

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Силиной Юлии Евгеньевны «Микроаналитические тест-средства на основеnanostructured organo-inorganic hybrid films» на
соискание ученой степени доктора химических наук по специальности

1.4.2. Аналитическая химия

Актуальность работы. Решение аналитических задач, связанных с определением низких концентраций малых органических молекул в интересах медицины, фармацевтики и экологии требует всемерного расширения применяемых средств измерения и их ориентации на возможности применения вне стационарной химической лаборатории, у постели больного или по месту отбора проб. Данная концепция, получившая название point-of-care или point-on-site testing, предъявляет особые требования к операционным и аналитическим характеристикам разрабатываемых устройств, включая повышенную устойчивость сигнала, возможности его измерения в различных условиях эксплуатации изделий, надежность получаемой информации. Последнее предполагает достижение высокой избирательности отклика в сложных по составу средах за счет использования синтетических и природных рецепторов, «вписанных» в адаптированные под них матрицы на поверхности преобразователя сигнала. Несмотря на обилие решений, связанных с достижением указанных характеристик, и примеры их успешной реализации в коммерческих устройствах, методологические и научные проблемы формирования рецепторных слоев и обеспечения единства технологических решений в массовом производстве для различных анализаторов далеки от разрешения. Использование сборки требуемых конфигураций рецепторов, вспомогательных и матричных компонентов чувствительных слоев в одностадийном электрохимическом процессе с участием электрокatalитических неорганических компонентов и специфических органических рецепторов, являющееся целью представленной диссертации, безусловно *актуально как с теоретической* точки зрения (выявление механизмов формирования гибридных слоев с точки зрения достижения конечных характеристик устройств), так и с *практической* (создание высокочувствительных и селективных средств измерения на основе предложенных протоколов сборки поверхностных слоев).

Диссертация Ю.Е. Силиной изложена на 396 стр. текста машинной верстки, содержит 139 рисунков и 25 таблиц и приложения. Она включает введение, обзор литературы, шесть содержательных глав с собственными экспериментальными результатами, выводы и список цитируемой литературы из 329 библиографических описаний работ отечественных и зарубежных авторов.

Введение содержит обоснование актуальности проведенного исследования, сформулированную цель и задачи работы, положения, составляющие научную новизну, теоретическую и практическую значимость, положения, выносимые на защиту, сведения о личном вкладе автора и апробации полученных результатов на конференциях различного уровня. Также описана общая структура диссертации.

Глава 1 «Обзор литературы» содержит значительный объем информации, посвященный получению гибридных покрытий для решения задач, относящихся к биоаналитической химии и ее разделам, связанным с биосенсорикой и массспектрометрией. Автор концентрируется на классификации существующих методологических решений в области формирования поверхностных слоев в соответствии с природой наносимых гибридных покрытий и технологией такого нанесения. Попытка охватить максимально широкий круг технологических решений похвальна, но она привела к некоторой фрагментарности описания - слишком разнообразный материал с трудом поддается обобщению. Хотя выбор цитируемых источников в любом случае остается на усмотрение соискателя, можно было бы рекомендовать расширить описание методов электрохимического соосаждения, учитывая, что именно они составляют основу собственных результатов, представленных в диссертации. Также необходимо неточности перевода ряда английских терминов и использование английских надписей на рисунках и в уравнениях реакций. Тем не менее, литературный обзор выполняет свою главную функцию – дает представление о многообразии методов, используемых для формирования чувствительного слоя аналитических устройств, и обосновывает выбор направления исследования автора.

В Главе 2 «Методы создания и характеристики ОНГ пленок» сначала частично повторяется материал Введения с обоснованием выбора направления исследования (одностадийный синтез функциональных органо-неорганических (ОНГ) пленок) и дается общее описание прекурсоров каталитических частиц металлов, самих покрытий, ферментов, в них включаемых, методов исследования получаемых пленок. Вопреки

ожиданиям, Глава 2 - не экспериментальная часть, а скорее вводная собственных исследований, в которой дана характеристика физических методов исследования, но одновременно - результаты изучения ОНГ. Результаты представленные в главе, обосновывают выбор одностадийного способа осаждения ОНГ и показывают разнообразие получаемых пленок с точки зрения состава и круга аналитов. Также присутствуют результаты совместного использования методов электрохимии и масс-спектрометрии для контроля состава, устойчивости покрытий, что представляется не лучшим решением с точки зрения логики представления. Присутствуют неточности терминологии и интерпретации результатов, полученных с помощью вольтамперометрических методов.

Глава 3 имеет достаточно длинное название: «Одностадийный метод формирования электроактивных ОНГ: от взаимодействий в многокомпонентном растворе синтеза до архитектуры гибридной пленки на поверхности электрода». Де facto в ней рассмотрены в основном пленки на основе глюкозооксидазы, нафиона и наночастиц палладия). Глава начинается с теоретического рассмотрения факторов в пользу выбора одностадийного протокола нанесения фермента. Применительно к оксидоредуктазам основной объект рассмотрения – связь между процессами с участием кислорода как природного акцептора электронов и пероксида водорода как продукта реакции (в некоторых случаях поименованного как промежуточный). Отвод пероксида водорода из полимерного слоя рассматривается как благо, поскольку сохраняет активность ферментов' в составе слоя. Однако во многих электрохимических сенсорах сигнал получают от пероксида водорода, контактирующего с электродом, то есть его отвод из приэлектродного пространства будет снижать величину регистрируемого тока. В схемах 3.1-3.4 не учитывается возможность контролировать процессы на электроде, меняя его потенциал. Разделить процессы с участием пероксида водорода, кислорода и используемых каталитических частиц металлов с помощью специфического инструментария электрохимии представляется возможным. Автор подробно рассматривает взаимодействия между компонентами раствора для осаждения ОНГ, различные варианты комплексообразования ионов палладия и их взаимодействие с функциональными группами глюкозооксидазы. Предлагаемый в итоге механизм формирования пленок ОНГ включает последовательное осаждение частиц палладия, фермента с адсорбированными ионами палладия и нафиона. Послойное осаждение связано с различ-

ной скоростью их доставки к электроду. Такое объяснение представляется упрощенным, поскольку не учитывает многих факторов, включая электростатические взаимодействия, миграционные процессы, различия в объемных концентрациях прекурсоров. Почему не может происходить их совместное осаждение и почему происходит в той же системе осаждение нафиона, электрохимически инертного и отрицательно заряженного, остается не вполне понятным. К числу несомненного достоинства работы относится использование оды оптического микрозонда для оценки концентрации кислорода. Этот прием позволяет непосредственно оценивать профили концентрации этого субстрата в пленке, соотнося его с токами, регистрируемыми на электроде, дрейфом сигнала и временем жизни сенсоров.

Следующая часть Главы 3 посвящена вопросам воспроизводимости нанесения пленок ОНГ. Массу покрытия оценивали с помощью электрохимического пьезокварцевого микрозвешивания по уравнению Зауэрбрея. Нужно отметить, что оно не дает показателя осаждаемой массы покрытия, поскольку не учитывает вязко-эластичных свойств среды в приэлектродном пространстве. Приводимые значения имеют полукачественный характер. К тому же они относятся к иной подложке (золотые возбуждающие электроды), поэтому гетерогенные реакции могут отличаться от описанных ранее для углеродных печатных электродов, покрыты оксидом графена.

Глава 4 «Ключевые параметры, влияющие на электрохимический отклик ОНГ нанобиосенсоров» содержит результаты вольтамперометрических измерений как основы измерения сигнала электрохимических биосенсоров. Это вполне справедливо. На примере осаждаемых частиц палладия и серебра сделаны наблюдения, связывающие форму и положение пиков восстановления кислорода на вольтамперограммах с природой металла и условиями его осаждения. Отмечается зависимость токов восстановления кислорода от размера частиц металла и условий их электролитического осаждения. Данный факт в целом достаточно хорошо известен, поэтому его не стоит относить к новому способу контроля воспроизводимости синтеза ОНГ, тем более что в работе не учитываются влияние внешних факторов на растворимость кислорода. Упомянутая зависимость тока и потенциала пика от скорости сканирования потенциала - фундаментальное свойство необратимых пиков в постояннотоковой вольтамперометрии, его описание – привычный элемент электрохимических исследований. Далее

проводится анализ сигналов, полученных на модифицированных ОНГ электродах при протекании реакций окисления субстратов ферментов – оксидоредуктаз.

Сначала рассмотрены катодные сигналы, где определяющим является селективность восстановления пероксида водорода относительно аналогичного процесса с участием кислорода. Поскольку пероксид водорода способен к альтернативному химическому диспропорционированию на частицах металлов, в качестве своего дополнительного контроля использовали описанный выше оптический микросенсор на кислород. Сопоставление данных о концентрации кислорода и о вольтамперометрических сигналах подтвердили предположения о различном поведении катализаторов (наночастицы металлов и берлинская лазурь). Вывод о необходимости контролировать концентрацию кислорода в пробе, особенно при низких концентрациях пероксида водорода (стр.179), не представляется обязательным, особенно для определения глюкозы, как правило, предполагающего достаточно высокие концентрации аналита в биологических пробах.

Анодные сигналы в тех же системах фермент – металл исследовали на стеклоуглеродном электроде. Установлено влияние кислорода на токи окисления пероксида водорода, отнесенное к процессам восстановления оксидов палладия. Предложена схема измерения сигнала с предварительной поляризацией электрода в катодной области потенциалов и последующей регистрацией тока, связанного с окислением пероксида водорода. Непонятна трактовка термина «правильность» применительно к результатам амперометрического измерения сигнала (рис. 4.14). В последующем предложенный протокол измерения с предварительной катодной поляризацией электрода был использован при исследовании влияния других компонентов пленки. Надо отметить, что автор отказывается от одностадийности как главного конкурентного преимущества и главной темы исследования и наносит все-таки два слоя – сначала наночастиц палладия, затем ОНГ. Замена нафиона на альгинат и полипиррол характеристики сигнала на пероксид водорода ухудшаются. Аналогичным образом исследовано влияние на сигнал количества иммобилизованного фермента, демонстрирующее явный максимум отклика. Явление, достаточно известное и относимое к изменению проницаемости слоя для кислорода и ограниченным его массопереносом. Здесь в качестве причины нерегулярного изменения сигнала указывается различие в очистке препаратов фермента. В целом в результате рассмотрения всех факторов определяется общее

влияние толщины пленки ОНГ, условий ее осаждения и числа стадий на параметры отклика на пероксид водорода и глюкозу. Установлены оптимальные условия сборки поверхностного слоя биосенсоров.

В заключение автор произвел сравнение разработанных сенсоров на основе наночастиц палладия (бесферментных) и биосенсоров с дополнительным включением в состав слоя оксидоредуктаз. Сравнению повергались структура поверхностного слоя модификатора (по данным сканирующей электронной микроскопии), а также сигналы сенсоров на пероксид водорода (с включением пероксидазы и каталазы). Определены условия повышения активности каталазы, обычно достаточно низкой из-за стерических факторов, выявлено различие в поведении и рабочих условиях функционирования сенсоров, полученных при электрохимическом формировании ОНГ и послойном нанесении компонентов.

Глава 5 «Применение принципов организации ОНГ пленок для изучения адсорбционно-десорбционных взаимодействий в системах неорганическая мишень – органическая биомолекула» методом SALDI-MS изучает процессы адсорбции и десорбции ряда малых молекул на поверхности наночастиц благородных металлов с помощью масс-спектрометрии. Мишени-эмиттеры с осажденными электролитически наночастицами серебра и палладия дополнительно характеризовали с помощью сканирующей электронной микроскопии. Охарактеризованы масс-спектры, полученные с поверхности мишеней на основе наночастиц палладия и серебра, условия получения пиков калиевых аддуктов. Заключительный вывод – о влиянии адсорбционных свойств электроосажденных частиц металлов в составе мишеней эмиттеров ионов и в составе ОНГ слоев и зависимость сигналов от природы анализа.

Глава 6 «Апробация и применение микроаналитических тест-систем на основе ОНГ пленок» рассматривает два типа аналитических устройств – собственно электрохимические биосенсоры и подложки для масс-спектрометрии.

Автор говорит о модульном подходе к формированию чувствительного слоя биосенсора, когда несколько ферментов иммобилизуют на одном носителе – преобразователе сигнала. Подход иллюстрирует сборка слоев глюкозооксидазы и лактатоксидазы в матрице нафиона в присутствии наночастиц палладия. Измерение включает катодную поляризацию электрода для получения активных форм металлического катализатора, и последующее измерение анодного того пероксида водорода. Если опре-

деление органических субстратов ферментов и пероксида водорода в значительной степени использует информацию об оптимальном составе покрытия, полученную из предыдущих глав, определение глутарового альдегида упоминается впервые. К сожалению, не приводится механизм его окисления, но сам факт обнаружения сигнала, пусть без контроля его селективности, заслуживает внимания. Полученные модульные биосенсоры прошли апробацию на примере определения аналитов в культуральной среде, содержащей дрожжевой экстракт и глюкозу. Также предложены оригинальные методики электрохимического профилирования дрожжей. Другой эффектный пример использования разработанных подходов – нековалентная иммобилизация кофактора для повышения эффективности биолектрокатализа в приэлектродном слое. Она реализована для ФАД, кофактора глюкозооксидазы, и его элемента люмифлавина. Иммобилизация кофактора позволила получить ферментативный процесс с использованием апоферментов, получаемых удалением кофактора из коммерческих препаратов.

Вторая часть главы описывает методы масс-спектрометрического определения малых молекул с использованием электросажденных пленок наночастиц палладия и серебра. Объекты анализа – жирные кислоты, растительные масла, молоко.

Заключение диссертации содержит обобщение предложенных новых подходов к синтезу наноразмерных ОНГ, наиболее полно выражющееся в формулировке нового направления – «научно обоснованном подходе к дизайну микроизмерительных тест-систем на основе самоорганизующихся ОНГ пленок путем направленного изменения их структуры и свойств под требования аналитической задачи». Возможно, следовало более подробно рассмотреть перспективы указанного направления, которое сформулировано очень кратко и обтекаемо.

Выводы по диссертации логичны, следуют из представленного экспериментального материала и отражают общую логику исследования.

Характеризуя диссертацию Ю.А. Силиной в целом, необходимо отметить, что это законченное исследование, характеризующееся внутренней логикой, завершенностью, преемственностью представленных данных, которая открывает новые возможности в части создания аналитических устройств на основе гибридных органо-неорганических пленок с включением наноразмерных элементов – благородных ме-

таллов, ферментов и вспомогательных реагентов. К числу основных положений, составляющих научную и практическую новизну, относятся:

- установление общих закономерностей формирования пленок ОНГ в зависимости от совокупности экспериментальных факторов получения и природы компонентов;
- создание нового подхода к сборке пленок ОНГ и аналитических устройств на их основе путем одностадийного синтеза (электрохимического осаждения) на поверхности проводящей подложки (электрода, мишени в масс-спектрометрии)
- новые подходы к анализу структуры и состава поверхностных пленок в составе электрохимических сенсоров, связанные с совместным рассмотрением данных масс-спектрометрии, сканирующей электронной микроскопии и вольтамперометрии;
- оригинальные подходы к оценке состояния оксидоредуктаз в слое с использованием одновременного определения сигнала на пероксид водорода и сигнала на кислород с оптического игольчатого микросенсора;
- оригинальные подходы к электрохимической оценке микробных сообществ по биосенсорной оценке основных компонентов культуральных жидкостей.

Сочетание современных методов материаловедения и электрохимии – самая сильная сторона проведенного исследования, которая выделяет ее среди аналогичных работ, проводимых в части использования наноразмерных частиц благородных металлов в составе электрохимических сенсоров и биосенсоров. Несомненно, прямой анализ продуктов деградации поверхностного слоя в случае использования нафиона и берлинской лазури дает исследователю аргументы, не доступные, исходя исключительно из традиционных подходов электрохимии.

Вместе с тем, к диссертации имеется ряд замечаний по форме и существу представленных результатов:

- Несмотря на наличие определенных общих моментов, связывающих применение наночастиц металлов в экспериментах по электрохимическим сенсорам и биосенсорам, с одной стороны, и масс-спектрометрии, с другой, их объединение в рамках диссертации представляется недостаточно аргументированным. Это разные с точки зрения фундаментальных основ методы, которые могут прекрасно сосуществовать (и соискатель убедительно показал преимущества такого подхода), но они базируются на абсолютно разных принципах, и их оптимизация происходит по разным законам.

- Использование гальваностатической поляризации для осаждения поверхностных слоев исключает богатый инструментарий электрохимии из возможностей влиять на состав поверхностного слоя. Многие вопросы, поднятые и решенные с применением масс-спектрометрии и микросенсора на кислород, могут быть прояснены проще с использованием классических методов электрохимии. К ним относятся природы электродных реакций, вклад массопереноса, установление зависимостей между параметрами электролиза и размерным составом частиц. Также остается непонятым, как происходит осаждение в поверхностном слое нафиона.

- Значительная часть электрохимических исследований была проведена на коммерческих электродах DropSens, содержащих модифицирующий слой оксида графена. Этот факт, как и способность оксида графена восстанавливаться в условиях катодной поляризации, никак не отмечены в обсуждении результатов. Вместе с тем, различная степень восстановления оксида графена, в том числе, в присутствии прекурсоров металлов, может оказывать влияние на формирование ОНГ;

- Сискатель настойчиво продвигает идею одностадийного получения модифицирующего покрытия в условиях гальваностатической поляризации электрода как главное отличие предлагаемого подхода от существующих. Однако это не совсем верно – часть весьма интересных результатов получена в двухстадийном режиме нанесения наночастиц палладия и фермента, также к двухстадийному протоколу относятся все предлагающиеся методики измерения сигнала с предварительной катодной поляризацией электролов;

- Вызывает возражение некоторая терминология, используемая автором. Всегда наноэлектрод – это электрод наноразмеров, а не электрод, содержащий наноразмерные модификаторы. Термины «нанобиоэлектрод», «бионаноэлектрод» не имеют права на существование. Метод LbL (layer-by-layer) предполагает послойную сборку противоположно заряженных полимеров, а не просто последовательное нанесение растворов реагентов с высыпыванием (drop-casting).

- Несколько раз повторяется тезис о том, что более гладкая поверхность (меньшая шероховатость) – хорошо. На самом деле, это не совсем так, в вольтамперометрии на макроэлектродах сигналы усредняются, увеличение шероховатости увеличивают удельную площадь поверхности и регистрируемые токи, снижает гидрофоб-

ность поверхности углеродных материалов, что способствует нанесению супензий модификаторов.

- Имеется весьма значительное число технических неточностей, помарок, использования английских надписей и терминов, опечаток в таблицах.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Она прошла успешную апробацию на многочисленных конференциях, полученные результаты опубликованы в топовых журналах и полностью нашли отражение в автореферате.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.4.2. Аналитическая химия согласно п. 2. Методы химического анализа, п. 3. Аналитические приборы, п. 10. Анализ органических веществ и материалов.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Силиной Юлии Евгеньевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной с разработкой новых подходов к конструированию электрохимических сенсоров и созданию тест-устройств на основе гибридных органо-неорганических материалов. По объему выполненных исследований, своей актуальности, научной новизне и практической значимости диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 и пп. 2.1-2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской Академии Наук» от 11 мая 2022 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук. Автор диссертации, Силина Юлия Евгеньевна, заслуживает присуждения степени доктора наук по специальности 1.4.2. Аналитическая химия.

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой аналитической химии,

доктор химических наук,

профессор

ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18,

тел: +7(843)233-74-91

e-mail: Gennady.Evtugyn@kpfu.ru

Геннадий Артурович Евтюгин



20.09.2023

10



Сведения об официальном оппоненте
 по диссертационной работе **Силиной Юлии Евгеньевны**
 на тему «**МИКРОАНАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕСТ-СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ
 НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ
 ГИБРИДНЫХ ПЛЕНОК»,**

представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности

1.4.2 – «Аналитическая химия»

Фамилия Имя Отчество оппонента	Евтюгин Геннадий Артурович
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	02.00.02 – Аналитическая химия
Ученая степень и отрасль науки	Доктор химических наук (02.00.02 – аналитическая химия, химические науки)
Ученое звание	Профессор
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет
Занимаемая должность	Заведующий кафедрой аналитической химии
Почтовый индекс, адрес	Казань, 4200008, ул. Кремлевская, 18, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им.А.А.Бутлерова
Телефон	843-233-74-91
Адрес электронной почты	Gennady.Evtugyn@kpfu.ru
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	<ol style="list-style-type: none"> Kulikova T. N., Porfireva A. V., Evtugyn G. A., Hianik T. Electrochemical aptasensor with layer-by-layer deposited polyaniline for aflatoxin M1 voltammetric determination // <i>Electroanalysis</i>. 2019. V.3. № 10. P.1913-1924. Ivanov A., Davletshina R., Sharafieva I., Evtugyn G. Electrochemical biosensor based on polyelectrolyte complexes for the determination of reversible inhibitors of acetylcholinesterase // <i>Talanta</i>. 2019. V.194. P.723 – 730. Kulikova T.N., Porfireva A.V., Vorobev V.V., Saveliev A.A., Ziyatdinova G.K., Evtugyn G.A. Discrimination of Tea by the Electrochemical Determination of its Antioxidant Properties by a Polyaniline-DNA-Polyphenazine Dye Modified Glassy Carbon Electrode.// <i>Analytical Letters</i>

4. Kuzin Yu. I., Gorbatchuk V. V., Rogov A. M., Stoikov I. I., Evtugyn G. A. Electrochemical properties of multilayered coatings implementing thiocalix[4]arenes with oligolactic fragments and DNA // *Electroanalysis*. 2020. V.32. № 4. P.715-723.
5. Porfireva A.V., Goida A.I., Rogov A.M., Evtugyn G.A. Impedimetric DNA sensor based on poly(proflavine) for determination of anthracycline drugs // *Electroanalysis*. 2020. V.32. № 4. P. 827-834.
6. Shurpik D.N., Aleksandrova Y.I., Rodionov A.A., Razina E.A., Gafurov M.R., Vakhitov I.R., Evtugyn V.G., Gerasimov A.V., Kuzin Y.I., Evtugyn G.A., Cragg P.J., Stoikov I.I. Metallo-supramolecular coordination polymers based on amidopyridine derivatives of pillar[5]arene and Cu(II) and Pd(II) cations: synthesis and recognition of nitroaromatic compounds // *Langmuir*. 2020. V. 37. № 9. P. 2942 – 2953.
7. Kuzin Y.I., Padnya P.L., Stoikov I.I., Gorbatchuk V.V., Stoikov D.I., Khadieva A.I., Evtugyn G.A. Electrochemical behavior of the monomeric and polymeric forms of N-phenyl-3-(phenylimino)-3H-phenothiazin-7-amine. // *Electrochim. Acta*. 2021. V.345. Article 136195
8. Evtugyn G., Belyakova S. Biomembrane mimetic electrochemical sensors. // *Curr. Opin. Electrochem.* 2021. V.28. Article 100722.
9. Porfireva A., Plastinina K., Evtugyn V., Kuzin Y., Evtugyn G. Electrochemical DNA sensor based on poly(Azure a) obtained from the buffer saturated with chloroform. // *Sensors*. 2021. V.21. № 9. Article 2949.
10. Shamagsumova R.V., Shurpik D.N., Kuzin Yu.I. Stoikov I.I., Rogov A.M., Evtugyn G.A. Pillar[6]arene: Electrochemistry and application in electrochemical (bio)sensors // *J. Electroanal. Chem.* 2022. V.913. Article 116281.
11. Mostovaya O., Kulikova T., Mikhailova O., Evtugyn G., Ganeeva I., Bulatov E., Stoikov I. Encapsulation of the quercetin with interpolyelectrolyte complex based on pillar[5]arenes. // *J. Mol. Liquids*. 2022. V.368, P. B. Article 120807.
12. Goida A., Kuzin Y., Evtugyn V., Porfireva A., Evtugyn G., Hianik T. Electrochemical sensing of idarubicin-DNA interaction using electropolymerized azure B and methylene blue mediation. // *Chemosensors*. 2022. V.10. Article 33.
13. Kappo D., Shurpik D., Padnya P., Stoikov I., Rogov A., Evtugyn G. Electrochemical DNA sensor based on carbon black - poly(methylene blue) - poly(neutral red) composite. // *Biosensors*. 2022. V.12. № 5. Article 329.
14. Stepanova V., Shurpik D., Stoikov I., Ivanov A., Evtugyn G. Modeling electropolymerization of methylene blue in the

presence of pillar[6]arene and DNA // J. Electrochem. Soc. 2022. V. 169. Article 127517.

15. Kulikova T.N., Ivanov A. N., Evtyugin G.A. Modeling the characteristics of a polyaniline-DNA film from the voltammetric response of the product of electropolymerization. Russ. J. Electrochem. 2022. V.58. № 10. P. 907-915.

Зав. кафедрой аналитической химии

Казанского (Приволжского) федерального университета,

Профессор, доктор химических наук (02.00.02 – аналитическая химия)



Евтюгин Г.А.

«8» июня 2023 г.

