

УДК 543.253:541.128.13

**ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
МАННИТА И СОРБИТА НА КОМПОЗИТНОМ ЭЛЕКТРОДЕ  
НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК  
И ГЕКСАЦИАНОФЕРАТА НИКЕЛЯ(II)**

*Л.Г. Шайдарова, И.А. Челнокова, Г.Ф. Махмутова, Е.И. Романова,  
А.В. Гедмина, М.А. Дегтева, Г.К. Будников*

**Аннотация**

Электрогенерированные оксо- и гидроксо-формы никеля на поверхности осадка никеля и неорганической пленки гексацианоферрата(III) никеля(II) (ГЦФ Ni), электроосажденных на немодифицированном и модифицированном углеродными нанотрубками (УНТ) стеклоуглеродном электроде (СУ), проявляют каталитическую активность при электроокислении маннита и сорбита. Катализ проявляется в уменьшении перенапряжения окисления субстратов и увеличении тока окисления модификатора. Большой каталитический эффект получен при электроокислении рассматриваемых полиспиртов на электроде, модифицированном УНТ и пленкой ГЦФ Ni. Предложен способ вольтамперометрического определения маннита и сорбита на этом композитном электроде. Зависимость каталитического тока от концентрации аналитов линейна в интервале  $5 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

**Ключевые слова:** химически модифицированные электроды, углеродные нанотрубки, гексацианоферрат никеля, электроокисление полиспиртов.

**Введение**

Маннит и сорбит являются шестиатомными спиртами, которые широко используются в качестве осмодиуретиков [1], пищевых добавок [2], сахарозаменителей [1, 2], а также служат резервными веществами в высших растениях [3]. Сорбит является промежуточным продуктом при синтезе крахмала, целлюлозы, фруктозы, сорбозы и аскорбиновой кислоты [4]. Поэтому надежное и быстрое количественное определение сорбита и маннита имеет важное значение в клинической диагностике, пищевой и фармацевтической промышленности. Для определения полиспиртов чаще всего используют спектрофотометрию [1], а также газовую и жидкостную хроматографию [5, 6]. Но эти методы либо обладают недостаточной чувствительностью, либо отличаются сложностью пробоподготовки и длительностью проведения анализа.

Для определения полиспиртов можно применять и вольтамперометрический метод. Например, исследовано электроокисление маннита и сорбита на медных [7] и платиновых электродах [8]. Но полиспирты окисляются на индикаторных электродах с высоким перенапряжением. Перенапряжение может быть уменьшено, если использовать химически модифицированные электроды (ХМЭ) с электрокаталитическими свойствами [9]. В качестве модификаторов широко

применяют металлы  $3d$ - и  $4d$ -переходного ряда, а также их оксиды и комплексные соединения [9–11]. Они хорошо зарекомендовали себя в качестве катализаторов многих электрохимических реакций как в гомогенных, так и в гетерогенных системах [9–11]. В последнее время большое внимание уделяют электродам, модифицированным гексацианометаллатами (ГЦМ) [11]. Наиболее изученными являются гексацианоферраты металлов (ГЦФМ).

Для повышения каталитической активности соединений металлов осуществляют их иммобилизацию на углеродную подложку, в качестве которой также используют углеродные нанотрубки (УНТ) [12]. УНТ обладают уникальными структурными и физико-химическими свойствами, такими как кристаллическая структура, высокая удельная поверхность и электропроводность [12–14].

В настоящей работе сопоставлена каталитическая активность электрохимически генерированных оксо-форм никеля на поверхности осадка никеля или неорганической пленки ГЦФ Ni, электроосажденных на немодифицированном и модифицированном УНТ стеклоуглеродном электроде, при окислении маннита и сорбита.

### 1. Экспериментальная часть

Циклические вольтамперограммы регистрировали с помощью вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» (ООО «ЭКОНИК-ЭКСПЕРТ», Россия). При регистрации циклических вольтамперограмм использовали скорость наложения потенциала, равную 20 мВ/с. Для определения коэффициента скорости электродной реакции величину  $\nu$  варьировали в интервале от 10 до 100 мВ/с.

В работе использовали трехэлектродную ячейку. В качестве индикаторного электрода применяли электрод из стеклоуглерода (СУ) с рабочей поверхностью 0.10 см<sup>2</sup>, ХМЭ на основе СУ с электроосажденными частицами никеля (Ni-СУ) или с электроосажденной неорганической пленкой из ГЦФ Ni (ГЦФ Ni-СУ), в том числе осажденными на поверхность УНТ (Ni-УНТ-СУ, ГЦФ Ni-УНТ-СУ). Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, вспомогательным – платиновая проволока.

Перед модифицированием углеродного электрода проводили предварительную подготовку его поверхности: электрод шлифовали на абразивных материалах, фильтровальной бумаге и кальке, промывали бидистиллированной водой.

ХМЭ на основе УНТ получали путем нанесения суспензии УНТ и хитозана на поверхность углеродного электрода с последующим испарением растворителя на воздухе. Для приготовления суспензии использовали многослойные УНТ фирмы Aldrich с диаметром 110–170 нм и длиной 5–9 мкм. Суспензию УНТ в водном растворе природного полимера хитозана получали в результате ультразвуковой обработки.

Для получения электролитического осадка никеля и неорганической полимерной пленки ГЦФ Ni на поверхности СУ использовали потенциодинамический электролиз. Электроосаждение никеля проводили из раствора, содержащего хлорид никеля (NiCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O) марки «х.ч.» фирмы «Экофарм». Для получения неорганической пленки ГЦФ Ni использовали раствор, содержащий гексацианоферрат калия (K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]) и хлорид никеля (NiCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O) марки «х.ч.» фирмы «Экофарм».

Формирование оксо-, гидроксо-форм никеля на поверхности осадка никеля и пленки ГЦФ Ni проводили электрохимически путем многократного сканирования потенциала в щелочной среде.

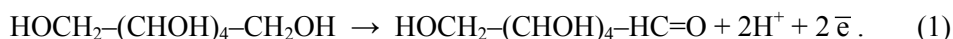
Композитные электроды получали в три стадии: сначала на поверхность углеродного электрода наносили УНТ, затем осаждали частицы никеля или ГЦФ Ni с последующей электрохимической генерацией оксо-, гидроксо-форм металла.

Растворы маннита и сорбита готовили путем растворения их точных навесок. Растворы меньших концентраций готовили разбавлением исходного раствора непосредственно перед измерениями. В качестве фонового электролита использовали 0.1 М раствор КОН.

Изучение морфологии поверхности электродов проводили методами сканирующей зондовой микроскопии, включающими атомно-силовую микроскопию. Использовали сканирующие зондовые микроскопы NTEGRA фирмы НТ-МДТ. В качестве микрзондов использовали кантилеверы марки NSG-01 с константой жесткости 5–20 Н/м с резонансной частотой 144 кГц фирмы НТ-МДТ.

## 2. Результаты и их обсуждение

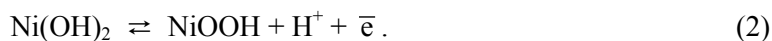
Сорбит и маннит на электроде из СУ в щелочной среде окисляются необратимо при  $E$  1.25 В (рис. 1, кривая 1). При этом гидроксильная группа при первом атоме углерода окисляется до карбонильной группы с образованием альдогексоз [15]:



Переход от стеклоуглеродной подложки к УНТ приводит к изменению формы сигнала и регистрации четко выраженного пика, а также к небольшому уменьшению перенапряжения окисления полиспирта (рис. 1, кривая 2).

Линейная зависимость тока пика от концентрации полиспиртов наблюдается в узком интервале концентраций: от  $5 \cdot 10^{-2}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  М. Использование ХМЭ с электрокаталитическими свойствами позволяет снизить перенапряжение и повысить чувствительность определения.

На циклической вольтамперограмме, полученной на электроде с электроосажденным никелем после электрохимической активации катализатора в щелочной среде, регистрируется пара анодно-катодных пиков (рис. 2, а, кривая 1), связанных с электроокислением оксо-, гидроксо-форм никеля(II):



Металлическая пленка устойчива только в нейтральной и щелочной средах, при этом с ростом рН форма вольтамперограммы улучшается, высота регистрируемых пиков увеличивается. В кислой среде пленки разрушаются, а вольтамперограммы принимают форму фоновой кривой, характерной для немодифицированного СУ.

Известно, что в кислой и нейтральной средах электрохимическая активность пленки ГЦФ Ni связана с окислением комплексных ионов железа, первую пару анодно-катодных пиков относят к редокс-паре  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$  [16]. В щелочной среде после многократного сканирования потенциала на поверхности пленки генерируются оксо- и гидроксо-формы никеля(II) [17]. На вольтамперограмме,

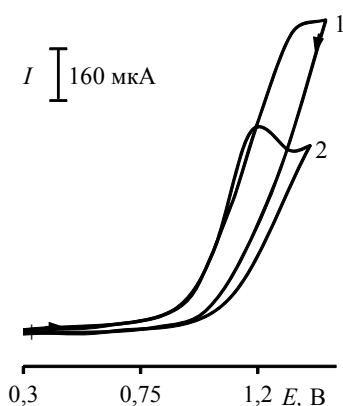


Рис. 1. Циклические вольтамперограммы, полученные на электродах СУ (1) и УНТ-СУ (2) в растворе  $5 \cdot 10^{-2}$  моль/л сорбита на фоне 0,1 М КОН

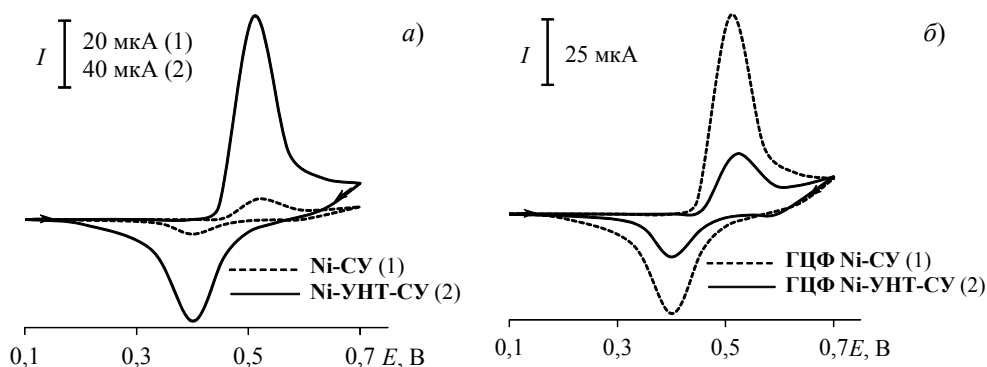


Рис. 2. Циклические вольтамперограммы, полученные на электродах Ni-CU, Ni-MHT-CU (а), ГЦФ Ni-CU и ГЦФ Ni-MHT-CU (б) в 0,1 М растворе КОН

полученной на таком ХМЭ, регистрируется одна четко выраженная пара анодно-катодных пиков в области потенциалов, характерной для окисления оксочастиц никеля(II) (рис. 2, б, кривая 1).

Максимумы тока, полученные на электроде ГЦФ Ni-CU, больше, чем на электроде Ni-CU. Как следует из АСМ-изображений этих электродов (рис. 3), изолированные наночастицы никеля с диаметром 50–70 нм не полностью покрывают поверхность электрода Ni-CU (рис. 3, а), а в случае композитного электрода ГЦФ Ni-CU получается плотная упаковка покрытия на всей поверхности носителя (рис. 3, б).

После электрохимической активации ХМЭ наблюдается уменьшение размера частиц от 250–300 до 100–150 нм (рис. 4, а), что связано с частичным растворением исходного модификатора.

При электрохимическом получении оксо- и гидроксо-форм никеля из осадка никеля, иммобилизованного на УНТ, на вольтамперных кривых наблюдается увеличение максимумов тока анодно-катодных пиков окисления/восстановления модификатора (рис. 2, а, кривая 2), что связано с более развитой поверхностью УНТ по сравнению с СУ при одинаковых геометрических размерах электродов.

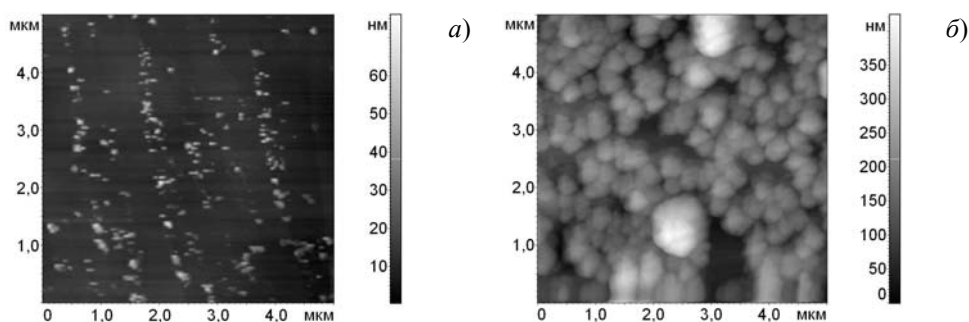


Рис. 3. АСМ-изображения поверхности электродов Ni-CU (а) и ГЦФ Ni-CU (б) до электрохимической активации

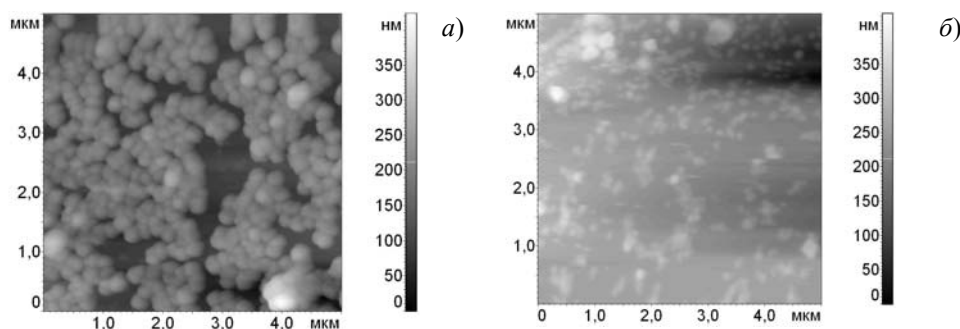


Рис. 4. АСМ-изображения поверхности электродов ГЦФ Ni-CU (а) и ГЦФ Ni-УНТ-СУ (б) после электрохимической активации

При формировании оксо- и гидроксо-форм никеля из пленки ГЦФ Ni, нанесенной на модифицированном УНТ электроде, максимумы анодно-катодных пиков модификатора уменьшаются (рис. 2, б, кривая 2). Как видно из АСМ-изображений поверхности ХМЭ, это связано с уменьшением размера и количества частиц иммобилизованного модификатора (рис. 4). На поверхности электрода ГЦФ Ni-CU формируются частицы с диаметром 150–200 нм (рис. 4, а), а на поверхности композитного электрода ГЦФ Ni-УНТ-СУ – с диаметром 50–100 нм (рис. 4, б).

Электрогенерированные оксо-, гидроксо-формы никеля (III) на поверхности электродов Ni-CU, ГЦФ Ni-CU, Ni-УНТ-СУ и ГЦФ Ni-УНТ-СУ проявляют каталитическую активность при окислении рассматриваемых полиспиртов. Катализ проявляется в уменьшении перенапряжения окисления субстратов и увеличении тока окисления модификатора (табл. 1).

По форме регистрируемые циклические вольтамперограммы окисления маннита и сорбита на рассматриваемых ХМЭ одинаковы. В качестве примера на рис. 5, а приведена вольтамперограмма окисления сорбита, полученная на электроде ГЦФ Ni-УНТ-СУ. На анодной ветви при потенциалах окисления модификатора наблюдается один пик, высота которого зависит от концентрации субстрата. По сравнению с током окисления модификатора регистрируется многократный прирост тока. По сравнению с потенциалом окисления сорбита на немодифицированном СУ на ХМЭ наблюдается значительное уменьшение перенапряжения окисления (табл. 1). Зависимость тока пика от скорости

Табл. 1

Вольтамперные характеристики окисления  $5 \cdot 10^{-2}$  моль/л полиспиртов на ХМЭ на фоне 0.1 М КОН

Субстрат	Модификатор	$E_{\text{мод}}, \text{В}$	$E_{\text{кат}}, \text{В}$	$I_{\text{кат}}, \text{мкА}$	$I_{\text{кат}}/I_{\text{мод}}$
Маннит $E_S 1.25 \text{ В}$	Ni	0.50	0.50	36	7.2
	Ni-УНТ	0.50	0.51	972	8.1
	ГЦФ Ni	0.50	0.72	848	10.6
	ГЦФ Ni-УНТ	0.50	0.66	378	15.1
Сорбит $E_S 1.25 \text{ В}$	Ni	0.50	0.52	30.5	6.1
	Ni-УНТ	0.50	0.51	912	7.6
	ГЦФ Ni	0.50	0.72	1240	15.5
	ГЦФ Ni-УНТ	0.50	0.66	563	22.5

$E_S$  и  $E_{\text{мод}}$  – потенциалы окисления субстрата на СУ и иммобилизованного модификатора на ХМЭ.  
 $E_{\text{кат}}$  и  $I_{\text{кат}}$  – потенциал и ток окисления субстрата на ХМЭ.

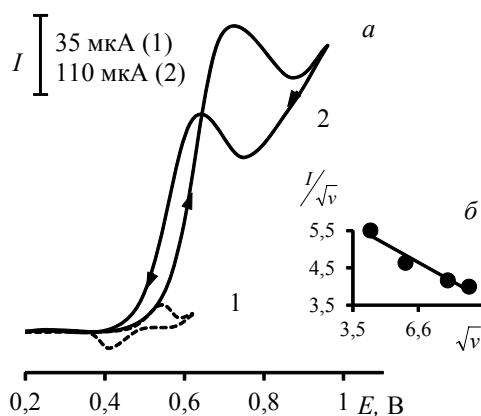
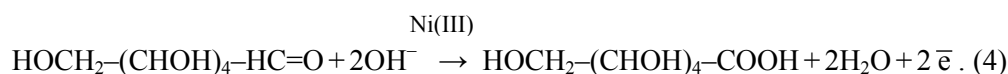
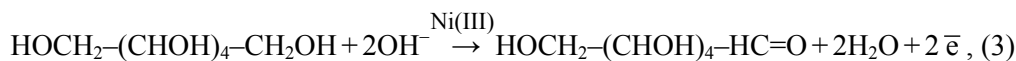


Рис. 5. Циклические вольтамперограммы, полученные на электроде ГЦФ Ni-УНТ-СУ в отсутствие (1) и в присутствии (2)  $5 \cdot 10^{-2}$  моль/л сорбита на фоне 0.1 М КОН (а); зависимость величины  $I/\sqrt{v}$  от  $\sqrt{v}$  при окислении сорбита на электроде ГЦФ Ni-УНТ-СУ (б)

изменения потенциала указывает на кинетический характер окисления органического соединения (рис. 5, б). Вероятно, в этой области потенциалов происходит окисление сорбита с образованием глюкозы и глюконовой кислоты [7], а в роли катализатора выступают оксо- и гидроксо-формы Ni(III):



На катодной ветви циклической вольтамперограммы наблюдается рост анодного тока при потенциалах окисления модификатора (рис. 5). Величина тока зависит от концентрации сорбита, поэтому можно предположить, что в этой области потенциалов также происходит окисление полиспирта.

Аналогичная картина наблюдается и при окислении маннита.

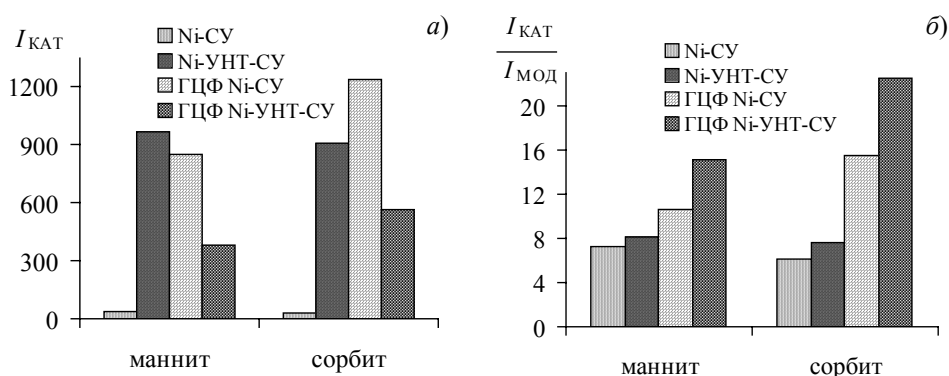


Рис. 6. Зависимость каталитического тока (а) и каталитического эффекта (б) от природы модификатора при окислении маннита и сорбита на ХМЭ

Табл. 2

Аналитические характеристики определения полиспиртов на композитном электроде ГЦФ Ni-UHT-CU на фоне 0.1 М КОН

Субстрат	Диапазон концентраций, моль/л	Уравнение регрессии $\lg I = a + b \lg C$		R
		$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$	
Маннит	$5 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-4}$	$3.34 \pm 0.04$	$0.49 \pm 0.01$	0.9999
	$5 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-7}$	$1.82 \pm 0.01$	$0.024 \pm 0.001$	0.9998
Сорбит	$5 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-4}$	$2.65 \pm 0.03$	$0.09 \pm 0.01$	0.9993
	$5 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-7}$	$1.86 \pm 0.01$	$0.016 \pm 0.001$	0.9998

Сопоставлены каталитические свойства различных ХМЭ. Установлено, что большей каталитической активностью обладают оксо-, гидроксо-формы никеля (III), полученные из гексацианометаллатной матрицы, чем из металлического осадка. Для этого электрода регистрируется больший каталитический ток и прирост тока (табл. 1, рис. 6).

При осаждении частиц никеля на УНТ электрокатализ проявляется в значительном увеличении каталитического тока (табл. 1, рис. 6, а). При осаждении ГЦФ Ni на УНТ величина каталитического тока окисления полиспиртов уменьшается (табл. 1, рис. 6, а), а прирост тока увеличивается (табл. 1, рис. 6, б). Большой каталитический эффект получен при электроокислении маннита и сорбита на композитном электроде на основе УНТ с пленкой ГЦФ Ni (табл. 1, рис. 6, б). При этом каталитический отклик этого ХМЭ отличается высокой воспроизводимостью и стабильностью.

Каталитический отклик электрода ГЦФ Ni-UHT-CU был использован для вольтамперометрического определения маннита и сорбита на фоне 0.1 М КОН. Содержание маннита и сорбита находили по каталитическому току окисления полиспиртов при  $E$  0.66 В. Линейная зависимость каталитического тока от концентрации аналита наблюдается в интервалах от  $5 \cdot 10^{-2}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л и от  $5 \cdot 10^{-4}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  моль/л. Результаты регрессионного и корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Правильность результатов определения оценена методом «введено-най-дено». Установлено, что определяемые концентрации маннита и сорбита в серии параллельных результатов практически совпадают. Величина  $S_r$  не превышает 0.05 (при  $n = 10$ ).

Использование электрокаталитического отклика композитного электрода с электрогенерированными оксо-формами никеля по сравнению с немодифицированным позволяет повысить чувствительность метода и снизить нижнюю границу определяемых содержаний аналитов на четыре порядка, а также способствует повышению воспроизводимости результатов определения маннита и сорбита.

Таким образом, композитный электрод на основе УНТ и ГЦФ Ni имеет хорошие перспективы для его использования в электроанализе, в частности для вольтамперометрического определения маннита и сорбита в различных объектах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-03-97031-р\_поволжье\_а).

### Summary

*L.G. Shaidarova, I.A. Chelnokova, G.F. Makhmutova, E.I. Romanova, A.V. Gedmina, M.A. Degteva, H.C. Budnikov.* Voltammetric Determination of Mannitol and Sorbitol at a Composite Electrode Based on Carbon Nanotubes and Nickel(II) Hexacyanoferrate.

Electrogenerated nickel oxo- and hydroxo-forms on the surface of the nickel deposit and the inorganic film of nickel(II) hexacyanoferrate(III) (NiHCF), electrodeposited on an unmodified or carbon nanotubes (CNTs) modified glassy-carbon electrode (GCE), show catalytic activity in the electrooxidation of mannitol and sorbitol. The catalysis manifests itself in the decrease in the overvoltage for the substrate oxidation and the increase in the oxidation current of the modifier. A larger catalytic effect is obtained during the electrooxidation of the polyalcohols in question at an electrode modified with CNTs and NiHCF. A method for voltammetric determination of mannitol and sorbitol at this composite electrode is proposed. The dependence of the catalytic current on analyte concentration is linear in the range from  $5 \cdot 10^{-2}$  to  $5 \cdot 10^{-7}$  mol/l.

**Key words:** chemically modified electrodes, carbon nanotubes, nickel hexacyanoferrate, electrooxidation of polyalcohols.

### Литература

1. *Pospisilov M., Polasek M., Safra J., Petriska I.* Determination of mannitol and sorbitol in infusion solutions by capillary zone electrophoresis using on-column complexation with borate and indirect spectrophotometric detection // *J. Chromatogr. A.* – 2007. – V. 1143, No 1–2. – P. 258–263.
2. *Yamamoto A., Ohmi H., Matsunaga A., Ando K., Hayakawa K., Nishimura M.* Selective determination of D-sorbitol and D-mannitol in foodstuffs by ion chromatography with polarized photometric detection // *J. Chromatogr. A.* – 2007. – V. 804, No 1–2. – P. 305–309.
3. *Кольман Я., Рём К.-Г.* Наглядная биохимия. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
4. *Sefcovicova J., Vikartovska A., Patoprsty V., Magdolen P., Katrlík J., Tkac J., Gemeiner P.* Off-line FIA monitoring of D-sorbitol consumption during L-sorbose production using a sorbitol biosensor // *Anal. Chim. Acta.* – 2009. – V. 644, No 1–2. – P. 68–71.



5. *Dethy J.-M., Callaert-Deveen B., Janssens M., Lenaers A.* Determination of sorbitol and galactitol at the nanogram level in biological samples by high-performance liquid chromatography // *Anal. Biochem.* – 1984. – V. 143, No 1. – P. 119–124.
6. *Kwang-Hyok S., Ui-Nam P., Sarkar C., Bhadra R.* A sensitive assay of red blood cell sorbitol level by high performance liquid chromatography: potential for diagnostic evaluation of diabetes // *Clin. Chim. Acta.* – 2005. – V. 354, No 1–2. – P. 41–47.
7. *Скворцова Л.И., Карунина О.В.* Вольтамперометрическое определение сорбита на механически обновляемом медном электроде // *Журн. аналит. химии.* – 2009. – Т. 64, № 10. – С. 1093–1098.
8. *Proença L., Lopes M.I.S., Fonseca I., Rodes A., Gómez R., Aldaz A.* On the oxidation of D-sorbitol on platinum single crystal electrodes: a voltammetric and in situ FTIRS study // *Electrochim. Acta.* – 1998. – V. 44, No 5. – P. 735–743.
9. *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.
10. *Шайдарова Л.Г., Будников Г.К.* Химически модифицированные электроды на основе благородных металлов, полимерных пленок или их композитов в органической вольтамперометрии // *Журн. аналит. химии.* – 2008. – Т. 63, № 10. – С. 1014–1037.
11. *Шайдарова Л.Г., Будников Г.К.* Амперометрические сенсоры с каталитическими свойствами в органической вольтамперометрии // *Проблемы аналитической химии.* Т. 14: Химические сенсоры / Под ред. Ю.Г. Власова. – М.: Наука, 2011. – С. 203–284.
12. *Merkoci A., Pumera M., Llopis X., Perez B., Valle M., Alegret S.* New materials for electrochemical sensing VI: Carbon nanotubes // *Trends Anal. Chem.* – 2005. – V. 24, No 9. – P. 826–838.
13. *Дьячков П.Н.* Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применение – М.: Бинном. ЛЗ, 2006. – 289 с.
14. *Gooding J.J.* Nanostructuring electrodes with carbon nanotubes: A review on electrochemistry and applications for sensing // *Eletrochim. Acta.* – 2005. – V. 50, No 15. – P. 3049–3060.
15. *Племенков В.В.* Введение в химию природных соединений. – Казань, 2001. – 376 с.
16. *Berhmans Sh., Gomathi H., Rao G.P.* Electrooxidation of alcohols and sugars catalysed on a nickel oxide modified glassy carbon electrode // *J. Electroanal. Chem.* – 1995. – V. 394, No 1–2. – P. 267–270.
17. *Cataldi T.R., Guascito I.R., Salvi A.M.* XPS study and electrochemical behaviour of the nickel hexacyanoferrate film electrode upon treatment in alkaline solutions // *J. Electroanal. Chem.* – 1996. – V. 417, No 1–2. – P. 83–88.

Поступила в редакцию  
16.07.12

---

**Шайдарова Лариса Геннадиевна** – доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: [Larisa.Shaidarova@ksu.ru](mailto:Larisa.Shaidarova@ksu.ru)

**Челнокова Ирина Александровна** – кандидат химических наук, научный сотрудник кафедры аналитической химии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: [Irina.Chelnokova@mail.ru](mailto:Irina.Chelnokova@mail.ru)

**Махмутова Гузель Фаргатовна** – аспирант кафедры аналитической химии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: [mahmutova\\_guzel@mail.ru](mailto:mahmutova_guzel@mail.ru)

**Романова Екатерина Игоревна** – аспирант кафедры аналитической химии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Romanova\_Katerina@yahoo.com*

**Гедмина Анна Владимировна** – кандидат химических наук, научный сотрудник кафедры аналитической химии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Anna.Gedmina@ksu.ru*

**Дегтева Марина Андреевна** – студент Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *lifefeel@rambler.ru*

**Будников Герман Константинович** – доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии Казанского (Приволжского) федерального университета.

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