

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата химических наук Шавокшиной Веры Александровны  
на тему: «Амперометрические (био)сенсоры на основе  
наноструктурированной берлинской лазури  
для анализа биологических жидкостей»  
по специальности 1.4.2. Аналитическая химия

**Актуальность проблемы.** Разработка сенсоров и биосенсоров для определения широкого круга биологически активных соединений является актуальной задачей аналитической химии и аналитической биотехнологии. Электрохимические (био)сенсоры, в которых определение проводится с использованием электрохимических реакций, востребованы в области биохимических исследований для клинической медицины и уже активно используются на практике, например, для определения глюкозы в крови больных диабетом. Технология (био)сенсоров характеризуется хорошими аналитическими характеристиками, высокой точностью и воспроизводимостью, миниатюрностью, что позволяет использовать их в портативных устройствах, в том числе и для методов неинвазивного анализа. Широко используются портативные глюкометры, в которых применяются электрохимические сенсоры для определения глюкозы в крови человека. Поскольку область применения (био)сенсоров расширяется, необходимо проведение дальнейших исследований по разработке новых подходов к созданию распознающих элементов сенсоров и расширению объектов определения. Исходя из этого, актуальность темы диссертационной работы В.А. Шавокшиной, связанная с созданием новых вариантов амперометрических сенсоров на основе наноразмерных гексацианоферратов железа и никеля для определения ряда клинически важных соединений в биологических жидкостях, не вызывает сомнений.

**Научная новизна исследования.** В диссертационной работе предложены и разработаны несколько новых принципов усовершенствования амперометрических сенсоров для определения различных маркеров, существенно отличающихся по своим свойствам (катионы калия и натрия, пероксид водорода, нуклеиновые кислоты). В зависимости от типа определяемого соединения подходы использования наноструктур гексацианоферратов различаются: для определения ионов калия, натрия в сыворотке крови и поте предложено использовать твердоконтактные ионоселективные электроды, определение аналитов на которых проводится в режиме проточно-инжекционной амперометрии при постоянном потенциале; для определения пероксида водорода – маркера окислительного стресса предложено использовать сенсоры на основе печатных графитовых электродов с наноструктурированной берлинской лазурью (БЛ), стабилизированной гексацианоферратом никеля; для определения нуклеиновых кислот наноструктуры БЛ предложено использовать в качестве метки как альтернативе широко используемой пероксидазе. Новым подходом в создании ДНК-сенсоров является модификация поверхности графитовых электродов проводящим полимером ПЭДОТ- $N_3$ . Показано, что использование данного полимера позволяет достичь высоких значений электрохимической константы скорости в присутствии разнозаряженных медиаторов, а наличие функциональных групп обеспечивает одностадийную иммобилизацию алкин-модифицированных

олигонуклеотидов посредством биоортогональной клик-реакции. Для каждого нового подхода продемонстрированы преимущества по сравнению с существующими методами.

**Достоверность результатов диссертационной работы** подтверждается значительным объемом проведенных исследований, использованием современных методов и адекватным статистическим анализом данных. Результаты опубликованы в 6 печатных работах (5 статей индексируемых международными базами данных (WoS, Scopus, RSCI) и 1 патент) и были широко представлены на международных и российских научных конференциях.

**Практическая значимость результатов работы.** В диссертационной работе В.А. Шавокшиной разработаны несколько видов (био)сенсоров для определения ряда клинически важных соединений в биологических жидкостях ( $K^+$  и  $Na^+$  в сыворотке крови и поте;  $H_2O_2$  в конденсате выдыхаемого воздуха; фрагмента РНК - по тенциального биомаркера гепатоцеллюлярной карциномы в сыворотке крови), основанные на усовершенствованных принципах с использованием наноразмерных гексацианоферратов железа и никеля. Разработан вариант четырехэлектродного сенсора для одновременного определения содержания ионов  $K^+$  и  $Na^+$ . Показана потенциальная применимость  $H_2O_2$  как биомаркера для неинвазивной диагностики постковидного синдрома и нарушений, связанных с дисбалансом активных форм кислорода в организме.

#### **Заключение.**

Представленные в автореферате материалы позволяют сделать вывод о том, что диссертационная работа Шавокшиной В.А. «Амперометрические (био)сенсоры на основе наноструктурированной берлинской лазури для анализа биологических жидкостей» **отвечает** требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Содержание диссертации **соответствует** специальности 1.4.2. Аналитическая химия (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова». Таким образом, соискатель Шавокшина Вера Александровна **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2. Аналитическая химия.

Кандидат химических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник кафедры химической энзимологии Химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

**Рубцова Майя Юрьевна**

10.12.2025

119192, Москва, Ленинские горы 1, стр. 11Б

Контактные данные:

тел.:

e-mail: i

