задачу, что требует разработки надежных, чувствительных и доступных способов их определения.

В настоящее время практически все физико-химические методы нашли широкое применение в анализе на фенольные соединения. Как известно, электрохимические методы характеризуются простотой, доступностью, малым временем анализа и высокой чувствительностью, что делает их привлекательными для определения фенольных соединений. Реакции окисления последних до соответствующих хинонов включают перенос электронов, что дает возможность использовать, например, вольтамперометрию для получения информации о протекании таких реакций. Особый интерес представляют химически модифицированные

электроды, которые обладают рядом преимуществ, в частности обеспечивают чувствительность и высокую селективность, что позволяет в ряде случаев проводить совместное определение гидрохинона и пирокатехина [4–6].

В последнее десятилетие заметный интерес в электрохимии приобретают мицеллярные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ). Они обеспечивают солюбилизацию органических соединений, в том числе участвующих в редокс-реакциях, которые рассматривают как модели процессов, протекающих в живых системах [7–10]. Известно, что электрохимические реакции в мицеллярных средах могут сопровождаться двумя эффектами [8]. Во-первых, ПАВ могут стабилизировать ион-радикалы и интермедиаты, что оказывает влияние на механизм электродной реакции. Во-вторых, присутствие молекул ПАВ изменяет структуру двойного электрического слоя [10] и константу скорости переноса заряда, о чем свидетельствуют сдвиги потенциалов ступеней или пиков на вольтамперограммах соответствующих процессов. В ряде случаев эти изменения приводят к улучшению аналитических характеристик, в частности к повышению степени обратимости электрохимической реакции и чувствительности определения [11–14].

Так, разработан простой и высокочувствительный вольтамперометрический метод для одновременного определения пирокатехина и гидрохинона на стеклоуглеродном электроде (СУЭ) в мицеллярной среде. Их электрохимическое поведение в мицеллярных средах цетилпиридиния бромиде (ЦПБ) и додецилбензилсульфоната натрия изучено методом циклической вольтамперометрии. Токи пиков окисления пирокатехина и гидрохинона увеличиваются в присутствии ЦПБ, в то время как в присутствии додецилбензилсульфоната натрия наблюдается их понижение. Установлено, что в условиях дифференциальной импульсной вольтамперометрии возможно одновременное определение обоих аналитов. Присутствие 1 мМ ЦПБ позволяет разделить пики окисления пирокатехина и гидрохинона. Разница между потенциалами окисления составляет 100 мВ. Ток окисления пирокатехина линейно зависит от его концентрации в диапазоне  $3.0 \cdot 10^{-6} - 4.0 \cdot 10^{-4}$  М в присутствии  $1 \cdot 10^{-4}$  М гидрохинона; предел обнаружения составляет  $3.0 \cdot 10^{-6}$  М. Градуировочный график для гидрохинона линейен в диапазоне  $8.0 \cdot 10^{-6} - 4.0 \cdot 10^{-4}$  М в присутствии  $1 \cdot 10^{-4}$  М пирокатехина; предел обнаружения равен  $8.0 \cdot 10^{-6}$  М [15].

Предложен способ определения пропилгаллата на микроэлектродах из угольных волокон, модифицированных пленкой поли(3-метилтиофена) в организованных средах с применением дифференциально-импульсной вольтамперометрии [16]. Неионогенный Pluronic F-68 выбран как наиболее подходящий для формирования мицеллярных растворов пропилгаллата, а также для получения системы масло/вода. Смесь этилацетат – гексан в соотношении 20 : 80 и 0.05 М фосфатный буферный раствор (рН 2) использовали в качестве органической и водной фаз. Аналитические характеристики определения пропилгаллата в организованных средах оказались более высокими, чем полученные в водных растворах. Градуировочный график линейен в диапазонах  $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$  и  $1 \cdot 10^{-5} - 7 \cdot 10^{-5}$  М пропилгаллата, предел обнаружения равен  $2.5 \cdot 10^{-7}$  М.

Авторы [17] исследовали электрохимическое окисление пропилгаллата методом циклической вольтамперометрии в растворах различных ПАВ (Triton X100,

ЦТАБ, бис-(2-этилгексил)сульфосукцината натрия) и в микроэмульсии, стабилизированной анионным додецилсульфатом натрия. Введение ПАВ приводит к сдвигу потенциала пика к более положительным значениям вследствие взаимодействия электроактивного вещества с ПАВ на электроде и с мицеллами в объеме раствора. В микроэмульсиях процесс окисления протекает сложнее, чем в растворах, содержащих ПАВ. Потенциал окисления значительно увеличивается, когда микроэмульсия масло/вода преобразовывается в микроэмульсию вода/масло через непрерывную фазу.

Существующие исследования показывают, что использование мицеллярных сред приводит к улучшению аналитических характеристик определения гидроксibenзолов. Представляет интерес оценить возможности определения производных ди- и тригидроксibenзолов в мицеллярных средах при совместном присутствии с применением методов вольтамперометрии.

### 1. Экспериментальная часть

В работе использовали 99%-ные гидрохинон, пирокатехин и пропилгаллат (Sigma-Aldrich, Германия). Их производные синтезированы на кафедре органической химии Уральского федерального университета. Стандартные 0.01 М растворы готовили по точной навеске, которую растворяли в 25.0 мл дистиллированной воды.

Растворы ПАВ (Triton X100 (Sigma, Германия), цетилпиридиний бромида (Aldrich, Германия) и додецилсульфата натрия (SDS) (Panreac, Испания)) готовили, растворяя точные навески в дистиллированной воде. Остальные реактивы марки «х. ч.».

Вольтамперометрические измерения проводили на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». В электрохимическую ячейку объемом 20.0 мл вносили 10.0 мл фонового электролита и аликвоту раствора исследуемого соединения. В качестве фонового электролита использовали 0.1 М фосфатный буферный раствор pH 6.6 или 2 мМ раствор ЦПБ в фосфатном буферном растворе pH 6.6. В ячейку опускали рабочий (СУЭ с площадью рабочей поверхности 3.14 мм<sup>2</sup>), вспомогательный (платиновый) и насыщенный хлоридсеребряный электроды и регистрировали циклические вольтамперограммы с линейной разверткой потенциала от -0.5 до 1.0 В со скоростью 100 мВ/с.

### 2. Результаты и их обсуждение

Как известно, гидроксibenзолы легко окисляются на СУЭ на фоне фосфатного буферного раствора в условиях циклической вольтамперометрии [18]. Причем на циклических кривых наблюдаются соответствующие анодно-катодные пики (или ступени).

В целом такая же картина наблюдается и при изучении вольтамперометрического поведения гидроксibenзолов в самоорганизующихся средах на основе ПАВ. Для оценки влияния мицеллярных сред ПАВ различной природы (Triton X100, SDS и ЦПБ) использовали гидрохинон (табл. 1).

Табл. 1

Вольтамперные характеристики гидрохинона на фоне фосфатного буферного раствора pH 6.6

ПАВ	$C_{\text{ПАВ}}, \text{M}$	$E_{a_2}, \text{B}$	$E_{k_2}, \text{B}$	$\Delta E, \text{B}$	$I_{a_2}, \text{мкА}$	$I_{k_2}, \text{мкА}$	$I_a/I_k$
–	0	0.50	-0.185	0.685	0.72	-0.75	0.96
Triton X100	$3 \cdot 10^{-4}$	0.44	-0.186	0.626	0.91	-1.12	0.81
SDS	$9 \cdot 10^{-3}$	0.46	-0.171	0.631	0.92	-1.39	0.66
ЦПБ	$2 \cdot 10^{-3}$	0.26	0	0.26	1.83	-1.68	1.09

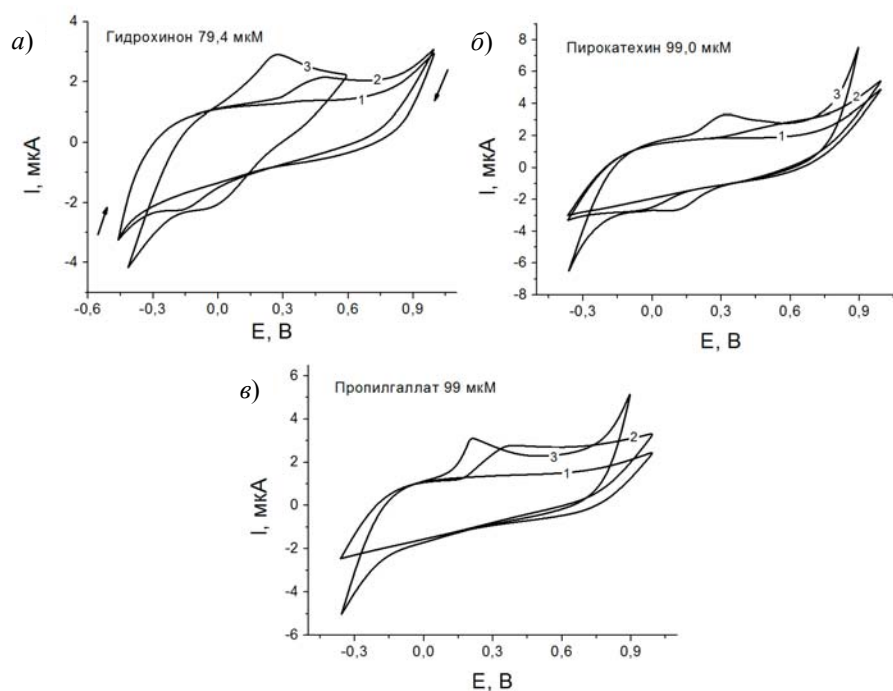


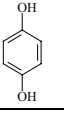

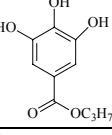
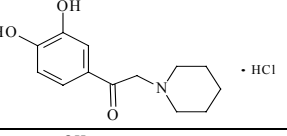
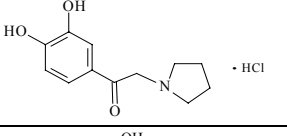
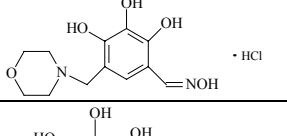
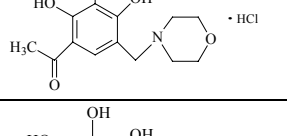
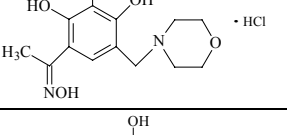
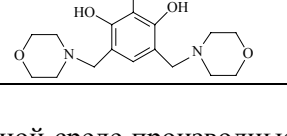
Рис. 1. Циклические вольтамперограммы гидроксibenзолов на СУЭ на фоне фосфатного буферного раствора pH 6.6 (кривая 2) и 2 мМ ЦПБ в фосфатном буферном растворе (кривая 3). Кривая 1 соответствует фоновому электролиту. Скорость изменения потенциала 100 мВ/с

Добавление ПАВ приводит к смещению анодных и катодных пиков и увеличению токов гидрохинона. Наилучшие результаты получены в случае ЦПБ. При этом наблюдаются минимальная разность потенциалов анодного и катодного пиков (0.26 В) и максимальные токи. Кроме того, редокс-система является полностью обратимой, о чем свидетельствует отношения анодного и катодного токов пиков. Поэтому в дальнейших исследованиях использовали ЦПБ.

Окисление гидрохинона и пирокатехина в среде 2 мМ ЦПБ протекает в некоторой степени обратимо, о чем свидетельствует присутствие катодных ступеней на циклических вольтамперограммах (рис. 1, а и б). Окисление пропилгаллата и его производных, а также производных пирокатехина протекает необратимо как в водной, так и в мицеллярной средах (рис. 1, в). Кроме того, следует отметить, что в присутствии ЦПБ улучшается форма аналитического сигнала для всех исследуемых соединений.

Табл. 2

Вольтамперные характеристики гидроксibenзолов на фоне фосфатного буферного раствора pH 6.6

№	Структурная формула	Потенциал окисления, В	
		$C_{\text{ЦПБ}} = 0$	$C_{\text{ЦПБ}} = 2 \text{ мМ}$
I		0.5	0.26
II		0.55	0.3
III		0.36	0.21
IV		0.66; 0.81	0.5; 0.65
V		0.56; 0.85	0.46; 0.62
VI		0.41; 0.75	0.23; 0.47
VII		0.38; 0.99	0.27; 0.81
VIII		0.57; 0.83	0.32; 0.82
IX		0.43; 0.85	0.4; 0.73

В мицеллярной среде производные пирокатехина окисляются труднее, чем пирокатехин, о чем свидетельствует смещение их потенциалов к более высоким значениям в анодной области (табл. 2). Это объясняется высокой стерической загруженностью молекул рассматриваемых соединений. Потенциалы окисления производных пирогаллола незначительно смещены к более положительным значениям по сравнению с пропилгаллатом, за исключением соединения IX, для которого  $\Delta E$  составляет 0.19 В, что, вероятно, связано с большим размером заместителей.

Табл. 3

Характеристики вольтамперометрического определения гидроксibenзолов на фоне 2 мМ ЦПБ в фосфатном буферном растворе ( $n = 5$ ,  $P = 0.95$ )

Соединение	Предел обнаружения, мкМ	Диапазон концентраций, мкМ	Уравнение регрессии $y = a + bx$		$R^2$
			$a$	$b \cdot 10^{-3}$	
I	7.0	10÷1500	$0.13 \pm 0.11$	$13.7 \pm 0.2$	0.9988
II	5.0	10÷1670	$0.00 \pm 0.06$	$16.3 \pm 0.1$	0.9998
III	2.0	5.0÷79.4	$0.05 \pm 0.02$	$19.1 \pm 0.4$	0.9988
		79.4÷1200	$1.2 \pm 0.2$	$10.7 \pm 0.4$	0.9965
IV	4.75	9.5÷1170	$0.04 \pm 0.03$	$8.3 \pm 0.06$	0.9997
V	4.7	9.5÷950	$-0.1 \pm 0.1$	$10.7 \pm 0.3$	0.9974
VI	2.5	5÷1500	$0.08 \pm 0.07$	$10.1 \pm 0.1$	0.9994
VII	5.0	10÷1500	$0.03 \pm 0.04$	$11.39 \pm 0.06$	0.9999
VIII	5.0	10÷1070	$0.04 \pm 0.02$	$9.74 \pm 0.05$	0.9997
IX	15.0	19.9÷1000	$0.02 \pm 0.04$	$4.79 \pm 0.08$	0.9955

Как известно [19, 20], гидрохинон и пирокатехин окисляются с образованием пара- и орто-бензохинонов соответственно. Окисление производных этих фенольных соединений по первой ступени также обусловлено превращением с участием гидроксильных групп, о чем свидетельствуют потенциалы окисления. Пик на вольтамперограммах пропилгаллата соответствует окислению галлоильного фрагмента с образованием соответствующей хиноидной структуры [21].

Установлено, что токи окисления линейно увеличиваются с ростом концентрации соединения в растворе. Основные аналитические характеристики и параметры градуировочных зависимостей тока окисления гидроксibenзолов представлены в табл. 3.

Проведено вольтамперометрическое определение гидроксibenзолов в модельных растворах на фоне 2 мМ ЦПБ в фосфатном буферном растворе (табл. 4). Правильность определения оценена по методу «введено-найдено».

Различие в потенциалах окисления гидроксibenзолов по первой ступени дает возможность их определения при совместном присутствии. На фоне фосфатного буферного раствора на вольтамперограммах смесей гидроксibenзолов наблюдается наложение аналитических сигналов (рис. 2, кривая 2). Однако использование мицеллярной среды ЦПБ позволяет получить отдельные ступени окисления некоторых гидроксibenзолов в смесях.

Показана возможность индивидуального определения производных пирокатехина в присутствии производных пирогаллола. Так, соединения IV и V можно определять в присутствии любых количеств пропилгаллата и соединений VI и VII и VIII. Однако в случае определения соединения V концентрация соединения VIII не должна превышать  $1 \cdot 10^{-4}$  М.

Производные пирогаллола можно определять в смесях с соединениями IV и V, за исключением соединения VII, для которого концентрация соединения IV не должна превышать  $1 \cdot 10^{-4}$  М. Некоторые примеры определения представлены в табл. 5.

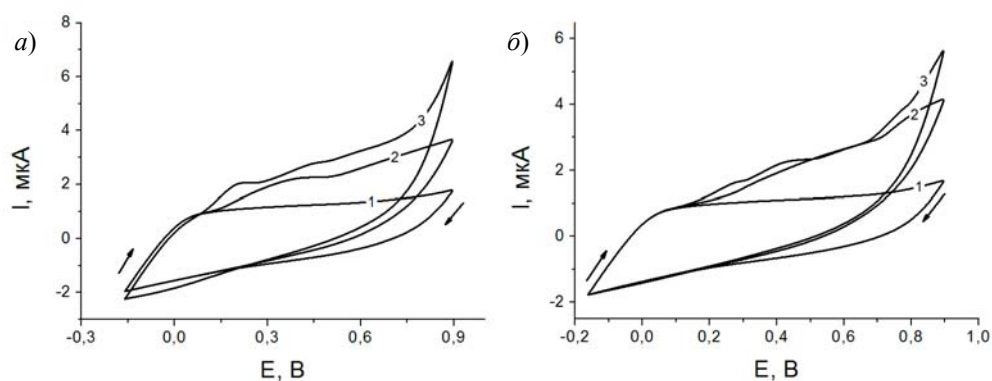


Рис. 2. Циклические вольтамперограммы смесей ди- и тригидроксибензолов на СУЭ на фоне фосфатного буферного раствора pH 6.6 (кривая 2) и 2 мМ ЦПБ в фосфатном буферном растворе (кривая 3). Кривая 1 соответствует фоновому электролиту. а – смесь 0.1 мМ пропилгаллата и соединения V; б – смесь 0.1 мМ соединений V и VII. Скорость изменения потенциала 100 мВ/с

Табл. 4

Результаты вольтамперометрического определения гидроксибензолов в модельных растворах на фоне 2 мМ ЦПБ в фосфатном буферном растворе ( $n = 5$ ,  $P = 0.95$ )

Определяемое соединение	Введено, мкг	Найдено, мкг	$s_r$
I	88	$87.7 \pm 0.5$	0.004
	880	$883 \pm 5$	0.004
	1650	$1652 \pm 7$	0.003
II	44	$43.7 \pm 0.5$	0.009
	220	$220 \pm 1$	0.003
	1650	$1651 \pm 2$	0.001
III	42,4	$42.5 \pm 0.5$	0.010
	170	$170 \pm 2$	0.007
	1273	$1274 \pm 3$	0.002
IV	82	$81.43 \pm 0.06$	0.001
	543	$543 \pm 2$	0.003
	3801	$3801 \pm 1$	0.0003
V	52	$51.4 \pm 0.9$	0.015
	515	$515 \pm 7$	0.011
	2060	$2061 \pm 22$	0.009
VI	61	$61 \pm 4$	0.049
	305	$305 \pm 4$	0.010
	3045	$3044 \pm 13$	0.004
VII	61	$61 \pm 2$	0.029
	304	$304 \pm 2$	0.005
	3035	$3035 \pm 11$	0.003
VIII	64	$63 \pm 4$	0.054
	319	$319 \pm 3$	0.008
	3185	$3185 \pm 4$	0.001
IX	65	$65.0 \pm 0.6$	0.008
	486	$486 \pm 6$	0.009
	1620	$1621 \pm 2$	0.001

Табл. 5

Результаты вольтамперометрического определения производных пирокатехина и пирогаллола в смесях на фоне 2 мМ ЦПБ в фосфатном буферном растворе ( $n = 5$ ,  $P = 0.95$ )

Состав смеси	Определяемое соединение	Введено $C \cdot 10^4$ , М	Найдено $C \cdot 10^4$ , М	$s_r$
Соединения IV и VIII	IV	1.0	$0.98 \pm 0.06$	0.060
	VIII	1.0	$1.02 \pm 0.05$	0.049
	IV	1.0	$1.09 \pm 0.05$	0.046
	VIII	2.0	$2.05 \pm 0.04$	0.014
	IV	2.0	$1.93 \pm 0.07$	0.030
	VIII	1.0	$1.11 \pm 0.03$	0.023
Соединения V и VII	V	0.95	$0.94 \pm 0.03$	0.030
	VII	1.0	$1.00 \pm 0.05$	0.049
	V	0.95	$0.93 \pm 0.08$	0.086
	VII	2.0	$1.97 \pm 0.05$	0.022
	V	1.9	$1.85 \pm 0.07$	0.037
	VII	1.0	$0.99 \pm 0.06$	0.058

Таким образом, использование мицеллярных сред ЦПБ в фосфатном буферном растворе pH 6.6 приводит к смещению потенциалов окисления в катодную область и увеличению соответствующих токов. Для гидрохинона и пирокатехина наблюдается сохранение обратимости процесса окисления. Кроме того, в мицеллярной среде ЦПБ можно проводить совместное определение производных ди- и тригидроксибензолов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 12-03-00395-а).

### Summary

*G.K. Ziyatdinova, E.R. Ziganshina, H.C. Budnikov. Micellar Media in Cyclic Voltammetry of Di-, Trihydroxybenzenes and Their Derivatives.*

Voltammetric behavior of di-, trihydroxybenzenes and their derivatives on glassy carbon electrode in micellar media has been investigated. Addition of surfactants leads to shifts of anodic and cathodic peaks and increase of their currents. The best results have been observed in presence of cationic surfactant cetylpyridinium bromide. The minimal anodic to cathodic peak potential separation and highest currents for dihydroxybenzenes have been observed in this case. Oxidation of propyl gallate as well as catechol and pyrogallol derivatives goes irreversibly in water and micellar media. Effect of substitutes in molecular structure of compounds on their voltammetric characteristics has been evaluated. There is a linear dependence between oxidation currents of analytes and their concentration in the range of 5–1570  $\mu\text{M}$  with the detection limits of 2–15  $\mu\text{M}$ . Determination of analytes in model solutions has been performed. The relative standard deviation does not exceed 5%. The possibility of simultaneous determination of catechol and pyrogallol derivatives in mixtures has been shown.

**Key words:** surfactants, self-organized systems, cyclic voltammetry, hydroxybenzenes.

### Литература

1. *Zhao L., Lv B., Yuan H., Zhou Z., Xiao D.* A sensitive chemiluminescence method for determination of hydroquinone and catechol // *Sensors*. – 2007. – V. 7, No 4. – P. 578–588.



2. Rueda M.E., Sarabia L.A., Herrero A., Ortiz M.C. Optimisation of a flow injection system with electrochemical detection using the desirability function. Application to the determination of hydroquinone in cosmetics // *Anal. Chim. Acta.* – 2003. – V. 479, No 2. – P. 173–184.
3. Saad B., Sing Y.Y., Nawi M.A., Hashim N.H., Ali A.S.M., Saleh M.I., Sulaiman S.F., Talib K.M., Ahmad K. Determination of synthetic phenolic antioxidants in food items using reversed-phase HPLC // *Food Chem.* – 2007. – V. 105, No 1. – P. 389–394.
4. Wang L., Huang P., Wang H., Bai J., Zhang L., Zhao Y. Electrocatalytic response of hydroquinone and catechol at polyglycine modified glassy carbon electrode // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2007. – V. 2, No 3. – P. 216–225.
5. Wang L., Huang P., Bai J., Wang H., Zhang L., Zhao Y. Direct simultaneous electrochemical determination of hydroquinone and catechol at a poly(glutamic acid) modified glassy carbon electrode // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2007. – V. 2, No 1. – P. 123–132.
6. Qi H., Zhang C. Simultaneous determination of hydroquinone and catechol at a glassy carbon electrode modified with multiwall carbon nanotubes // *Electroanalysis.* – 2005. – V. 17, No 10. – P. 832–838.
7. Franklin T.C., Iwunze M. Oxidative voltammetry of organic compounds at platinum electrodes in micelle and emulsion systems // *Anal. Chem.* – 1980. – V. 52, No 6. – P. 973–976.
8. Love L.J.C., Habarta J.G., Dorsey J.G. The micelle-analytical chemistry interface // *Anal. Chem.* – 1984. – V. 56, No 11. – P. 1132A–1148A.
9. Pelizzetti E., Pramauro E. Analytical applications of organized molecular assemblies // *Anal. Chim. Acta.* – 1985. – V. 169, No 1. – P. 1–29.
10. Rusling J.F. Molecular aspects of electron transfer at electrodes in micellar solutions // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* – 1997. – V. 123–124. – P. 81–88.
11. Vittal R., Gomathi H. Beneficial effects of cetyltrimethylammonium bromide in the modification of electrodes with cobalt hexacyanoferrate surface films // *J. Phys. Chem. B.* – 2002. – V. 106, No 39. – P. 10135–10143.
12. Wang L.-H., Tseng S.-W. Direct determination of d-panthenol and salt of pantothenic acid in cosmetic and pharmaceutical preparations by differential pulse voltammetry // *Anal. Chim. Acta.* – 2001. – V. 432, No 1. – P. 39–48.
13. Acuña J.A., de la Fuente C., Vázquez M.D., Tascón M.L., Sánchez-Batanero P. Voltammetric determination of piroxicam in micellar media by using conventional and surfactant chemically modified carbon paste electrodes // *Talanta.* – 1993. – V. 40, No 1. – P. 1637–1642.
14. Posac J.R., Vázquez M.D., Tascón M.L., Acuña J.A., De la Fuente C., Velasco E., Sánchez-Batanero P. Determination of aceclofenac using adsorptive stripping voltammetric techniques on conventional and surfactant chemically modified carbon paste electrodes // *Talanta.* – 1995. – V. 42, No 2. – P. 293–304.
15. Peng J., Gao Z.-N. Influence of micelles on the electrochemical behaviors of catechol and hydroquinone and their simultaneous determination // *Anal. Bioanal. Chem.* – 2006. – V. 384, No 7–8. – P. 1525–1532.
16. Agüi L., Yanez-Sedeno P., Pingarron J.M. Analytical applications of poly(3-methylthiophene)-coated cylindrical carbon fiber microelectrodes // *Electroanalysis.* – 1997. – V. 9, No 6. – P. 468–473.
17. Szymula M., Narkiewicz-Michalek J. The effect of surfactant adsorption at a glassy carbon electrode on electrochemical oxidation of propyl gallate // *J. Appl. Electrochem.* – 2006. – V. 36, No 4. – P. 455–462.

18. Ziyatdinova G., Gainetdinova A., Morozov M., Budnikov H., Grazhulene S., Red'kin A. Voltammetric detection of synthetic water-soluble phenolic antioxidants using carbon nano-tube based electrodes // J. Solid State Electrochem. – 2012. – V. 16, No 1. – P. 127–134.
19. Органическая электрохимия / Под ред. В.А. Петросяна, Л.Г. Феокистова. – М.: Химия, 1988. – 1024 с.
20. Hammerich O., Lund H. Organic Electrochemistry. – N. Y.: CRC Press, 2000. – 1391 p.
21. Gunckel S., Santander P., Cordano G., Ferreira J., Munoz S., Nunez-Vergara L.J., Squella J.A. Antioxidant activity of gallates: an electrochemical study in aqueous media // Chem. Biol. Interact. – 1998. – V. 114, No 1–2. – P. 45–59.

Поступила в редакцию  
10.11.11

---

**Зиятдинова Гузель Камилевна** – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Ziyatdinovag@mail.ru*

**Зиганшина Эндже Ришатовна** – аспирант кафедры аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Endzhe.Ziganshina@ksu.ru*

**Будников Герман Константинович** – доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Herman.Budnikov@ksu.ru*