

УДК 579.22: 577.152.1

Т.В. Семашко, доц., канд. биол. наук, вед. науч. сотр.;  
Л.А. Жуковская, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.  
(Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ СИДЕРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ *PENICILLIUM ADAMETZII*

Известно, что эффективная работа биоэлектрохимических устройств основана на взаимном превращении окисленных и восстановленных форм ферментов в ходе редокс процессов, а наночастицы благородных металлов усиливают электрокаталитические свойства ферментов класса оксидоредуктаз [1, 2].

Улучшение электрического контакта редокс-центров с электродом можно достигнуть их модификацией функционализированными наноносителями, в качестве которых могут выступать наночастицы на основе сидерофильных элементов – элементов 4 периода (имеющих сродство к железу) [3, 4].

Особый интерес представляют наночастицы (НЧ) металлов. В основном это НЧ Au-НЧ и Ag-НЧ, однако их дороговизна заставляет исследователей обращать внимание на другие наноструктуры на основе металлов (таких как Fe, Pt, Au, Ag, Ni), металлических сплавов, содержащих Pt, Au, Pb, Ir, Ru, Cu, Pd, и оксидов металлов (таких как ZnO, CuO, Cu<sub>2</sub>O, MnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Биосенсоры, сконструированные на основе вышеуказанных НЧ, характеризуются высокой селективностью, чувствительностью, быстрым временем отклика и стабильностью. Следует отметить, что сведения об использовании в биосенсорных технологиях НЧ на основе переходных металлов и их оксидов единичны [5-8].

Цель работы – исследовать влияние НЧ металлов/оксидов металлов (Au, Co, Fe, Mn) на электрохимические свойства глюкозооксидазы *Penicillium adametzii*.

Ранее с использованием различных методов получены наночастицы на основе сидерофильных элементов (Au, Co, Fe, Mn). Проведена их функционализация. Установлено, что для функционализации наночастиц золота в фосфатном буфере требуется введение полиэтилен гликоля. Для стабилизации наночастиц кобальта использовали стеарат натрия, наноразмерное железо функционализировали полифенолами, содержащимися в чайном экстракте и пермеате культураль-

ной жидкости *P. adametzii*, а наночастицы марганца и диоксида марганца – ПАВ.

Проведена иммобилизация глюкозооксидазы *P. adametzii* с вышеуказанными наночастицами на графит. Исследована электрохимическая активность полученных конъюгатов. В качестве медиатора использовался ферроцен. Результаты экспериментов представлены в таблице

**Таблица – Влияние наночастиц на силу образуемого тока в реакции окисления глюкозы и сродство глюкозооксидазы, иммобилизованной на графите**

Наночастицы/ГО	I <sub>max</sub> , $\mu$ A		K <sub>M</sub> , ммоль	
	4,5 ед/мл	0,5 ед /мл	4,50 ед/мл	0,5 ед /мл
Mn	29,3	6,1	39,7	11,6
Fe	0,2	0,1	39,4	66,1
Co	19,4	13,4	35,6	27,2
Au	35,4	20,6	23,8	5,9

Максимальный уровень тока отмечен при использовании наночастиц золота 20,6–35,4 мкА. Лучшие результаты по сродству фермента к субстрату (K<sub>M</sub> 5,9 и 23,8 ммоль) также отмечены при исследовании конъюгатов с наночастицами золота.

Стабильность конъюгатов фермента с наночастицами исследовали при температуре 50°C. Следует отметить, что все проверенные наночастицы не оказывали стабилизирующего действия на глюкозооксидазу, а константы термоинактивации незначительно отличались от контроля и варьировали в пределах  $(1,79–2,98) \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ .

Таким образом, получены электрохимически активные конъюгаты глюкозооксидазы и наночастиц сидерофильных элементов, иммобилизованных на графите. Установлено, что максимальная сила тока (20,6–35,4 мкА) отмечается при применении электродов, сконструированных с использованием конъюгатов с наночастицами золота. Показано, что наночастицы не влияли на стабильность фермента (константы термоинактивации изменялись в пределах  $(1,79–2,98) \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ ).

*Работа выполнена в рамках проекта Б21АРМ-021, финансируемого БРФФИ.*

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ouyang, Y. Functional catalytic nanoparticles (nanozymes) for sensing [Electronic resource] / Ouyang Y., M. O'Hagan, I. Willner // Biosens. Bioelectron. – 2022. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956566322008089?via%3Dihub>. – Date of access: 09.01.2023.
- Биосенсоры для детекции глюкозы в крови больных диабетом / Т. Семашко [и др.] // Наука и инновации. – 2018. – № 1 (179). – С. 73-78

3. Использование наноматериалов для обеспечения ферментативного электрокатализа в глюкозных сенсорах путем прямого безмедиаторного переноса электронов / Т.В. Семашко [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: Сборник научных трудов. – 2018. – Т. 10. – С. 379-391.

4. Семашко, Т. В. Использование пермеата культуральной жидкости *Penicillium adametzii* ЛФ F-2044.1 в синтезе наночастиц железа. / Т. В. Семашко, А. В. Петкевич, А. Н. Еремин // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: Сборник научных трудов. – 2017. – Т. 9. – С. 104-115.

5. Stasyuk, N. Nanoparticles of noble metals for enzymatic sensors: an amperometric glucose biosensor for wine analysis / N. Stasyuk, G. Gayda, H. Klepach, M. Gonchar, T. Semashko // Sensor Letters. – 2017. – Т. 15, № 8. – P. 647-654.

6. Alamry, I.K.A. Application of electrically conducting nanocomposite material polythiophene NiO/Frt/GOx as anode for enzymatic biofuel cells / I.K.A. Alamry // Materials (Basel). – 2020. – Vol. 13, №8. – P.1823. – doi: 10.3390/ma13081823.PMID: 32290640

7. Shakeel, I.N. Green synthesis of ZnO nanoparticles decorated on polyindole functionalized-MCNTs and used as anode material for enzymatic biofuel cell applications / I.N. Shakeel, I.M. Ahamed, S. Kanchi, A.H. Kashmery // Sci Rep. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 5052. – doi: 10.1038/s41598-020-61831-4.PMID: 32193477.

8. New magnetic nanoparticles for biotechnology / A. Hutten [et al.] // J. Biotechnol. – 2004. – Vol. 112, No. 1-2. – P. 47-60.

UDC: 547.371:547.372

S. Sh. Sharipov, Doctor of philosophy (PhD) of Technical Sciences,  
assistant professor (Navoi state university of mining and technologies,  
Navoi, Republic of Uzbekistan)

## **FORMATION OF ORGANIC COMPOUNDS DURING BACTERIAL OXIDATION OF FLOTATION CONCENTRATE**

The world reserves of gold deposits with oxidized ores are practically depleted, and at the same time the share of gold in stubbornly gold-bearing mineral raw materials is increasing [1-3]. Persistent gold-containing ores are processed mainly by bacterial oxidation of the flotation concentrate. It is known that the composition of the solution of organic and inorganic origin is important for bacterial oxidation of the flotation concentrate and for the extraction of precious metals[4-6]. Bacterial leaching methods belong to one of the modern directions of mineral raw