



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА
(МГУ)

Ленинские горы, Москва,
ГСП-1, 119991

Телефон: +7(495) 939-10-00
Факс: +7(495) 939-01-26

22.09.2023 № 694-23/013-03

На № _____

«Утверждаю»

Проректор Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский
государственный
университет имени М.В.Ломоносова»

А.А.Федягин

«22» 09 2023 г.



Отзыв

ведущей организации ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» на диссертационную работу Силиной Юлии Евгеньевны на тему «Микроаналитические тест-средства на основе наноструктурированных органо-неорганических гибридных пленок» предоставленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности: 1.4.2 – Аналитическая химия

Разработка методов и средств определения низкомолекулярных органических веществ, таких как жирные кислоты, триацилглицериды, углеводы, аминокислоты, пептиды, флавоноиды, вещества, входящие в состав фармпрепаратов, и многие другие, является сложной и важной задачей современной аналитической химии, в первую очередь из-за биологической активности этих веществ и их роли в биохимических процессах. Сложность решения такой задачи обусловлена термической и химической нестабильностью анализаторов, часто (например, при их определении хроматографическими методами) необходима сложная пробоподготовка и дериватизация анализаторов, задачу осложняет весьма малый объем анализируемой жидкости.

В связи с этим диссертационная работа Ю.Е. Силиной, посвященная наноструктурированным пленкам, которые могут выступать в роли сенсоров или мишеней в различных современных методах анализа и разработке и применению микроаналитических систем и платформ для экспрессного определения веществ различных классов на их основе, несомненно является актуальной.

Основные результаты работы опубликованы в 42 статьях в рецензируемых научных журналах, 38 из которых входят в перечень изданий, утвержденный Ученым советом ИОНХ РАН, защищены 12 патентами РФ, результаты работы доложены на многочисленных отечественных и зарубежных конференциях разных уровней.

Диссертация построена традиционно и включает введение, обзор литературы, шесть глав экспериментальной части и обсуждения результатов, выводы, список цитируемой литературы и приложения. Работа изложена на 396 страницах текста, содержит 139 рисунков и 35 таблиц, список цитируемой литературы насчитывает 329 библиографических наименований.

В первой главе проведен анализ литературных данных, касающихся разработки и использования микроаналитических систем, основанных на применении наноструктурированных органо-неорганических пленок (ОНГ) для обнаружения и количественного определения низкомолекулярных биологически активных веществ. На основании анализа опубликованных к началу выполнения работы данных сформулированы общие, часто встречающиеся недостатки таких систем – низкая прецизионность результатов анализа, неравномерность и механическая нестабильность предлагаемых пленок, а также недостаточная селективность предложенных систем. Отмечено, что эти недостатки обусловлены, в первую очередь, несовершенством способов получения таких пленок.

Вторая глава посвящена разработке способов получения ОНГ пленок, предназначенных для электрохимического и масс-спектрометрического определения малых биомолекул. В основу этих способов положен одностадийный синтез пленок на электродных подложках гальваностатическим двухэлектродным методом из растворов сложного состава, содержащих прекурсоры компонентов гибридного слоя. Показано, что, меняя ток и время электролиза, концентрацию и состав раствора прекурсоров – компонентов формирующегося ОНГ, режим поляризации, можно получать разные по составу и архитектуре слоя ОНГ материалы.

Предложен ряд приемов тестирования качества получаемых пленок. Так, с использованием ИСП-МС разработан способ контроля содержания неорганического компонента в пленке. Надежность закрепления полимерного компонента предложено контролировать с помощью ВЭЖХ-МС с электрораспылением. С использованием SALDI-MS предложен способ контроля биоорганического компонента в составе ОНГ пленки по принципу биохимического сканирования. Кислородный оптический сенсор применен для контроля активности ферментов группы оксидаз после их соосаждения с наночастицами неорганической фазы на поверхность электродов.

Влияние способа получения пленок на свойства микроаналитических систем изучено на примере обнаружения низкомолекулярных (≤ 1000 Da) биологически активных анализаторов: D-глюкозы, L-лактата, низших спиртов (C₁-C₄), пероксида водорода, антибиотиков (эритромицина, сульфаметазина, резерпина) и других. Отмечено, что определение этих анализаторов в пробах малого объема (на уровне нанолитров) без дериватизации традиционными методами, такими как электрофорез, газовая или жидкостная хроматография, затруднено.

В третьей главе диссертации исследован механизм формирования ОНГ пленок на поверхности электродов из смешанных многокомпонентных растворов при гальваностатической поляризации, а также приведены характеристики структуры и состава таких пленок. Отмечено, что структура ОНГ слоя для целей биоаналитики требует учета процессов, протекающих с участием всех составляющих материала. Так, биокомпонент (фермент класса оксидаз) катализирует окисление биомолекулы с выделением пероксида водорода, который в свою очередь способен окисляться или восстанавливаться на наночастицах неорганической фазы при наложении поляризации. Природа и химический состав поверхности частиц металла также могут оказывать существенное влияние на аналитические свойства формируемых ОНГ пленок.

Охарактеризованы морфология, топология (AFM), химический состав поверхности (EDX, FT-IR, LDI-MS) и биохимическая активность (кислородный оптический сенсор, электрохимические исследования) сформированных одностадийным осаждением ОНГ пленок. Соосаждение всех компонентов пленки доказано с помощью предложенного в этой работе подхода LDI-MS биохимического сканирования. Наличие в спектре FAD, используемого в качестве кофактора при производстве GOx, доказывает успешное соосаждение фермента совместно с кофактором (типы ионов в масс-спектре [M-H+Na]⁺, [M-H+Na+1]⁺, [M-H+Na+2]⁺, [M-2H+2Na]⁺ и [M-2H+2Na+1]⁺). Идентичность

формирующихся типов ионов уставлена путем соосаждения индивидуального кофактора FAD совместно с нафионом и Pd-NPs.

Предложенные в работе количественные критерии LDI-MS биосканирования позволили установить количество соосажденного нафиона (m/z 544, $[C_9HF_{17}O_5S+H]^+$) в ОНГ пленке (78%). Эффективность осаждения нафиона методом послойного нанесения (LbL) оказалась гораздо ниже (всего 11%), что объясняется различием в растворимости реагентов, их неконтролируемым растеканием по поверхности и деформацией при испарении. Для уточнения механизмов формирования функциональных ОНГ пленок при их одностадийном электроосаждении использовали метод квантово-химического моделирования.

Показаны преимущества ОНГ пленок, полученных одностадийным синтезом (ОНГ-OS) по сравнению с послойно организованными (ОНГ-LbL) аналогами. Улучшенная морфология поверхности ОНГ-OS обеспечивает высокую химическую и механическую стабильность получаемых функциональных ОНГ-OS пленок, а инструментально контролируемый способ их синтеза позволяет повысить воспроизводимость состава от партии к партии. Предположено, что в связи с преимуществами ОНГ-OS пленок перед классическим способом их получения, можно ожидать и улучшенные аналитические характеристики при обнаружении и определении биомолекул с помощью сенсоров на их основе.

Четвертая глава посвящена установлению параметров синтеза, влияющих на структуру и электрохимический отклик ОНГ слоев и определяющих аналитические характеристики ОНГ-OS сенсоров. Автором предложен способ двухступенчатой катодно-анодной поляризации (МАМ-режим) для детектирования пероксида водорода: первый шаг – поляризация при потенциале катодного пика для восстановления поверхности палладия, второй шаг – поляризация при анодном потенциале в диапазоне 0.2–0.4 В для регистрации тока, связанного с окислением пероксида водорода. Такой методический подход позволяет уменьшить поляризацию пероксид-зависимых систем и повысить правильность определения пероксида.

Для проверки селективности и чувствительности определения пероксида водорода в реальных ферментативных средах сенсором на основе Pd-NPs (неферментное определение), определяли вещества, которые также могут проявлять электроактивность в заданных экспериментальных условиях (этанол, уксусная кислота, глицерин, глюкоза). Согласно проведенным тестам, сенсор на основе Pd-NPs не обладает чувствительностью ни к одному из этих веществ (pH 4–7), кроме пероксида водорода, что, вероятно, связано со стадией адсорбции этого аналита.

Разработанный МАМ-режим регистрации электроаналитического сигнала пероксид-зависимых систем позволил подобрать состав и структуру ОНГ-OS пленок сенсоров для улучшения их аналитических возможностей. Варьировали условия синтеза ОНГ-OS сенсоров глюкозы: состав раствора, концентрацию фермента и полимерного связующего, время и ток осаждения. Показано, что увеличение концентрации фермента GOx от 1 до 9 мг/мл в растворе при синтезе сопровождалось практически линейным увеличением чувствительности ОНГ-OS сенсора на глюкозу. Варьирование параметров поляризации (время и ток) показало, что не только количество биорецептора, но и диаметр наночастиц (по данным РЭМ) влияют на формирующуюся структуру ОНГ слоя и, как следствие, на аналитические характеристики сенсора на его основе. Установлено, что за счет улучшенной стабильности всех компонентов ОНГ диапазон линейности градуировочных зависимостей для OS-ОНГ сенсоров существенно шире, чем для LbL-ОНГ аналогов.

Показано, что важную роль также играет природа полимерного компонента. ОНГ пленки, полученные из многокомпонентных растворов, содержащих прекурсоры альгината (ALG) или полипиррола (PPy) в качестве альтернативы нафиону, при идентичных параметрах электролиза не проявили значимых электроаналитических откликов в составе сенсоров при определении глюкозы. Предположено, что такое поведение ОНГ-OS систем с

иными полимерами связано с формированием функционального слоя адсорбционного типа вместо 3D-капсулной структуры, что приводит к быстрому вымыванию водорастворимого фермента. Для формирования капсулной структуры GOx с ALG и PPu одноэтапный синтез не подходит, требуется изменение режима поляризации при формировании ОНГ пленки. Установлено, что замена Pd-NPs в составе OS-ОНГ на Ag-NPs приводит к значительному дрейфу базовой линии электродов и низкой эффективности соосаждения биополимерного компонента.

Таким образом, автором установлено, что, меняя соотношение и концентрацию активных компонентов в растворе синтеза и режим их осаждения, можно управлять структурой функционального ОНГ слоя и влиять на аналитические характеристики сенсоров на их основе.

Пятая глава посвящена изучению адсорбционно-десорбционных взаимодействий анализаторов с поверхностью наночастиц благородных металлов. Для этих исследований автором выбран метод SALDI-MS. Установлено, что после ионизации всех компонентов ОНГ в масс-спектрах помимо обнаружения тестовых анализаторов возможно определить характер их адсорбции, т.е. типы формирующихся связей между поверхностью мишени и анализатором. Анализ полученных спектров показал, что при ионизации с поверхности электроосажденных Pd-NPs, Ag-NPs, Au-NPs тестовые анализаторы образуют интенсивные аддукты с катионом калия $[M+K]^+$, что исключает формирование ковалентных связей с подложкой при адсорбции. В случае самопротонируемых анализаторов в масс-спектрах также визуализируются ионы $[M+H]^+$. Масс-спектры, полученные с поверхности мишеней на основе Pd-NPs и AgNPs, характеризовались высоким качеством и низким уровнем шумов в сравнении со спектрами, записанными при определении аналогичных анализаторов стандартным методом MALDI-MS. Формирование калиевых аддуктов в масс-спектрах после ионизации биоанализаторов с поверхности наночастиц благородных металлов автор объясняет присутствием калиевых солей в электролитах серебрения и палладирования. Показано, что ионизация этих же биомолекул с помощью MALDI сопровождалась образованием ионов типа $[M+Na]^+$, а полученные спектры загрязнены матричными ионами, что затрудняло их интерпретацию.

Мишины на основе пленок Pd-NPs различной толщины показали хорошую воспроизводимость стадии их синтеза. В зависимости от толщины пленки погрешность определения тестируемых углеводов от мишени к мишени варьировалась от 2.5 до 20 %.

Установлено, что чувствительность определения разных классов биоанализаторов с использованием одной и той же мишени существенно зависит от природы малых биомолекул. Наибольшую чувствительность мишени на основе пленки Pd-NPs проявили к сульфаметазину, содержащему в составе сульфо- и азиновые- группы. Автор высказал предположение о том, что, основываясь на результатах предварительного скрининга методом SALDI-MS, можно априори подобрать класс или группу анализаторов, к которым электрод с аналогичными наночастицами может проявлять электрохимическую чувствительность. Показано, что даже незначительное изменение состава поверхности пленок может вызывать серьезные изменения в типах формирующихся ионов тестовых биоанализаторов, а также в путях их ионизации и фрагментации.

В шестой главе автор диссертации приводит сведения о применении предложенного им подхода – одноэтапного синтеза ОНГ пленок – для разработки способов определения низкомолекулярных биологически активных анализаторов в различных объектах. Так, в развитие подхода автором предложен способ иммобилизации нескольких функциональных покрытий из растворов, содержащих GOx, LOx, нафцион и палладиевый электролит на трафаретном электроде, обеспечивающий получение мультиферментного ОНГ слоя. В результате на одном электроде формируется несколько функциональных центров: Pd-NPs/Нафцион/GOx, Pd-NPs/Нафцион/ LOx. Путем оптимизации режима электрохимического считывания сигналов и варьирования pH раствора автору удалось обеспечить надежное переключение между режимами детектирования L-лактата,

Dглюкозы, перекиси водорода и глутаральдегида (GLU). Работа такого сенсора протестирована при определении глюкозы в ферментативной среде, используемой для культивирования дрожжей. Несмотря на присутствие других электроактивных компонентов, правильность определения глюкозы в ферментативной среде составила ~94%. Результаты определения глюкозы хорошо коррелируют с ростом концентрации продукта микробной активности – этанолом. Проведенный тест на специфичность не выявил никаких значительных помех со стороны D-фруктозы при анализе D-глюкозы с помощью ОНГ-OS сенсора.

На основании установленных закономерностей адсорбции электрохимически активных биомолекул на поверхности электродов с электроосажденными функциональными пленками разработан способ экспрессного профилирования клеток *Saccharomyces cerevisiae* в ферментативных средах, имеющий ряд преимуществ по сравнению с аналогами.

Еще одним приложением разработанного одностадийного подхода явилось моделирование скрининга микробных ферментов путем амперометрического мониторинга апоферментов на электродах с ОНГ-OS пленкой. Способ заключался в превращении ферментов из апоформы в холоформу непосредственно на электроде.

Установленные автором закономерности ионизации жирных кислот (C18:1-C18:3) и триацилглицеридов с поверхности электроосажденных пленок Pd-NPs, сопровождающиеся образованием в масс-спектрах аддуктов типа $[M+K]^+$ легли в основу нового способа экспрессного определения этих аналитов в образцах растительных масел.

Использование ОНГ пленок позволило разработать SALDI-MS способ экспресс-анализа молочных продуктов без проведения сложной пробоподготовки образца. Этим способом установлено, что производители молока добавляют в безлактозное молоко фермент лактазу, который расщепляет лактозу до глюкозы.

Таким образом, в диссертационной работе Ю.Е. Силиной предложен одностадийный метод электрохимического синтезаnanostructured ОНГ пленок из смешанных растворов электролитов, позволяющий в одной процедуре гальваностатической поляризации осадить все компоненты ОНГ в нужную структуру слоя и получать ОНГ пленки с воспроизводимой морфологией и свойствами. Разработаны подходы к оценке стабильности и однородности распределения компонентов в ОНГ пленках. Установлено влияние природы используемых при синтезе компонентов, их концентрации, pH раствора синтеза и параметров электрохимической поляризации на морфологию и свойства получаемых функциональных ОНГ пленок. Установлены и систематизированы факторы, обусловливающие отклик микроаналитических систем на основе полученных ОНГ пленок с наночастицами благородных металлов (амперометрические сенсоры, мишени-эмиттеры ионов в методе SALDI-MS); показано, как условия синтеза, химический состав и морфология nanostructured ОНГ слоя влияют на тип выходного сигнала. Показана применимость различных вариантов разработанных одностадийных ОНГ функциональных пленок в микроаналитических приложениях. Все это составляет научную новизну диссертационной работы.

Практическая значимость. Предложенный автором подход одностадийного электрохимического синтеза nanostructured ОНГ пленок успешно применен для создания амперометрических биосенсоров и подложек-эмиттеров ионов при определении низкомолекулярных биологически активных веществ в различных объектах. Предложен ряд приемов использования этого подхода. В их числе способ *in situ* модификации структуры апоферментов в капле раствора непосредственно на электродах за счет реакции с иммобилизованным кофактором, *in vitro* способ электрохимического профилирования клеток *Saccharomyces cerevisiae*, способ контролируемого формирования функциональной полимерной пленки на поверхности пьезокварцевых микровесов.

Результаты работы Ю.Е. Силиной могут быть использованы при проведении НИР в области электрохимических методов анализа, а также в общих и специальных учебных курсах ВУЗов, в соответствующих справочниках и монографиях. Эти результаты можно рекомендовать для использования в МГУ имени М.В. Ломоносова, РГУ МИРЭА, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН.

Обоснованность положений, выносимых на защиту, и выводов по работе. Положения, выносимые на защиту, не вызывают возражений, имеют научную новизну, теоретически обоснованы в тексте диссертации и экспериментально доказаны. Общие выводы по работе полностью соответствуют содержанию диссертации, базируются на большом экспериментальном материале и не противоречат имеющимся литературным данным. **Достоверность** полученных данных подтверждена большим объемом полученных результатов.

Автореферат диссертации и публикации автора в полной мере отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа Ю.Е. Силиной не свободна от **недостатков**, которые в определенной мере сказываются на качестве представления работы.

1. Первым общим замечанием можно полагать суммарно большое число погрешностей и неточностей (в изложении результатов работы, а также терминологических, грамматических и орфографических ошибок), число которых значительно превышает уровень, ожидаемый для диссертационной работы, в которой научная новизна и практическая значимость в серьезной мере зависят от детальности, достоверности и чёткости описания полученных научных результатов. Во многих местах стилистика изложения содержит неполные или достаточно безграмотные предложения, с большой вероятностью являющиеся неотредактированным переводом с английского языка. В диссертации имеется большое число примеров графического материала, качество которого весьма невысоко, при этом обозначения не переведены на русский язык.
2. Экспериментальные главы 2–5 в основном посвящены подробному исследованию свойств и возможностей предлагаемых материалов и механизмов реакций. В главе же 6, в которой сконцентрированы основные результаты работы, непосредственно связанные со специальностью «аналитическая химия», нет четкой системы описания, не обсуждается реальная практическая ценность предлагаемых систем, не всегда приведены все целевые аналитические характеристики и практически нет полноценного сравнения полученных результатов с ранее известными для аналогичных систем. Таким образом практическая ценность и научная значимость полученных результатов, которые безусловно присутствуют в этой работе, именно с точки зрения основной специальности обсуждаются автором не в полной мере. Вероятно, рассуждения о дальнейших перспективах предложенных микроаналитических систем стоило свести в более подробное заключение по итогам всей работы, а не распределять эту информацию в начале глав, при этом до описания конкретных результатов.
3. В главах экспериментальной части, прежде всего в главах 2 и 3 в ряде случаев присутствует представление графической информации с формальным и недетализированным изложением, при этом сами рисунки и подрисуночные подписи не всегда содержат полное описание материала или не вполне соответствуют ссылкам в тексте (рис. 2.2, 2.5, 2.8, 2.9, 2.11, 2.15, 2.16, 3.7 и др.). Либо, наоборот, представлено текстовое описание эксперимента без иллюстративного материала или ссылки на него (с. 119–120).
4. Описание многих экспериментов, прежде всего для спектроскопических методов, не всегда является полноценным. Так, в главе 2, описание эксперимента в области ИК-спектроскопии является неполным, так как не даны не только условия измерения

спектров, но и не указано спектральное разрешение, что весьма существенно. При этом часто в работе ИК-полосы даны с излишней точностью, при этом не всегда указано, каким функциональным группам они соответствуют. Часто отнесение ИК-полос в работе является дискуссионным, в особенности с учетом неполного объяснения и отсутствия самих спектров. Спектры часто практически не обработаны (рис. 3.7 и ПЗ.2).

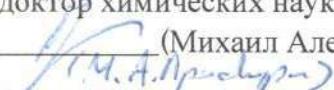
5. Автор весьма небрежно относится к описанию численных величин, есть существенные ошибки в числе значащих цифр практически во всех главах экспериментальной части. Во многих случаях размерность величин не соответствует параметру. Так, плотность тока выражается в амперах, напряжение — в электронвольтах и т. п.
6. Автор позволяет себе весьма значительное число терминологических погрешностей. В тексте присутствуют одновременно русские и не вполне оправданные английские термины для близких понятий. Часть терминов, таких как «вибрация» (вместо «колебание»), «трансмиссия» (вместо «пропускание»), «отрицательный режим ионизации» и многие другие представляет собой некорректный перевод с английского языка. Автор использует разные термины для одного и того же явления или метода (чаще всего, в разных частях работы), один термин или аббревиатуры для разных понятий (например, аббревиатура «ЦВА» исходя из контекста означает метод циклической вольтамперометрии, вольтамперограмму для этого метода и потенциал для этого метода). Ряд терминов, например, «УФ-анализ» — некорректны, термин «алгоритм» использован вместо «математического выражения». Термин «спирт» используется для всех спиртов или только этанола, часто без уточнения. Автор злоупотребляет общими терминами типа «система», «контроль», «анализ», «сигнал», которые используются в разных смыслах и несколько искажают изложение материала.

Сделанные замечания тем не менее не меняют общей положительной оценки представленной работы и не ставят под сомнение сформулированные научные достижения.

Таким образом, работа соответствует условиям пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) от 11.05.2022 г. Работа соответствует паспорту специальности 1.4.2 – аналитическая химия (пп. 2, 3, 16). В целом, не вызывает сомнений тот факт, что по научному уровню и объему проведенных исследований Силина Юлия Евгеньевна достойна присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.2 – аналитическая химия.

Отзыв подготовил

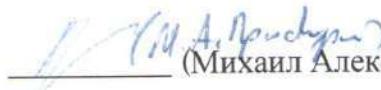
профессор кафедры аналитической химии
химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,
доктор химических наук (специальность 02.00.02 – аналитическая химия)


(Михаил Алексеевич Проскурнин)

Отзыв заслушан и утвержден на заседании кафедры аналитической химии Химического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, протокол заседания № 19 от «20» сентября 2023 г.

Заведующий кафедрой аналитической химии Химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

д.х.н., проф.

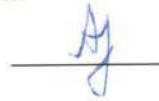

(Михаил Алексеевич Проскурнин)

Почтовый адрес: 119991 Москва, Ленинские горы, д.1, стр.3, Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, кафедра аналитической химии

Телефон: (495)939-46-08

Электронная почта: proskurnin@gmail.com

Секретарь заседания



(Владимир Владимирович Апяри)

Зам. декана Химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова по научной работе,

д.х.н. проф.



(Мария Эмильевна Зверева)

Сведения о ведущей организации

по диссертации Силиной Юлии Евгеньевны

"Микроаналитические тест-средства на основеnanoструктурированных органо-неорганических гибридных пленок"

по специальности 1.4.2 Аналитическая химия

на соискание ученой степени доктора химических наук

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова"
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	МГУ имени М.В. Ломоносова или МГУ
Полное наименование факультета и кафедры	Кафедра аналитической химии химического факультета
Почтовый индекс, адрес организации	199911, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Веб-сайт	www.msu.ru
Телефон	(495) 939-10-00
Адрес электронной почты	info@rector.msu.ru
Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	<ol style="list-style-type: none">1. Веселова И.А., Шеховцова Т.Н. Оптические сенсорные системы на основе полиэлектролитного комплекса пероксидазы с хитозаном для определения биологически активных веществ // Журнал аналитической химии. 2019. Т. 74. №1. С. 48-66.2. Просунцова Д.С., Ананьева И.А., Плодухин А.Ю., Белоглазкина Е.К., Шпигун О.А. Синтез и исследование сорбента для ВЭЖХ на основе сополимера стирола и дивинилбензола, модифицированного наночастицами золота // Сорбционные и хроматографические процессы. 2019. Т. 19. №2. С. 139-148.3. Gorbunova M., Apyari V., Dmitrienko S., Zolotov Yu. Gold nanorods and their nanocomposites: synthesis and recent applications in analytical chemistry // Trends in Analytical Chemistry. 2020. number of paper 115974.4. Zakharenkova S.A., Dobrovolskii A.A., Garshev A.V., Statkus M.A., Beklemishev M.K. Chlorophyll-based self-assembled nanostructures for fluorescent sensing of aminoglycoside antibiotics // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2021. V. 9. №9. P. 3408-3415.5. Melekhin A.O., Isachenko A.I., Apyari V.V., Volkov P.A., Dmitrienko S.G., Torocheshnikova I.I., Zolotov Yu A. Effect of amines on formation of gold/polyurethane foam nanocomposites and its sensing opportunities // Talanta. 2021. V. 226. number of paper 122151.6. Большаков Е.С., Иванов А.В., Гармаш А.В., Самохин А.С., Козлов А.А., Золотов Ю.А. Комплексный подход к мониторингу летучих органических соединений сенсорными

- фотонно-кристаллическими матрицами // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 66. №2. С. 220-228.
7. Furletov A.A., Apyari V.V., Garshev A.V., Dmitrienko S.G., Zolotov Yu.A. Fast and sensitive determination of bioflavonoids using a new analytical system based on label-free silver triangular nanoplates // Sensors. 2022. V. 22. №3. P. 843-857.
 8. Фурлетов А.А., Апяри В.В., Гаршев А.В., Дмитриенко С.Г. Перспективы использования аналитических систем на основе треугольных нанопластиноок серебра для спектрофотометрического определения восстановителей // Журнал аналитической химии. 2022. Т. 77. №10. С. 911-922.
 9. Толмачева В.В., Савинова В.Ю., Гончаров Н.О., Дмитриенко С.Г., Апяри В.В., Чернавский П.А., Панкина Г.В. Сорбция амфеников на магнитном сверхсшитом полистироле // Журнал физической химии. 2022. Т. 96. №6. С. 875-879.
 10. Samodelova M.V., Kapitanova O.O., Evdokimov P.V., Eremina O.E., Goodilin E.A., Veselova I.A. Plasmonic features of free-standing chitosan nanocomposite film with silver and graphene oxide for SERS applications // Nanotechnology. 2022. V. 33. P. 335501.
 11. Morosanova M.A., Morosanova E.I. Sol-gel films doped with enzymes and banana crude extract as sensing materials for spectrophotometric determination // GELS. 2023. V. 9. №3. P. 240.
 12. Чикурова Н.Ю., Просунцова Д.С., Ставрианиди А.Н., Староверов С.М., Ананьева И.А., Смоленков А.Д., Чернобровкина А.В. Новые многофункциональные сорбенты для ВЭЖХ на основе различных матриц, модифицированных эремомицином // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. №5. С. 438-450.
 13. Shik A.V., Stepanova I.A., Doroshenko I.A., Podrugina T.A., Beklemishev M.K. Carbocyanine-based optical sensor array for the discrimination of proteins and rennet samples using hypochlorite oxidation // Sensors. 2023. V. 23. №9. DOI: 10.3390/s23094299.
 14. Nikitina V.N., Karatsialiova A.R., Karyakin A.A. Glucose test strips with the largest linear range made via single step modification by glucose oxidase-hexacyanoferrate-chitosan mixture // Biosensors and Bioelectronics. 2023. V. 220. P. 114851.

Зав. кафедрой аналитической химии, д.х.н., проф.

Зам. декана химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
по научной работе, д.х.н.

Проректор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
д.ф.-м.н.



(М.А.Просунцова) Просунцова М.А.

Зверева М.Э.

Федягин А.А.