В Диссертационный совет 01.4.002.92 при
ФГБУН «Институт общей и неорганической
химии имени Н.С. Курнакова РАН»

ОТЗЫВ

официального оппонента, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН», доктора медицинских наук, кандидата химических наук, доцента Елены Васильевны Проскурниной на диссертационную работу Щемелева Ивана Сергеевича на тему «Оптические сенсорные системы на основе композитных матриц состава “сшитый поливиниловый спирт – магнетит”», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2 «Аналитическая химия»

Актуальность темы исследования

Одним из приоритетных направлений современной аналитической химии является развитие внелабораторных методов и сенсорных технологий, поскольку это позволяет переносить измерения из специализированных лабораторий непосредственно в место отбора пробы — на производство, в клинику, в окружающую среду. Такие системы обеспечивают быстрый, малозатратный и часто неинвазивный контроль состава сложных объектов, что критично для оперативного принятия решений в медицине, пищевой промышленности и экологическом мониторинге. Классические лабораторные методы определения водорастворимых углеводов (регламентированное стандартами иодометрическое и ферментативное титрование, ВЭЖХ) требуют сложной пробоподготовки и дорогостоящего оборудования; их миниатюризация остаётся нетривиальной задачей.

Для решения этих задач особый интерес представляют оптические сенсорные системы на основе набухающих гидрогелей и композитов, аналитический сигнал в которых формируется за счёт изменения объёма или оптических свойств чувствительной матрицы при воздействии аналита. Среди

набухающих полимеров поливиниловый спирт (ПВС) отличается доступностью, нетоксичностью и способностью к модификации — в том числе путём импрегнирования борсодержащими реагентами, что обеспечивает его селективный отклик на цис-диольные фрагменты углеводов. Введение в сшитый ПВС частиц магнетита (Fe_3O_4) позволяет создавать функциональные материалы, сочетающие механические и оптические преимущества гидрогелевой матрицы с магнитной фиксацией чувствительного элемента в ходе измерения, что открывает путь к созданию аналогов фотонных кристаллов, не требующих применения дорогих монодисперсных полимерных или кремнезёмных микросфер.

Таким образом, тема диссертационного исследования И. С. Щемелева является актуальной и отвечает современным тенденциям развития аналитической химии.

Научная новизна

Научная новизна работы не вызывает сомнений. Впервые предложен и систематически исследован способ формирования композитных сенсорных матриц состава «сшитый ПВС – магнетит» путём осаждения частиц Fe_3O_4 непосредственно внутри геля сшитого полимера в парах аммиака. Такой подход принципиально отличается от ранее описанных методов синтеза, при которых наночастицы магнетита вводятся в полимерную матрицу постсинтетически, а также обеспечивает более равномерное их распределение в объёме гранулы, что положительно влияет на воспроизводимость аналитического сигнала.

Новым является также систематическое изучение влияния импрегнирования сшитого ПВС раствором тетрабората натрия на аналитические характеристики метода оптической микрометрии применительно к водорастворимым углеводам. Показано, что оптимизация условий импрегнирования (концентрации тетрабората натрия, времени контакта фаз, кислотности буферного раствора) позволяет снизить предел обнаружения глюкозы и фруктозы с 100 до 7,9 ммоль/дм^3, а также достичь селективного определения моносахаридов в присутствии сахарозы. Данный результат представляет особый научный интерес, поскольку механизм взаимодействия тетрабората натрия с гидроксильными группами ПВС и цис-диольными

фрагментами углеводов до настоящего времени практически не изучен применительно к сенсорным матрицам на основе сшитого ПВС.

Самостоятельный интерес представляет развитие метода цифровой цветометрии как способа регистрации аналитического отклика композитных плёнок состава «сшитый ПВС – магнетит». Продемонстрировано, что данные материалы ведут себя как аналоги фотонных кристаллов, меняя цветовые характеристики в зависимости от природы и концентрации аналита; при этом для регистрации отклика достаточно фотокамеры смартфона. Показана применимость цветового пространства RGB для количественного описания аналитического сигнала.

Степень обоснованности и достоверности полученных результатов

Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается высоким методическим уровнем экспериментальной части работы. При изучении морфологии и структуры сенсорных материалов использованы оптическая и электронная (сканирующая электронная) микроскопия, ИК-спектроскопия в варианте НПВО. Валидацию разработанных аналитических методик осуществляли методом «введено – найдено» с независимым подтверждением результатов стандартными методами (иодометрическое титрование согласно ГОСТ 32167-2013), что обеспечивает необходимый уровень правильности и воспроизводимости. Статистическая обработка результатов проведена корректно по общепринятой методологии.

По теме диссертации опубликовано 10 статей, из которых 8 — в рецензируемых изданиях, соответствующих требованиям Положения о присуждении ученых степеней в ФГБУН Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, опубликованы 12 тезисов докладов на российских и международных конференциях.

Практическая ценность результатов

Практическая значимость диссертации определяется прежде всего возможностью применения разработанных подходов для экспресс-анализа пищевых продуктов. Предложенный метод оптической микрометрии с применением импрегнированных тетраборатом натрия гранул состава «сшитый

ПВС – магнетит» апробирован для определения суммарного содержания глюкозы и фруктозы в образцах натурального мёда четырёх сортов и сиропов. Правильность определения составила 93,5–103,5 %, что соответствует требованиям, предъявляемым к методикам пищевого контроля, а относительное стандартное отклонение при использовании гранул с магнетитом не превышает 3 %. Продемонстрированы перспективы определения спиртов в водно-спиртовых системах методом цифровой цветометрии с применением плёнок состава «сшитый ПВС – магнетит», апробированного на образцах антисептиков для рук.

Созданный подход к внелабораторному анализу не требует применения дорогостоящих реагентов, позволяет использовать доступное оборудование (смартфон, оптический микроскоп) и обеспечивает экологическую безопасность процедуры анализа, что делает его пригодным для применения в полевых условиях, на предприятиях пищевой промышленности и в небольших лабораториях без специального аналитического оснащения.

Соответствие темы диссертационного исследования заявленной специальности

Тема диссертационного исследования полностью соответствует специальности 1.4.2 «Аналитическая химия» по следующим направлениям: «методы химического анализа (физико-химические методы)», «химические сенсоры и сенсорные системы», «анализ пищевых продуктов». Диссертация выполнена в соответствии с принятым паспортом специальности и включает как разработку новых аналитических методов и чувствительных материалов, так и их практическую апробацию на реальных объектах.

Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 149 страницах машинописного текста, включает 43 рисунка и 14 таблиц; список литературы содержит 305 источников, что свидетельствует о глубоком знакомстве автора с современным состоянием проблемы. Работа состоит из введения, обзора литературы, описания методов исследования, трёх экспериментальных глав с обсуждением результатов, заключения, выводов и библиографии. Структура диссертации логична и соответствует поставленным задачам.

Введение содержит чёткую постановку цели и задач, описание объектов исследования, формулировку положений, выносимых на защиту, и обоснование практической значимости работы.

Обзор литературы включает анализ современных данных о полимерных сенсорных матрицах (неорганические субмикроструктуры, полимерные гели), о применении композитных материалов в аналитической химии, о фотонно-кристаллических и голографических сенсорах, а также об использовании материалов состава «набухающий полимер – магнетит». Отдельно рассмотрены методы регистрации аналитического сигнала — кольца Дебая, оптическая микрометрия и цифровая цветометрия. Обзор написан грамотным научным языком, содержит достаточное количество иллюстративных таблиц.

Глава «Методы исследования» содержит подробное и воспроизводимое описание методик синтеза сшитого ПВС, получения композитных гранул и плёнок, методики импрегнирования, а также экспериментальных установок для оптической микрометрии и цветометрических измерений в проходящем и отражённом свете.

Глава 3 посвящена физико-химической характеристике полученных материалов — морфологии гранул и плёнок, подтверждению образования Fe_3O_4 внутри гелевой матрицы, оценке однородности распределения частиц магнетита и изучению ИК-спектров. Результаты данной главы убедительно подтверждают успешность предложенного метода синтеза.

Глава 4 посвящена применению гранул «сшитый ПВС – магнетит» в методе оптической микрометрии для определения водорастворимых углеводов. Детально исследовано влияние кислотности буферного раствора, времени контакта фаз, концентрации тетрабората натрия и содержания магнетита на аналитические характеристики метода; установлены оптимальные условия для раздельного и суммарного определения глюкозы, фруктозы и лактозы. Проведена апробация на пищевых объектах.

Глава 5 посвящена применению плёнок «сшитый ПВС – магнетит» в методе цифровой цветометрии. Изучен отклик плёнок на электролиты, водно-спиртовые системы и растворы углеводов; показаны преимущества измерения в отражённом свете; проведена апробация на образцах антисептиков и натурального мёда.

Результаты главы демонстрируют принципиальную применимость метода цифровой цветометрии к данному классу материалов.

Замечаний по оформлению автореферата нет. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы

Вопросы и замечания

В ходе изучения диссертации у оппонента возникли следующие вопросы и замечания:

1. В главе 4 показано, что при значении pH 8,6 глюкоза и фруктоза практически неразличимы между собой по степени набухания импрегнированного ПВС. Вместе с тем в литературе известно, что при pH > 7 связывание борат-диол значительно варьирует в зависимости от конфигурации диольного фрагмента (например, у фруктозы *vs* глюкозы). Было бы желательно прокомментировать факт одинакового отклика на два структурно различных моносахарида при данном значении pH.
2. Цветометрическое определение в главе 5 проводится с использованием фотографий, полученных фотокамерой смартфона. При этом в работе отмечается зависимость получаемых цветовых координат от условий освещения и параметров устройства регистрации. Как авторы оценивают воспроизводимость предложенного метода при переходе от одного устройства к другому? Разработана ли процедура стандартизации условий фотографирования, пригодная для межлабораторного применения?
3. В разделе 5.4 при апробации плёнок проводили определение этанола в образцах антисептиков. Есть ли данные по пределу обнаружения этанола разработанным методом?
4. Осаждение Fe_3O_4 проводили в парах аммиака, что даёт более широкое распределение частиц по размеру по сравнению с гидротермальным синтезом. Влияет ли полидисперсность магнетита на воспроизводимость определения?
5. Имеются ли данные о долговременной стабильности разработанных сенсоров?
6. Аналитический сигнал обусловлен взаимодействием бората с цис-диольными группами углеводов, однако ПВС также имеет собственные гидроксильные

группы. Нужно ли учитывать возможное конкурентное влияние гидроксильных групп ПВС?

Указанные вопросы и замечания носят дискуссионный характер, не снижают теоретической и практической значимости работы и не затрагивают существа выносимых на защиту положений и сделанных выводов.

Рекомендации по практическому внедрению результатов диссертационного исследования

Разработанный подход к определению водорастворимых углеводов и спиртов с применением материалов состава «сшитый ПВС – магнетит» перспективен для внедрения в практику пищевой аналитики, в том числе для экспрессного скринингового анализа мёда, сиропов и сахаросодержащих продуктов для выявления фальсификатов. Разработанные сенсорные плёнки могут найти применение для контроля содержания этанола в дезинфицирующих средствах в условиях производства и промышленного контроля качества. Дальнейшее развитие метода цифровой цветометрии с разработкой стандартизованного программного обеспечения для обработки изображений смартфона позволит существенно расширить область применения данного класса сенсорных материалов и повысить его пригодность для полевого анализа.

Заключение

Диссертация Ивана Сергеевича Щемелева на тему «Оптические сенсорные системы на основе композитных матриц состава "сшитый поливиниловый спирт – магнетит"», представленная на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2 «Аналитическая химия», выполненная на химическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи создания недорогих оптических сенсорных систем для внелабораторного определения водорастворимых углеводов и спиртов. На основании выполненных исследований разработан комплекс подходов к синтезу и применению сенсорных материалов, совокупность которых составляет оригинальный научный вклад в аналитическую химию

полимерных и композитных сенсорных систем. Достоверность и надежность результатов сомнения не вызывают.

По своей актуальности, научной новизне, степени обоснованности научных положений, теоретической и практической значимости, отражению основных положений в печати, диссертация И.С. Щемелева полностью соответствует требованиям, изложенным в пп. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней", утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (с изменениями и дополнениями) и пп. 2.1-2.5 "Положения о присуждении учёных степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук" от 29 марта 2024 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор достоин присуждения искомой степени по специальности 1.4.2 «Аналитическая химия».

Даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 01.4.002.92, и их дальнейшую обработку.

Главный научный сотрудник Центра по комплексной переработке
редкометального сырья и созданию материалов,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт общей и неорганической химии
им. Н.С. Курнакова Российской академии наук,
доктор медицинских наук, кандидат химических наук, доцент
(119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31),
Телефон: +7 (495) 952-07-87
E-mail: proskurnina@gmail.com

Проскурнина Е.В.
29 апреля 2026 г.

Подпись и контактные данные к.х.н., д.м.н., доц. Елены Васильевны Проскурниной заверяю.

Подпись руки Проскурниной Е.В.
УДОСТОВЕРЯЮ
Зав. протокольным отд. ИОНХ РАН

Сведения об официальном оппоненте

по диссертационной работе Щемелева Ивана Сергеевича

на тему «Оптические сенсорные системы на основе композитных матриц состава “сшитый поливиниловый спирт – магнетит”»,

представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2 Аналитическая химия

Фамилия Имя Отчество оппонента	Проскурнина Елена Васильевна
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	02.00.02 Аналитическая химия 14.03.10 Клиническая лабораторная диагностика 03.01.04 Биохимия
Ученая степень и отрасль науки	Кандидат химических наук, доктор медицинских наук, химические науки, медицинские науки
Ученое звание	Доцент
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН»
Занимаемая должность	Главный научный сотрудник
Почтовый индекс, адрес	119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д.31
Телефон	
Адрес электронной почты	proskurnina@gmail.com
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	1. *Mikheev I.V., Sozarukova M.M., Izmailov D.Yu., Kareev I.E., Proskurnina E.V., Proskurnin M.A.* Antioxidant potential of aqueous dispersions of fullerenes C60, C70, and Gd@C82 // International Journal of Molecular Sciences. 2021. V. 22. № 11. 5838. DOI: 10.3390/ijms22115838. 2. *Proskurnina E.V., Mikheev I.V., Savinova E.A., Ershova E.S., Veiko N.N., Kameneva L.V., Dolgikh O.A., Rodionov I.V., Proskurnin M.A., Kostyuk S.V.* Effects of aqueous dispersions of C60, C70 and Gd@C82 fullerenes on genes involved in oxidative stress and anti-inflammatory pathways // International Journal of Molecular Sciences. 2021. V. 22. № 11. 6130. DOI: 10.3390/ijms22116130. 3. *Sozarukova M.M., Proskurnina E.V., Popov A.L., Kalinkin A.L., Ivanov V.K.* New facets of nanozyme activity of ceria: lipo- and phospholipoperoxidase-like behaviour of CeO2 nanoparticles // RSC Advances. 2021. V. 11. № 56. P. 35351–35360. DOI: 10.1039/d1ra06730c. 4. *Mikheev I.V., Byvsheva S.M., Sozarukova M.M., Kottsov S.Y., Proskurnina E.V., Proskurnin M.A.* High-throughput preparation of

	uncontaminated graphene-oxide aqueous dispersions with antioxidant properties by semi-automated diffusion dialysis // Nanomaterials. 2022. V. 12. № 23. 4159. DOI: 10.3390/nano12234159. 5. *Savinova E.A., Salimova T.A., Proskurnina E.V., Rodionov I.V., Kraevaya O.A., Troshin P.A., Kameneva L.V., Malinovskaya E.M., Dolgikh O.A., Veiko N.N., Kostyuk S.V.* Effect of water-soluble chlorine-containing buckminsterfullerene derivative on the metabolism of reactive oxygen species in human embryonic lung fibroblasts // Oxygen. 2022. V. 3. № 1. P. 1–19. DOI: 10.3390/oxygen3010001. 6. *Proskurnina E.V., Mikheev I.V., Savinova E.A., Ershova E.S., Veiko N.N., Kameneva L.V., Dolgikh O.A., Rodionov I.V., Proskurnin M.A., Kostyuk S.V.* Effects of aqueous dispersions of C60, C70, and Gd@C82 fullerenes on DNA oxidative damage/repair and apoptosis in human embryonic lung fibroblasts // ACS Biomaterials Science & Engineering. 2023. V. 9. № 3. P. 1391–1401. DOI: 10.1021/acsbiomaterials.2c01359. 7. *Ratova D.-M.V., Mikheev I.V., Chermashentsev G.R., Maslakov K.I., Kottsov S.Yu., Stolbov D.N., Maksimov S.V., Sozarukova M.M., Proskurnina E.V., Proskurnin M.A.* Green and sustainable ultrasound-assisted anodic electrochemical preparation of graphene oxide dispersions and their antioxidant properties // Molecules. 2023. V. 28. № 7. 3238. DOI: 10.3390/molecules28073238. 8. *Sozarukova M.M., Proskurnina E.V., Kochneva E.M., Barinov A.K., Baranchikov A.E., Ivanov V.K.* A new chemiluminescence assay for hypochlorite detection in water: a synergistic combination of WS2 quantum dots and luminol // Water. 2024. V. 16. № 21. 3044. DOI: 10.3390/w16213044. 9. *Proskurnina E.V., Sozarukova M.M., Ershova E.S., Savinova E.A., Kameneva L.V., Veiko N.N., Saprykin V.P., Vyshegurov K.K., Ivanov V.K., Kostyuk S.V.* Nanoceria coated with maltodextrin or chitosan: effects on key genes of oxidative metabolism, proliferation, and autophagy in human embryonic lung fibroblasts // Molecules. 2025. V. 30. № 15. 3078. DOI: 10.3390/molecules30153078. 10. *Sozarukova M.M., Filippova A.D., Ratova D.V., Mikheev I.V., Proskurnina E.V., Baranchikov A.E., Ivanov V.K.* UV-tuning the redox properties of nanoscale cerium dioxide and its enzyme conjugates // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. 2025. V. 16. № 6. P. 791–801. DOI: 10.17586/2220-8054-2025-16-6-791-801.

Доцент, кандидат химических наук по специальности 02.00.02 Аналитическая химия, доктор медицинских наук по специальностям 14.03.10 Клиническая лабораторная диагностика и 03.01.04 Биохимия

_____ / Проскурнина Е.В.

«10» апреля 2026 г.

Подпись Проскурниной Е.В.
УДОСТОВЕРЯЮ
Зав. протоколом
отд. ВОНХ РАН