

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
синтетических полимерных материалов им.
Н.С. Ениколопова Российской академии наук
чл.-корр. РАН, д.х.н.
Пономаренко С.А.
«12» декабря 2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова
Российской академии наук (ИСПМ РАН) по диссертационной работе Кретовой Елены
Алексеевны «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных
биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим
затвором»

Диссертационная работа Кретовой Е.А. «Разработка подходов к созданию
рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых
транзисторов с электролитическим затвором» выполнена в Институте синтетических
полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН) в Лаборатории
молекулярных сенсорных технологий и устройств.

Тема диссертации была утверждена на заседании Ученого совета Института
синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (Протокол № 12 от
22.11.22). В диссертационной работе использованы результаты, полученные при
финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Госзадания (темы FFMSM-2022-0001,
FFSM-2025-0001), а также Российского научного фонда (проекты № 23-73-00103 и 19-73-
30028-П).

Кретова Е.А. в 2018 году окончила бакалавриат, а в 2020 году магистратуру
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Донецкий государственный университет» по направлению «Химия». В 2022
году поступила в аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской
академии наук. В настоящее время является младшим научным сотрудником Лаборатории
молекулярных сенсорных технологий и устройств ИСПМ РАН.

Научный руководитель:

Агина Елена Валериевна, Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской

академии наук (ИСПМ РАН), Отдел органической электроники, заведующий лабораторией молекулярных сенсорных технологий и устройств, доктор химических наук.

Диссертационная работа была заслушана на заседании Ученого совета ИСПМ РАН (Протокол № 15 от 11.12.2025 г.)

На заседании присутствовало 14 членов ученого совета:

Академик РАН, д.х.н. Музафаров А.М., чл.-корр. РАН, д.х.н. Пономаренко С.А., чл.-корр. РАН, д.х.н. Озерин А.Н., д.х.н. Агина Е.В., д.х.н. Кузнецов А.А., д.х.н. Шевченко В.Г., д.х.н. Зезин А.А., д.х.н. Борщев О.В., д.х.н. Евтушенко Ю.М., к.х.н. Литвинов А.Е., к.х.н. Гетманова Е.В., д.х.н. Аكوпова Т.А., к.х.н. Миленин С.А., к.х.н. Хавпачев М.А.

21 научный сотрудник ИСПМ РАН: м.н.с. Талалаева Е.В., м.н.с. Кретова Е.А., к.х.н. Труль А.А., к.х.н. Пойманова Е.Ю., к.х.н. Чуйко И.А., к.х.н. Тарасенко С.А., м.н.с. Зиновьев А.В., м.н.с. Борисов К.М., к.х.н. Катаржнова Е.Ю., м.н.с. Борисова Д.М., м.н.с. Мешков И.Б., к.х.н. Хмельницкая А.Г., м.н.с. Шкинев П.Д., м.н.с. Яхонтов Н.Г., м.н.с. Лисенков К.В., к.х.н. Тарасенков А.Н., м.н.с. Титова Я.О., Коваленко Д.А., к.х.н. Городов В.В., к.т.н. Казарян Г.С., к.х.н. Гудкова И.О.

Слушали выступление Кретовой Е.А. «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором».

В ходе обсуждения диссертанту были заданы следующие вопросы:

К.х.н. Миленин С.А.: Вы говорите, что у Вас создан подход по введению на поверхность биотина (клик-химия), а используется всего одна реакция. Разве можно говорить о создании подхода? Остается ли медь на поверхности, как доказываете, что меди там нет? Как доказываете, что присоединение прошло полностью? Использовали ли ИК-спектроскопию?

Д.х.н. Зезин А.А.: Для чего использовали ионы серебра (не меди, золота)? Что произойдет с мультисенсором, если понизить pH? Это свободные ионы серебра или в виде аквакомплекса?

Чл.-корр. РАН Пономаренко С.А.: В чем разница использования понятий рецепторные и узнающие слои? Как транзистор работает без полупроводника, в чем механизм?

Д.х.н. Кузнецов А.А.: На каком совете планируется защита? Нужно отразить вклад в полимерную химию, привести формулы использованных полимеров, графики зависимостей угла смачивания. Почему отклик зависит от размера пор? Почему линейная

зависимость наблюдается только на 60 нм? На чем основано предположение, что размер вируса должен обязательно совпадать с порами?

Зиновьев А.В.: Какая была толщина рецепторного слоя?

Д.х.н. Борщев О.В.: Формулировка названия «Подход к созданию рецепторных и узнающих слоев» больше отражает подбор методов, чем влияние слоя на свойства сенсоров, возможно, нужно скорректировать название? И нужно подчеркнуть полимерную часть работы.

В обсуждении приняли участие:

Д.х.н., зав.лаб., Агина Е.В.: Елена Алексеевна принимала личное участие во всех этапах выполнения экспериментальной части работы: в постановке эксперимента, полном цикле изготовления всех сенсорных устройств на основе ОПТЭЗ, сборе экспериментальных данных и их анализе с последующим обсуждением результатов и формулировкой выводов. Также Елена принимала личное участие в написании всех публикаций по теме своей диссертации.

Достоверность полученных Еленой Алексеевной результатов подтверждается высокой сенсорной чувствительностью и специфичностью разработанных устройств, многократным воспроизведением полученных результатов, а также четырьмя публикациями в высокорейтинговых журналах первого-второго квартиля по Web of Science и одной в российском журнале Известия РАН. Серия Химическая.

Новизна полученных в ходе выполнения диссертации результатов не вызывает сомнений, что подтверждается проведенным диссертантом серьезным анализом мировой литературы и публикацией полученных результатов в ведущих мировых журналах (Journal of Material Chemistry B, Chemosensors). Практическая значимость определяется доказанной возможностью применения разработанных ОПТЭЗ-биосенсоров в реальных биологических жидкостях: назальном мазке, слюне, плазме крови.

Научные работы соискателя Кретовой Е.А., несомненно, имеют высокую ценность и предлагают новые, оригинальные возможности развития отрасли сенсорных технологий.

Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание кандидата химических наук, и научной специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения» (химические науки).

Материалы диссертации полностью изложены в опубликованных работах.

По моему мнению, для оформления заключения организации, в которой выполнялась работа, есть все основания. Работа соответствует всем требованиям и может быть рекомендована к защите.

Чл.-корр. РАН Пономаренко С.А.: По паспорту специальности: п.3. «Основные признаки и физические свойства линейных, разветвленных, в том числе сверхразветвленных, и сетчатых полимеров, их конфигурация (на уровнях: звена, цепи, присоединения звеньев, присоединения блоков) и конформация. Учет влияния факторов, определяющих конформационные переходы. Роль межфазных границ. Надмолекулярная структура и структурная модификация полимеров» - подходит;

п. 9. «Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники» - тоже подходит. Тут речь о полимерных материалах как о физическом материале, а не о макромолекуле.

Акад. РАН Музафаров А.М.:

Покажите, пожалуйста, список публикаций. Я считаю, что пп. 3 и 9 паспорта специальности соответствуют этой работе. Работа выполнена, статьи опубликованы. Это аспирантская работа. Показывает ли она, что достигнут необходимый образовательный уровень, и квалификационно соответствует ли работе на соискание степени кандидата наук? Да, соответствует. По поводу паспорта специальности, на любом совете спорные вопросы будут приняты в пользу этой работы. Здесь абсолютно нет принципиального момента, который вызывает споры.

Чл.-корр. РАН Пономаренко С.А.:

Нужно прояснить некоторые вопросы, четче прописать цель и защищать на нашем совете. 3 и 9 пункты подходят. п.9 абсолютно подходит, п.3 в какой-то части, особенно в «клик»-химии. Да, это модификация полимерных материалов. Это подходит. Я считаю, что работу нужно защищать, и лично я буду голосовать «за».

Личный вклад автора. Автор принимал личное участие во всех этапах выполнения работы: от постановки задачи, формирования плана работ и выполнения экспериментальной части до анализа полученных данных, обсуждения результатов и подведения итогов. Автор лично разработал подходы и осуществил полный цикл изготовления всех описанных в работе сенсорных устройств, исследовал морфологию их функциональных слоев, изучил электрические и сенсорные свойства, в т.ч. в реальных биологических жидкостях.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов подтверждена многократным воспроизведением полученных результатов в нескольких сериях экспериментов, а также большим набором накопленных статистических данных, подтверждающих правильный выбор методик изготовления и исследования ОПТЭЗ-

биосенсоров и их воспроизводимую работу. Все полученные в работе результаты опубликованы в высокоцитируемых журналах, входящих в перечень ВАК и базу данных Web of Science, и прошли тщательную проверку рецензентов указанных журналов.

Научная новизна. 1) Впервые исследовано влияние метода нанесения биоузнающего слоя и его толщины на электрические свойства и сенсорный отклик ОПТЭЗ; 2) Разработан новый подход к нанесению биоузнающего слоя ОПТЭЗ с использованием методов «клик»-химии; 3) Разработан и успешно продемонстрирован универсальный подход к изготовлению многоразовых аптасенсоров на основе ОПТЭЗ с использованием трековых мембран для создания узнающего слоя; 4) Впервые для изготовления сенсора на основе ОПТЭЗ использован аптамер, имеющий структуру i-motif, что позволило создать аптасенсор, способный детектировать аналиты различной природы при изменении условий детектирования.

Практическая значимость работы. Разработанные подходы к изготовлению узнающих слоев ОПТЭЗ открывают возможности к созданию жидкостных биосенсоров на основе таких ОПТЭЗ, способных обнаруживать широкий спектр биологических и химических аналитов, в т.ч. в реальных биологических жидкостях с использованием одного чипа. Разработка многоразового ОПТЭЗ-аптасенсора позволит значительно удешевить производство таких устройств без изменения набора анализируемых веществ. Представленные в работе подходы открывают путь к изготовлению универсальных, миниатюрных, многоразовых мультисенсоров для простого, недорогого экспресс-обнаружения широкого спектра аналитов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности: материалы диссертации соответствуют следующим направлениям паспорта научной специальности 1.4.7. «Высокомолекулярные соединения»:

3. Основные признаки и физические свойства линейных, разветвленных, в том числе сверхразветвленных, и сетчатых полимеров, их конфигурация (на уровнях: звена, цепи, присоединения звеньев, присоединения блоков) и конформация. Учет влияния факторов, определяющих конформационные переходы. Роль межфазных границ. Надмолекулярная структура и структурная модификация полимеров.

9. Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники.

Полнота изложения материалов диссертации. Результаты работы были представлены на 7 международных и российских научных конференциях в виде устных и стендовых докладов: Международных Школах по органической электронике: IFSOE-2023, IFSOE-2024 (Москва, 2023, Московская обл., 2024); Международной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела» (Минск, 2023); Всероссийской научной конференции МФТИ (Москва, 2024); Всероссийских Школах-конференциях по биосовместимой электронике и робототехнике (Каспийск, 2023, Петрозаводск, 2024, Псков, 2025)

По теме диссертации опубликовано 5 научных статей в рецензируемых российских и зарубежных журналах, рекомендованных ВАК:

1. P.A. Shaposhnik, E.Y. Poimanova, A.A. Abramov, A.A.Trul, D.S. Anisimov, E.A. Kretova, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko. Applying of C8-BTBT-based EGOFETs at different pH values of the electrolyte // Chemosensors – 2023. - Vol. 11. – P.74. (IF=3.7)
2. E.Y. Poimanova, E.G. Zavyalova, E.A. Kretova, A.A. Abramov, A.A.Trul, O.V. Borshchev, A.K. Keshek, S.A. Ponomarenko, E.V. Agina. Quantitative Detection of the Influenza a Virus by an EGOFET-Based Portable Device // Chemosensors – 2023. - Vol. 11. – P.464. (IF=3.7).
3. E.Y. Poimanova, E.A. Kretova, A.K. Keshek, E.V. Andreev, A.N. Nechaev, K.A. Prusakov, K.G. Aldarov, D.V. Basmanov, A.I. Akhmetova, I.V. Yaminsky, S.A. Ponomarenko, E.G. Zavyalova, E.V. Agina. A universal approach to the fabrication of reusable EGOFET-based aptasensors with track-etched membranes for biorecognition layers// J. Mater. Chem. B – 2025. - Vol. 13. – P.4681-4692. (IF=5.8).
4. Е.А. Кретьова, Е.Ю. Пойманова, М.С. Скоротецкий, Е.Г. Завьялова, С.А. Пономаренко, Е.В. Агина. Биорецепторный слой, полученный методом «клик»-химии на поверхности органических полевых транзисторов с электролитическим затвором // Известия Академии наук. Серия химическая – 2025. – Т. 74, №11. – с. 3589-3601. (IF=1.7).
5. E.Y. Poimanova, E.A. Kretova, A.K. Keshek, A.T. Trul, E.G. Zavyalova, E.V. Agina. Single-chip multitarget detection by EGOFET-based aptasensor // J. Mater. Chem. B – 2026. – Vol. 14. – P. 2543-2555. (IF=5.8).

По итогам заседания Ученого совета принято следующее заключение:

Диссертационная работа Кретьовой Е.А. «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, утвержденного

постановлением Российской Федерации от 24 сентября 2013 №842 и приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2017 года № 1093, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения (химические науки)». По итогам заседания Ученого совета было принято решение рекомендовать диссертационную работу Кретовой Е.А. «Разработка подходов к созданию рецепторных слоев жидкостных биосенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором» с учетом высказанных замечаний к защите на диссертационном совете 24.1.116.01 (Д 002.085.01) при ФГБУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения (химические науки)».

Ученый секретарь ИСПМ РАН,
к.х.н.



Гетманова Е.В.