

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.1.029.01 (Д002.034.01) НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН), Г. САНКТ-
ПЕТЕРБУРГ**

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение Диссертационного совета от «16» мая 2025 г. № 8

о присуждении Афоничевой Полине Константиновне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка микрофлюидных устройств с интегрированными твердотельными наноструктурами для регистрации биомолекул» по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 14.02.2025 г, протокол № 5, Диссертационным советом 24.1.029.01 (Д002.034.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.31-33, лит. А, приказ от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель: Афоничева Полина Константиновна, 1993 года рождения, в 2017г. окончила «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» по специальности/направлению 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». Диплом магистра № 107824 3202335, выдан 30.06.2017.

Афоничева Полина Константиновна обучалась в аспирантуре с 01.10.2018 по 30.09.2022 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН) по специальности 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики.

С 2018 года по настоящее время Афоничева Полина Константиновна работает младшим научным сотрудником, а затем инженером в лаборатории информационно-измерительных био- и хемосенсорных систем Института аналитического приборостроения РАН (ИАП РАН).

Диссертация выполнена в ИАП РАН.

Научный руководитель: Евстапов Анатолий Александрович, доктор технических наук, в настоящее время директор Института аналитического приборостроения РАН.

Официальные оппоненты:

Курочкин Илья Николаевич, доктор химических наук, профессор, директор Института биохимической физики имени Н.М. Эмануэля Российской академии наук представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания:

- 1) В качестве замечаний по этой части работы (первой главе) можно отметить не полную корректность использования термина «концентрация соли» при описании двойного электрического слоя (стр. 29, 30, подпись к рис. 1.4.). Более корректно использовать термин «ионная сила раствора». Мне не совсем понятно утверждение на стр.37 «захват однонитевых ДНК происходит только за счет значительного снижения энтропии». Как снижение энтропии способствует захвату? На стр. 52 утверждается, что изоэлектрическая точка нанопористого материала нитрида кремния около 5. Как же производится измерение изоэлектрической точки этого материала?
- 2) В заключении к главе 2 (стр.76, 77) приведены параметры наноканалов и плотности тока, значения которых не подтверждены экспериментальными данными в основной части главы.
- 3) В заключении к главе 3 (стр.98) приведено значение эффективного диаметра пор - 5 нм, но в основном тексте главы я не нашел экспериментов для других значений диаметра пор. Почему же это значение называется оптимальным?
- 4) На странице 105 не указано какого размера пора была использована в эксперименте.
- 5) Чем эксперимент, данные которого приведены на рис. 4.6, отличается от эксперимента, данные которого приведены на рис.4.7?
- 6) На стр.112 делается вывод о влиянии длины молекул ДНК на продолжительность транслокации. Это не вполне корректно. Молекулы ДНК размером в 500 п.о. /пар оснований/ - это практически линейная структура. А вот молекулы ДНК размером 5000 и 10000 п.о. представляют собой скорее глобулы (статистические клубки). Поэтому корректнее говорить о молекулярной массе ДНК.
- 7) Было бы удобно и очень информативно свести результаты по транслокации ДНК в таблицу, где можно было бы указать три усредненных параметра: продолжительность транслокации, пиковая амплитуда, количество транслокаций и координаты «центра тяжести».

Спивак Юлия Михайловна, доктор технических наук, доцент кафедры Микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» представила на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания:

- 1) В работе указано, что разработанная конструкция многоразового микрофлюидного устройства с наноканалами, герметизированными

методом анодного сваривания, позволяет повысить устойчивость к воздействию агрессивных сред, т.е. таким образом расширить диапазон выбора состава рабочих жидкостей. Было бы полезно для практического применения указать более конкретно ограничения по выбору состава, концентрации компонентов рабочей жидкости, ее вязкости;

- 2) Из текста автореферата остается неясным обоснование выбора геометрических размеров наноканала-нанопоры (длина 40 нм, диаметр 5 нм) в SiNx/Si мембране. Как будут влиять геометрические размеры такого наноканала на детектирование транслокаций фрагментов ДНК?
- 3) Не очень корректно, на мой взгляд, применение термина «нанопора» к единичному наноотверстию, учитывая, что существует общепринятая международная классификация ИЮПАК (IUPAC), в которой проводится разделение всех пористых материалов на микро-, мезо- и макропоры;
- 4) Было бы полезно сравнение характеристик разработанных микрофлюидных устройств с современными аналогами (российскими, зарубежными).

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины имени академика Ю.М. Лопухина Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУ ФНКЦ ФХМ им. Ю.М. Лопухина ФМБА России) в своем положительном заключении, утвержденном Генеральным директором Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины имени академика Ю.М. Лопухина Федерального медико-биологического агентства», членом-корреспондентом РАН, доктором биологических наук, профессором Лагарьковой Марией Андреевной, подписанном Басмановым Дмитрием Викторовичем, руководителем Центра технологий и микрофабрикации ФГБУ ФНКЦ ФХМ им. Ю.М. Лопухина ФМБА России и Беспятых Юлией Андреевной, кандидатом биологических наук, руководителем Центра молекулярной медицины и диагностики, заведующей лабораторией молекулярной медицины ФГБУ ФНКЦ ФХМ им. Ю.М. Лопухина ФМБА России указала, что диссертация Афоничевой П.К. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2, и отметила следующие замечания:

- 1) Отсутствует раздел «материалы и методы». Используемые материалы и описание методов приведено в каждом разделе совместно с результатами, что не совсем корректно. Правильнее было бы сделать полноценный раздел.

- 2) В тексте диссертации отсутствуют упоминания коллег, с которыми были выполнены те или иные этапы исследования. Между тем, судя по публикациям, на которые ссылается диссертант, в некоторых разделах, работы проводились совместно с другими исследователями. Благодарности, указанные отдельным пунктом, не являются сопоставимым обозначением причастности к выполнению данной работы.
- 3) Подписи к рисункам не имеют единообразия. Некоторые подписи неполно отражают содержание некоторых рисунков.
- 4) Рисунок 4.4. некорректный. Отсутствует маркер длины фрагментов. Изображение представлено вверх ногами и из-за этого неверно подписаны размеры длин.
- 5) Отсутствуют выводы. В заключении представлены кратко результаты работы.
- 6) Не совсем ясно, почему в работе часть экспериментов, касающихся выделения ДНК на магнитных частицах с использованием микрофлюидного чипа, представлена в конце диссертации. Такое представление делает главу логически обособленной и трудно объединяемой с основной темой диссертации. Хотя сама работа по разработке микрофлюидной экстракции нуклеиновых кислот в чипе, несомненно, является важной на пути создания нанопорового биосенсора. Не представлено сравнение методики микрофлюидной экстракции нуклеиновых кислот с автоматическим выделением на станциях, что было бы корректнее сравнения с ручной методикой выделения.

Соискатель имеет **20 (двадцать)** опубликованных работ, индексируемых в базах SCOPUS и Web of Science, из них по теме диссертации **12 (двенадцать)**, в т.ч. из Перечня ВАК **5 (пять)**.

К наиболее значительным работам, отражающим основное содержание диссертации, относятся 12 (двенадцать) публикаций, опубликованных в журналах, состоящих в Перечне ВАК:

1. **Afonicheva P.K.**, Esikova N.A., Tupik A.N., Evstrapov A.A. Magnetic beads-based nucleic acids extraction in microfluidic chip // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2019. Vol. 1400, №. 3. P. 033012.
2. **Afonicheva P.K.**, Zubik A.N., Bulyanitsa A.L., Rudnitskaya G.E., Evstrapov A.A. Multichamber hybrid microfluidic chips for nucleic acids detection by qPCR assay // Journal of Physics: Conference Series (JPCS), 2020. Vol. 1695. P. 012060.
3. Lebedev D., Malyshev G., Ryzhkov I., Mozharov A., Shugurov K., Sharov V., Panov M., Tumkin I., **Afonicheva P.**, Evstrapov A., Bukatin A., Mukhin I. Focused ion beam milling based formation of nanochannels in silicon-glass

microfluidic chips for the study of ion transport // *Microfluidics and Nanofluidics*, 2021. Vol. 25, №. 6. P. 1-10.

4. **Afonicheva P.K.**, Lebedev D.V., Bukatin A.S., Mukhin I.S., Evstrapov A.A. Creation of micro- and nanochannels on the surface of silicon chips by lithography methods and investigation of ion transport in channel // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2021. Vol. 2103, №. 1. P. 012112.

5. Koryakina I. G., **Afonicheva, P. K.**, Arabuli K. V., Evstrapov A. A., Timin A. S., Zyuzin M. V. Microfluidic synthesis of optically responsive materials for nano-and biophotonics // *Advances in Colloid and Interface Science*, 2021. Vol. 298. P. 102548.

6. **Afonicheva P.K.**, Vaulin N.V, Lebedev D.V., Bukatin A.S., Mukhin I.S., Evstrapov A.A., Investigation of ion transport in solid-state nanopores upon optical radiation // *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics*, 2023. Vol. 16, №1.1. P. 389–392.

7. Vaulin N.V, **Afonicheva P.K.**, Lebedev D.V., Bukatin A.S., Mukhin I.S., Study of ion transport in single solid state nanopores formed by optical and ion lithography // *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics*. 2023. Vol.16, №1.1. P.385–388.

8. Ваулин Н.В., **Афоничева П.К.**, Лебедев Д.В., Букатин А.С., Мухин И.С., Евстрапов А.А. Исследование фотоиндуцированных процессов в единичных твердотельных нанопорах с интегрированными плазмонными структурами // *Физика твердого тела*, 2023. Т.12. С. 2201

9. **Афоничева П.К.**, Ваулин Н.В., Лебедев Д.В., Букатин А.С., Мухин И.С., Евстрапов А.А. Влияние оптического излучения различной длины волны на транспортные характеристики тонких SiN-мембран с интегрированными единичными нанопорами // *Письма в журнал технической физики*, 2023. Т. 23. С. 35.

10. Lebedev D. V., Vaulin N. V., **Afonicheva P. K.**, Vorobyov A. A., Mozharov A. M., Sharov V. A., Mikhailovskii V. Yu, Kirilenko D. A., Permyakov D.V. , Logunov L. S., Ivanov Yu. D., Ryzhkov I. I., Bukatin A. S., Evstrapov A. A., Makarov S. V., Mukhin, I. S. Ultra-Low Intensity Light-Driven Ionic Conductivity through a Plasmonic Nanopore // *ACS Applied Nano Materials*. 2024. Vol. 7, №.14, P. 16172–16181

11. **Афоничева П.К.**, Ваулин Н.В., Лебедев Д.В., Букатин А.С., Кириленко Д.А., Аблеев А.Н., Иванов Ю.Д., Мухин И.С., Евстрапов А.А. Электрохимическое детектирование одиночных молекул ДНК с помощью твердотельной нанопоры // *Научное приборостроение*, 2024. Т.34, № 4, С. 34–42

12. Ivanov Y.D., Vinogradova A.V., Nevedrova E.D., Ableev A.N., Kozlov A.F., Shumov I.D., Ziborov V.S., Afonin O.N., Vaulin N.V., Lebedev D.V., Bukatin A.S., **Afonicheva P.K.**, Mukhin I.S., Usanov S.A., Archakov A.I. Solid-State Nanopore-Based Nanosystem for Registration of Enzymatic Activity of a Single Molecule of Cytochrome P450 BM3 // *International Journal of Molecular Sciences*, 2024. Vol. 25, №. 19. P. 10864.

На автореферат диссертации поступили следующие отзывы:

1) От доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Института спектроскопии Российской академии наук Мелентьева Павла Николаевича (г. Троицк)

Замечания:

1. Несомненно, впечатляет продемонстрированная возможность формирования наноканалов с гигантским аспектным соотношением: шириной 50 нм, глубиной 10 нм и длиной 10 мкм при довольно малом времени травления, равном 10 с. Получаемые структуры охарактеризованы методами АСМ и РЭМ, однако, в автореферате не указана точность измерений глубины наноканалов, и насколько эта глубина сохраняется по всей длине наноканала. Какие зонды АСМ использовались для этого и как размеры зонда могли повлиять на полученные значения глубины наноканала? Каково значение максимальной глубины наноканала (шириной 50 нм), которую возможно измерить с помощью использованных АСМ зондов?
2. В автореферате не приведён анализ проблемы неспецифичных связываний молекул аналита на поверхности мембраны. Может ли такое связывание повлиять на разрабатываемый метод электрохимического детектирования одиночных молекул ДНК?
3. В автореферате указано, что определён эффективный диаметр нанопоры при концентрации электролита 1М, равный ~5 нм, что хорошо согласуется с результатами ПЭМ. Указан только оптимальный диаметр, но не указано из каких значений диаметров был сделан выбор.
4. Разрабатываемая методика представляет большой интерес для одномолекулярного секвенирования ДНК с использованием нанопор. Толщина мембраны, в которой изготовлена нанопора, напрямую влияет на точность определения единичных нуклеотидов. Какую минимальную толщину мембраны можно изготовить развитым методом? В автореферате нет этого обсуждения.

2) От доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника физического факультета Университета ИТМО (Санкт-Петербург) Зюзина Михаила Валерьевича.

Замечания:

1. Не хватает информации о диапазоне рабочих напряжений, используемых в эксперименте.
2. На рисунке 12б (стр. 18) гистограмма, соответствующая фрагментам ДНК 500 п.о., визуально плохо различима. Кроме того, понятно, что было проведено сравнение медианных времен продолжительности транслокаций для фрагментов 500 и 5000 п.о., как робастных (устойчивых к выбросам) оценок. Однако, имело бы смысл для сравнения привести также и оценки математических ожиданий

(выборочных средних значений соответствующих группированных выборок).

3) От кандидата биологических наук, научного директора ООО «НПФ Синтол» (Москва) Алексеева Якова Игоревича
Без замечаний

4) От кандидата технических наук, младшего научного сотрудника лаборатории Возобновляемых источников энергии Санкт-Петербургского Академического университета им. Ж.И. Алферова Филатова Никиты Алексеевича.

Замечания:

- 1.оборот (стр. 12) «результаты изменились лишь на 10%» представляется стилистически неудачным. Лучше было бы «измеренные значения изменились на 10%».
2. На рисунке 5б (стр.12) в подписи использованы термины «экспериментальная и теоретическая зависимости». В то же время, в легенде рисунка указаны «эксперимент и модель». Все-таки, понятия модели и теоретической зависимости не равносильны.

5) От кандидата технических наук, доцента, директора НОЦ «Функциональные Микро/Наносистемы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва) Родионова Ильи Анатольевича.

Замечания:

1. В автореферате не отражен уровень достоверности (статистическая значимость) проведенных экспериментальных исследований, характеризующих различие событий перехода через нанопору цепочек ДНК длиной 500, 5000, 10000 п.о.;
2. Недостаточно раскрыт вопрос оптимизации параметров технологии травления для массового производства устройств;
3. На рисунках присутствуют надписи без перевода на русский язык, а в тексте встречаются опечатки.

6) От ведущего специалиста АО «Светлана-Электронприбор» (Санкт-Петербург) Гусева Виктора Сергеевича
Без замечаний

7) От кандидата физико-математических наук, директора общества с ограниченной ответственностью «Айвок» (г. Зеленоград), старшего научного сотрудника ФГБУ "Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи" Долгушина Сергея Анатольевича

Замечания:

- 1) Не представлено обоснование, почему диаметр поры был выбран равным именно 5 нм.
- 2) На рис. 5б и 9б не указано, какая именно теоретическая модель использовалась, кроме того, на рис 9б и 12б не представлены погрешности экспериментальных измерений.

Все отзывы на автореферат диссертации положительные.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их большим опытом работы в областях разработки сенсоров, в том числе, для обнаружения биомолекул, а также физики и химии нанобъектов и биотехнологии, что подтверждается публикациями, в которых рассматриваются вопросы, связанные с тематикой диссертационного исследования соискателя.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложен новый способ создания многоразовых кремний-стеклянных микрофлюидных устройств с наноканалами заданной геометрии и контролируемыми размерами, в котором используется метод анодного сваривания, что позволяет получить конструкции устойчивых к давлению до 202,65 кПа и действию агрессивных сред (некоторые кислоты и щелочи);

показана возможность формирования методом травления сфокусированным ионным лучом наноканалов шириной 50 нм, глубиной 10 нм и длиной 10 мкм при времени травления порядка 10 с;

методом измерения ионной проводимости **выполнено** исследование транспортных свойств наноканалов в изготовленных микрофлюидных устройствах;

подтверждено наличие диффузионного потока жидкости через сформированные наноканалы, а также герметичность устройств;

предложена конструкция электрохимической ячейки с SiN_x/Si мембраной с одиночной нанопорой, с помощью которой **проведены** исследования по обнаружению единичных молекул (фрагментов ДНК);

описан протокол подготовки электрохимической ячейки для проведения исследований ионного и молекулярного транспорта, в результате проведения которых **выявлен** нелинейный характер зависимости удельной проводимости от концентрации электролита;

показана возможность детектирования одиночных фрагментов ДНК с помощью разработанной электрохимической ячейки, содержащей твердотельную нанопору, а также способность различать фрагменты ДНК разных размеров.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов:

подтверждена гипотеза влияния двойного электрического слоя на зарядовую селективность нанопоры на основе полученной нелинейной зависимости проводимости нанопоры от концентрации электролита KCl в диапазоне концентраций от 0,1 мМ до 1 М;

получена оценка эффективного диаметра нанопоры при концентрации 1М раствора KCl, которая составила 5 нм, что хорошо **согласуется** с результатами измерений на просвечивающем электронном микроскопе;

предложена новая процедура анализа данных, которая использовалась для обнаружения фрагментов ДНК длиной 10000 п.о. в пробе, построения зависимости амплитуды транслокаций от их длительности и оценки частоты событий.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Разработан и апробирован способ создания многоразовых кремний-стеклянных МФУ с наноканалами контролируемых размеров (шириной порядка 50 нм, глубиной порядка 10 нм, длиной до 10 мкм).

Практическое применение: Устройства могут быть основой для создания высокочувствительного биосенсора для обнаружения биомолекул с использованием наноразмерных функциональных структур (в частности, наноканалов), интегрированных в микрофлюидную систему. Способ может быть использован для создания микрофлюидного устройства с селективным транспортом для биомедицинских применений.

Преимущество: Герметизация анодным свариванием обеспечивает сохранение свойств устройства на срок не менее трех месяцев, устойчивость к давлению до величин порядка 200 кПа и действию агрессивных сред (некоторые кислоты и щелочи).

2. Разработана и апробирована конструкция электрохимической ячейки с SiN_x/Si мембраной с одиночной нанопорой, а также протокол подготовки электрохимической ячейки для экспериментальных исследований.

Практическое применение: Устройство позволяет проводить исследования ионного транспорта и детектирование одиночных молекул (фрагментов ДНК).

Преимущество: Внедренные технические решения обеспечивают герметичность системы, препятствуя загрязнению и образованию пузырей газа в процессе заполнения ячейки и проведения эксперимента, а также получение стабильных и воспроизводимых результатов.

3. Продемонстрирована возможность электрохимического детектирования одиночных молекул ДНК с помощью разработанной

электрохимической ячейки с твердотельной нанопорой, а также способность различать фрагменты ДНК разных размеров.

Практическое применение: Полученные результаты могут быть основой для создания твердотельного нанопорового сенсора для решения аналитических задач.

Преимущество: Электрохимический метод детектирования отличается простотой реализацией и доступностью для научно-исследовательских лабораторий, а реализованная конструкция прототипа устройства может быть легко тиражирована с применением микроэлектронных технологий и 3D-печати.

Полученные в ходе выполнения работы результаты представляют интерес для научных и образовательных организаций, занимающихся разработкой и производством биологических сенсоров, таких как:

- 1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук (г. Москва);
- 2) Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича» (г. Москва);
- 3) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (г. Москва, г. Троицк);
- 4) Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (г. Москва);
- 5) ООО «НПФ СИНТОЛ» (г. Москва);
- 6) ООО "НАНОПОРУС" (г. Серпухов);
- 7) Центр Технологий и Микрофабрикации (г. Одинцово);
- 8) АО «Светлана-Электронприбор» (г. Санкт-Петербург);
- 9) Троицкий инженерный центр (г. Москва, г.Троицк).

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что научные положения, выводы и результаты, содержащиеся в диссертации, подтверждаются использованием признанных, апробированных и обоснованных физических методов, комплексным характером выполненных экспериментов и исследований с использованием лицензионных программных пакетов, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных данных. Достоверность экспериментальных данных обеспечена использованием метрологически поверенного оборудования. Результаты эксперимента хорошо согласуются с теоретическими оценками.

Основные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- 1) Международная конференция "Физика.СПб" 22-24 окт. 2019 (СПб, Россия).
- 2) Saint-Petersburg OPEN2020" 26-30 April 2020 (St.Petersburg, Russia), Международная конференция "Физика.СПб" 18–22 окт. 2021 (СПб, Россия).
- 3) Международная конференция "Физика.СПб" 17–21 окт. 2022 (СПб, Россия).
- 4) I ежегодная всероссийская молодежная конференции по методам и приборам для анализа биологических объектов «АналитБиоПрибор-2022» (СПб, Россия).
- 5) XV Юбилейная всероссийская научная конференция (с международным участием «МЕМБРАНЫ-2022» (Москва, Россия).
- 6) International conference «Ion transport in organic and inorganic membranes-2023» 22 – 27 May, 2023 (Sochi, Russia).
- 7) Всероссийская конференция по электрохимии с международным участием «ЭЛЕКТРОХИМИЯ-2023» 23-27 Октября 2023 (Москва, Россия).
- 8) II ежегодная всероссийская молодежная конференция по методам и приборам для анализа биологических объектов «АналитБиоПрибор-2023» (СПб, Россия).
- 9) III ежегодная всероссийская молодежная конференция по методам и приборам для анализа биологических объектов «АналитБиоПрибор-2024» (СПб, Россия).

Личный вклад соискателя:

- Анализ литературных источников по теме диссертации
- Участие в разработке и изготовлении кремний-стеклянного микрофлюидного устройства (технология реализована на предприятии «Светлана-Электронприбор»).
- Проведение экспериментов по исследованию транспортных свойств наноканалов методом измерения ионной проводимости и методом конфокальной оптической микроскопии.
- Разработка и создание измерительной электрохимической ячейки (совместно с сотрудниками Санкт-Петербургского Академического университета им. Ж.И. Алферова).
- Разработка протокола ее подготовки, а также протокола для изучения механизмов селективного ионного транспорта в твердотельных нанопорах.
- Проведение экспериментальных исследований селективного ионного транспорта в твердотельных нанопорах и наноканалах (совместно с сотрудниками Санкт-Петербургского Академического университета им. Ж.И. Алферова).

- Проведение экспериментальных исследований транслокаций фрагментов ДНК разной длины с использованием разработанной измерительной электрохимической ячейки и протокола.
- Обработка и анализ результатов исследований транслокации фрагментов ДНК.
- Подготовка научных публикаций по тематике исследования.
- Представление результатов работы на конференциях.

На заседании 16 мая 2025 года Диссертационный совет принял решение присудить **Афоничевой Полине Константиновне** ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **15** докторов наук, участвовавших в заседании, из **21** человека входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: за – **15**, против – **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Председатель
Диссертационного совета
д.т.н., профессор



В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
Диссертационного совета
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница

Дата оформления заключения
16 мая 2025 г.
М.П.