

ПРОТОКОЛ
Заседания диссертационного совета 24.1.116.01 (Д 002.085.01)
На базе ФГБУН Института синтетических полимерных материалов
им. Н. С. Ениколопова
Российской академии наук

от 24 сентября 2026 года № 8

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ – д.х.н., член-корр. РАН, С.А. Пономаренко
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ – д.х.н. О.В. Борщев

ПОВЕСТКА ДНЯ

Приём к защите диссертации Е.А. Кретовой на тему: «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения, химические науки.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Заседание проводится в удаленном интерактивном режиме.

На основании явочного листа на заседании присутствует 13 членов диссовета из 18, что составляет более 2/3 общего числа членов диссовета, из них очно 10, более 50% от общего числа присутствующих. Необходимый кворум есть.

ФИО	Уч. степень, шифр специальности	Форма участия
Пономаренко С.А.	д.х.н., чл.-корр. РАН 02.00.06	очно
Борщев О.В.	д.х.н. 1.4.7	очно
Акопова Т.А.	д.х.н. 02.00.06	очно
Агина Е.В.	д.х.н. 02.00.06	очно
Зезин А.А.	д.х.н. 02.00.06	очно
Кузнецов А.А.	д.х.н. 02.00.06	очно
Лупоносов Ю.Н.	д.х.н. 1.4.7	очно
Музафаров А.М.	д.х.н., академик РАН 02.00.06	очно
Озерин А.Н.	д.х.н., чл.-корр. РАН 02.00.06	дистанционно
Сергеев В.Г.	д.х.н. 02.00.06	дистанционно
Фельдман В.И.	д.х.н. 02.00.06	дистанционно
Чвалун С.Н.	д.х.н., чл.-корр. РАН 02.00.06	очно
Шевченко В.Г.	д.х.н. 02.00.06	очно
Необходимый кворум есть.		

Экспертная комиссия в составе д.х.н. Лупоносова Юрия Николаевича, д.х.н., академика РАН Музафарова Азиза Мансуровича, д.х.н. Зезина Алексея Александровича, утвержденная решением Диссертационного совета 24.1.116.01 (Д 002.085.01) № 7 от 10 сентября 2026 г., ознакомилась с диссертацией Кретовой Елены Алексеевны на тему «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором».

По результатам рассмотрения диссертации «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором» принято следующее заключение:

Диссертационная работа Кретовой Елены Алексеевны посвящена разработке подходов к созданию рецепторных и узнающих слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором для селективного обнаружения биоаналитов (на примере вируса гриппа А) в растворах, в т.ч. в реальных биологических жидкостях. На основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны подходы к созданию рецепторных и узнающих слоев для жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором (ОПТЭЗ), обеспечивающие высокочувствительное селективное обнаружение и определение содержания вируса гриппа А в растворах электролитов, в т.ч. в реальных биологических жидкостях, таких как плазма крови, слюна, назальный мазок. Предложенные методы биофункционализации поверхности ОПТЭЗ открывают возможность изготовления многоразовых ОПТЭЗ-устройств, а также ОПТЭЗ-устройств для многоцелевого детектирования с использованием одного чипа. Впервые исследовано влияние толщины полупроводникового материала на сенсорные характеристики ОПТЭЗ-устройств. **Установлено**, что тонкий полупроводниковый слой в составе ОПТЭЗ-сенсора с нанесенным поверх него биорецепторным слоем демонстрирует наиболее интенсивный сенсорный отклик на вирус гриппа А, что обеспечивает на порядок большую чувствительность (в 1,5 раза выше) по сравнению с толстым полупроводниковым слоем. **Разработан** подход к созданию биорецепторных слоев ОПТЭЗ с использованием методов клик-химии на примере азид-алкинового взаимодействия. Определено влияние содержания алкиновой компоненты в составе органического полупроводника на морфологию и функциональность полученного биорецепторного слоя; показано, что оптимальным является содержание алкин-содержащей компоненты, равное 10 мас.%. **Изготовлен** биосенсор, обнаруживающий вирус гриппа А в концентрации 3×10^6 вир. частиц/мл. **Разработан** универсальный подход к изготовлению многоразовых аптасенсоров на основе ОПТЭЗ с полимерными трековыми мембранами в качестве одноразовых, легко заменяемых биоузнающих слоев. **Определен** наиболее подходящий размер пор мембраны, равный 60 нм, достаточный для проникновения вирусных частиц и их захвата вблизи токопроводящего слоя. Продемонстрирован предел обнаружения изготовленного аптасенсора 8×10^4 вир. частиц/мл. **Разработан и успешно реализован** подход к изготовлению ОПТЭЗ-аптасенсора, способного к многоцелевому детектированию за счет свойств аптамера, имеющего структуру i-мотив и чувствительного к нескольким анализитам одновременно за счет своей способности изменять конформацию под влиянием внешних факторов, а именно изменения pH. Установлено, что аптамер i-мотив обеспечивает чувствительность ОПТЭЗ к изменению pH среды в биологически значимом диапазоне от 6 до 8, а также чувствительность биосенсора к вирусу гриппа А (при pH 6.0) и к ионам Ag^+ (при pH 7.3).

Актуальность работы

В настоящее время создание универсальных диагностических платформ, способных обнаруживать широкий спектр биологических и химических аналитов в растворах, в т.ч. в биологических жидкостях, является актуальной задачей. Полученные системы могут найти применение в различных областях, например, для ранней диагностики заболеваний человека, сельскохозяйственных животных и растений, а также для выявления загрязнения пищевых продуктов, воды и почвы различными токсинами. Биосенсоры на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором представляют собой одну из универсальных платформ для использования в растворах электролитов, в том числе, в биологических жидкостях, в том числе благодаря их способности эффективно работать при низких напряжениях, чтобы избежать деградации биомолекул в исследуемых средах (слюна, кровь, пот, слеза, сыворотка крови). Главными недостатками, ограничивающими применение ОПТЭЗ-биосенсоров в практике, являются недостаточная стабильность устройств, а также влияние pH и ионной силы исследуемых растворов на воспроизводимость сенсорного отклика. Таким образом, исследование Кретовой Е.А., направленное на разработку и оптимизацию подхода к созданию биорецепторного слоя для обеспечения работы устройства в широком спектре реальных биологических жидкостей, создания ОПТЭЗ-устройств, способных к многократному использованию, а также создания мультисенсорного устройства на одном чипе, является **актуальным**.

Цель диссертационной работы заключалась в разработке подходов к созданию рецепторных (полимерных и низкомолекулярных) слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором для селективного обнаружения и определения содержания различных вирусов в растворах, в т.ч. в биологических жидкостях. В качестве материалов для создания полупроводниковых слоев выбрали органические соединения, имеющие в своем составе сопряженное ядро на основе [1]бензотиено[3,2-В][1]бензотиофена (ВТВТ). Рецепторными слоями служили полимерные и низкомолекулярные производные ВТВТ, содержащие биотинный фрагмент, а также трековые мембраны из полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Узнающими элементами для целевых и контрольных аналитов (вирусы гриппа А и В, болезни Ньюкасла, аллантоисная жидкость) являлись ДНК-аптамеры.

Научная новизна полученных результатов. Впервые исследовано влияние химического строения и метода формирования рецепторного слоя, а также толщины полупроводникового слоя на электрические свойства и сенсорный отклик ОПТЭЗ; Разработан новый подход к нанесению рецепторного слоя ОПТЭЗ с использованием методов «клик»-химии; Разработан и успешно продемонстрирован универсальный подход к изготовлению многоцветных аптасенсоров на основе ОПТЭЗ с использованием трековых мембран в качестве рецепторного слоя; Впервые для изготовления сенсора на основе ОПТЭЗ использован аптамер, имеющий структуру i-мотив, что позволило создать аптасенсор, способный обнаруживать аналиты различной природы при изменении условий детектирования.

Практическая значимость работы заключается в том, что был разработан и успешно продемонстрирован универсальный подход к изготовлению многоцветных

ОПТЭЗ-аптасенсоров с использованием полимерных трековых мембран в качестве дешевых одноразовых элементов для биоузнающих слоев для обнаружения вируса гриппа А в реальной биологической жидкости – назальном мазке. Предел обнаружения разработанного устройства был определен как равный $6 \cdot 10^4$ ВЧ/мл, что превосходит предел обнаружения экспресс-тестов на основе антител ($1 \cdot 10^6 - 4 \cdot 10^8$ вир. частиц/мл), но уступает пределу обнаружения ПЦР-метода ($3 \cdot 10^2 - 1,2 \cdot 10^3$ вир. частиц/мл). Был разработан подход к изготовлению ОПТЭЗ-аптасенсора, способного к многоцелевому обнаружению аналитов с использованием одного чипа, что открывает путь к управлению свойствами биосенсоров на основе ОПТЭЗ и, в будущем, к разработке мультисенсоров на платформе ОПТЭЗ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Идея работы базируется на анализе большого количества публикаций, посвященных методикам изготовления, исследования и применения ОПТЭЗ-биосенсоров;

Полученные экспериментальные результаты подтверждены большим количеством изготовленных образцов (более 100 образцов сенсорных чипов), свойства которых показали высокую воспроизводимость от образца к образцу в идентичных экспериментальных условиях, а также сравнением с большим набором статистических данных;

Использованы известные подходы и методы обработки и интерпретации данных, надежность которых подтверждена в работах многочисленных независимых научных групп;

Установлено качественное соответствие результатов автора с данными, представленными в независимых источниках по данной теме.

Соискатель Кретова Елена Алексеевна по теме диссертации имеет 5 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, из них 2 - в журналах первого квартиля. Результаты проведенного исследования были представлены на 7 международных и российских научных конференциях в виде устных и стендовых докладов.

Опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертационного исследования, в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

В диссертации Кретовой Елены Алексеевны не содержатся сведения, представляющие государственную тайну, сведения, подлежащие засекречиванию, сведения, составляющие служебную или коммерческую тайну, препятствующие открытой публикации.

Личный вклад соискателя состоит в том, что автор принимал личное участие во всех этапах выполнения работы: постановке задач, разработке плана выполнения работ, непосредственном выполнении экспериментальной части, обработке и анализе полученных данных, формулировании заключения и выводов.

Комиссия отмечает, что диссертация Кретовой Е.А. соответствует пунктам 3 и 9 паспорта научной специальности 1.4.7 – «Высокомолекулярные соединения» и отрасли науки – химические.

Заключение

В представленном виде диссертация Кретовой Е.А. соответствует требованиям ВАК и может быть принята к защите Диссертационным советом 24.1.116.01 (Д 002.085.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова» Российской академии наук (ИСПМ РАН).

Постановили:

1. Принять к защите диссертационную работу Кретовой Е.А. на тему: «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения.

2. Утвердить в качестве официальных оппонентов:

Калинину Марию Александровну, доктора химических наук, профессора РАН, главного научного сотрудника Лаборатории биоэлектрохимии Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН), г. Москва;

Федорова Федора Сергеевича, доктора химических наук, доцента Лаборатории наноматериалов Центра фотоники и фотонных технологий Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», г. Москва.

3. Утвердить в качестве ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН), г. Москва.

4. Назначить срок защиты – 26 ноября 2026 года.

5. Утвердить список рассылки автореферата.

6. Разрешить печать автореферата в количестве 120 экземпляров.

Открытым голосованием решение диссертационного совета принимается единогласно.

Председатель диссертационного
совета 24.1.116.01 (Д 002.085.01),
д.х.н., член-корр. РАН



С.А. Пономаренко

Ученый секретарь, д.х.н.



О.В. Борщев

