



УТВЕРЖДАЮ
Проректор ТПУ по науке и
стратегическим проектам, к.ф.-м.н.
_____ А.С. Гоголев
« 22 » _____ марта 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «Новые электроды на основе восстановленного лазером оксида графена для вольтамперометрического определения карбаматных пестицидов в продуктах питания» по специальности 1.4.2 Аналитическая химия выполнена на базе отделения химической инженерии инженерной школы природных ресурсов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Соискатель Мухаммад Сакиб, 1991 года рождения, в 2022 году окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению 04.06.01 Химические науки.

Основное место работы соискателя – отделение химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ, ассистент.

Кандидатские экзамены отражены в приложении к диплому об окончании аспирантуры с квалификацией «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Тема диссертационной работы утверждена приказом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» от «01» февраля 2021г., № 32-72/с.

Научный руководитель: Дорожка Елена Владимировна, кандидат химических наук, доцент отделения химической инженерии инженерной школы природных ресурсов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» назначен приказом по организации №11359/с от «17» декабря 2019г.

Диссертация Сакиб Мухаммада является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по разработке новых электродов на основе восстановленного лазером оксида графена для высокочувствительного определения карбарила и селективного определения карбосульфана в продуктах питания.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

- Актуальность темы и направленность исследования.

Для контроля экологической безопасности и качества пищевых продуктов, проблема поиска и разработки чувствительных, селективных, недорогих, простых в использовании способов определения карбаматов остается актуальной. В этом отношении интерес представляют электрохимические методы, в особенности вольтамперометрические. В свою очередь, перспективной платформой является разработка новых восстановленных лазером графеновых электродных материалов на подложке из полиэтилентерефталата (ПЭТ) для вольтамперометрического определения карбаматов. Оксид графена в качестве электродного материала привлекает огромный научный и технологический интерес благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам (например, высокой электропроводимости, электрокаталитическим свойствам, механической прочности, химической стабильности, высокой эластичности и т.д.). В свою очередь, лазерное восстановление, используемое для удаления избыточных кислородсодержащих групп графена, позволяет так же создать необходимую активную поверхность электрода для увеличения чувствительности электрохимического определения аналитов. Кроме того, использование лазерного восстановления ОГ на подложке из ПЭТ имеет уникальные преимущества с точки зрения скорости изготовления гибких электродов и дешевизны конечного продукта – электрода на основе восстановленного лазером оксида графена (ВЛОГ). Таким образом, данное исследование направлено на разработку новых электродов на основе ВЛОГ для вольтамперометрического определения карбаматных пестицидов в некоторых продуктах питания.

- Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.

Личный вклад соискателя состоял в проведение экспериментальных исследований, их анализ, обработка и интерпретация полученных результатов разработке электродов на основе ВЛОГ, разработке вольтамперометрических способов определения некоторых карбаматных пестицидов в продуктах питания.

- Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность полученных данных обусловлена представительным объемом проведенных экспериментов, использованием современных аналитических методов и результатами, которые хорошо согласуются с литературными данными.

- Новизна результатов проведенных исследований.

1. Впервые исследованы электрохимические свойства карбарила на новых электродах, созданных на основе ВЛОГ с использованием подложки из ПЭТ с улучшенными токопроводящими свойствами. Показано, что карбарил окисляется на электроде из ВЛОГ необратимо, с образованием нафтола-1 и метиламина. Установлен адсорбционный характер электроокисления карбарила на ВЛОГ.

1. Предложен способ модификации электродов из ВЛОГ наночастицами серебра химическим способом с использованием метола в качестве восстановителя с получением ВЛОГ/НЧ Ag.

2. Впервые исследованы физико-химические закономерности восстановления карбосульфана на электроде из ВЛОГ/НЧ Ag. Показано, что карбосульфан селективно восстанавливается на электроде из ВЛОГ/НЧ Ag по сравнению с

другими карбаматами. Установлен адсорбционный характер электровосстановления карбосульфана на ВЛОГ/НЧ Ag. Предел обнаружения карбосульфана с использованием новых электродов из ВЛОГ/НЧ Ag составил $2,0 \cdot 10^{-12}$ моль/дм³.

4. Впервые разработаны вольтамперометрические методики определения карбарила на ВЛОГ и карбосульфана на ВЛОГ/НЧ Ag в продуктах питания, отличающиеся селективностью, чувствительностью, точностью и удобством применения.

- Практическая значимость результатов проведенных исследований.

Практическая значимость работы заключается в применении разработанных вольтамперометрических методик определения карбарила и карбосульфана в продуктах питания и возможной интеграции данного подхода в аналитические лаборатории контроля качества сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Разработанные методики являются более экономически доступными по сравнению с существующими аналогами, не требуют наличия сложного и дорогостоящего оборудования. Разработанные новые электроды могут быть применены для чувствительного определения других пестицидов карбаматной природы в пищевых продуктах.

- Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов в опубликованных работах.

Ценность научных работ соискателя заключается в разработке алгоритма вольтамперометрических методик определения карбаматных пестицидов в продуктах питания с использованием новых электродов на основе восстановленного лазером оксида графена. Полученные данные вольтамперометрического определения карбаматов являются оригинальными, предложенные алгоритмы пробоподготовки данных объектов представляют практическую значимость.

Материалы диссертации изложены в 9 работах, опубликованных соискателем, из них 4 статьи, индексируемые базой данных Scopus и Web of Science, а также в 4 докладах трудов международных и всероссийских конференций, 1 патенте.

Наиболее значимые публикации:

1. **Saqib, M.**, Solomonenko, A. N., Barek, J., Dorozhko, E. V., Korotkova, E. I., & Aljassar, S. A. Graphene derivatives-based electrodes for the electrochemical determination of carbamate pesticides in food products: A review. *Analytica Chimica Acta*, 341449, 2023. (Scopus Q1).

2. **Saqib, M.**; Dorozhko, E.; Barek, J.; Vyskocil, V.; Korotkova, E; Shabalina, A. A Laser Reduced Graphene Oxide Grid Electrode for the Voltammetric Determination of Carbaryl, *Molecules*, 26, 5050, 2021. (Scopus Q1).

3. A Lipovka, I Petrov, M Fatkullin, G Murastov, A Ivanov, A Chernova, **M Saqib**, W Sheng, R Rodriguez, E Sheremet, Photoinduced flexible graphene/polymer nanocomposites: Design, formation mechanism, and properties engineering, *Carbon*, Volume 194, 2022, (Scopus Q1).

4. R, Rodriguez, S Shchadenko, G Murastov, A Lipovka, M Fatkullin, I Petrov, T Tran, **M Saqib**, V Bogoslovskiy, W Sheng, E Sheremet, Ultra-robust flexible electronics by

laser-driven polymer-nanomaterials integration, Advanced Functional Materials, 31, 2008818, 2021. (Scopus Q1).

5. Патент на изобретение «Вольтамперометрический способ определения карбосульфана в воде». Авторы: **Сакиб Мухаммад**, Дорожко Е.В., Короткова Е.И. Регистрационный номер: 623101600073-5.

Диссертационная работа Сакиб Мухаммада соответствует паспорту специальности 1.4.2 Аналитическая химия: п.2. Методы химического анализа; п.7 Теория и практика пробоотбора и пробоподготовки в аналитической химии; п.10. Анализ органических веществ.

Диссертация «Новые электроды на основе восстановленного лазером оксида графена для вольтамперометрического определения карбаматных пестицидов в продуктах питания» Сакиб Мухаммада рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2 Аналитическая химия.

Заключение принято на заседании научного семинара отделения химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ. Присутствовало на заседании 8 чел. Результаты голосования: «за» 8 - чел., «против» нет - чел., «воздержалось» нет - чел., протокол № 14 от «22» марта 2024г.

Председатель научного семинара
Короткова Е.И., д.х.н., доцент, должность
заведующая кафедрой – руководитель
отделения на правах кафедры

Е.И. Короткова
(подпись)

Секретарь научного семинара
Дорожко Е.И.О, к.х.н., доцент ОХИ

Е.И.О. Дорожко
(подпись)

И.О. Ученый секретарь ТПУ
Новиков В.Д.

В.Д. Новиков
подпись

Зав ОАиД
А.В. Дорожко