

Протокол № 299

заседания диссертационного совета 24.2.288.07 по защите
от 10.12.2025 г.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 22 человек.
Присутствовали на заседании 15 человек.

Председатель: д.хим.наук, профессор Семенов Виктор Николаевич

Присутствовали:

1. Д.х.н., проф. Семенов Виктор Николаевич (1.4.15. Химия твердого тела)
2. К.х.н., доц. Столповская Надежда Владимировна (1.4.3. Органическая химия)
3. Д.х.н., проф. Бутырская Елена Васильевна (1.4.2. Аналитическая химия)
4. Д.х.н., проф. Завражнов Александр Юрьевич (1.4.15. Химия твердого тела)
5. Д.х.н., проф. Зяблов Александр Николаевич (1.4.2. Аналитическая химия)
6. Д.х.н., доц. Кострюков Виктор Федорович (1.4.15. Химия твердого тела)
7. Д.х.н., доц. Козадеров Олег Александрович (1.4.3. Органическая химия)
8. Д.х.н., доц. Крысин Михаил Юрьевич (1.4.3. Органическая химия)
9. Д.х.н. Паршина Анна Валерьевна (1.4.2. Аналитическая химия)
10. Д.х.н., доц. Потапов Андрей Юрьевич (1.4.3. Органическая химия)
11. Д.х.н., проф. Рудаков Олег Борисович (1.4.2. Аналитическая химия)
12. Д.х.н., проф. Селеменев Владимир Федорович (1.4.2. Аналитическая химия)
13. Д.х.н., доц. Томина Елена Викторовна (1.4.15. Химия твердого тела)
14. Д.х.н., проф. Шапошник Алексей Владимирович (1.4.2. Аналитическая химия)
15. Д.х.н., доц. Шестаков Александр Станиславович (1.4.3. Органическая химия)

Все члены диссертационного совета присутствуют очно.

Официальные оппоненты по диссертации:

Кирсанов Дмитрий Олегович – доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт химии, кафедра аналитической химии, профессор – присутствует в удаленном интерактивном режиме на основании личного заявления;

Никоненко Виктор Васильевич – доктор химических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный

университет», факультет химии и высоких технологий, кафедра физической химии, профессор – присутствует в удаленном интерактивном режиме на основании личного заявления.

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» – положительный отзыв получен.

Слушали: защиту диссертационной работы Ельниковой Анастасии Сергеевны «Мультисенсорные системы на основе гомогенных и привитых фторполимерных сульфированных мембран и их композитов для определения лекарственных веществ, аминокислот и оценки кариесрезистентности эмали», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2. Аналитическая химия.

Вопросы задали: д.хим.наук, профессор Бутырская Е.В., д.хим.наук, профессор Шапошник А.В., д.хим.наук, профессор Зяблов А.Н., д.хим.наук, профессор Селеменев В.Ф., д.хим.наук, доцент Томина Е.В., д.хим.наук, профессор Рудаков О.Б., д.хим.наук, профессор Козадеров О.А.

В дискуссии по диссертационной работе приняли участие: д.хим.наук, профессор Зяблов А.Н., д.хим.наук, профессор Рудаков О.Б., д.хим.наук, профессор Селеменев В.Ф., д.хим.наук, профессор Бобрешова О.В.

Постановили: на основании протокола № 1 электронного голосования при проведении заседания диссертационного совета 24.2.288.07 в удаленном интерактивном режиме считать, что диссертация Ельниковой Анастасии Сергеевны отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ельникова Анастасия Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2. Аналитическая химия

Результаты голосования:

«за» – 15,

«против» – нет.

Председатель диссертационного
совета 24.2.288.07

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.288.07



Семенов Виктор Николаевич

Столповская Надежда Владимировна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.2.288.07, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РОССИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10.12.2025 г. № 299

О присуждении Ельниковой Анастасии Сергеевны, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Мультисенсорные системы на основе гомогенных и привитых фторполимерных сульфированных мембран и их композитов для определения лекарственных веществ, аминокислот и оценки кариесрезистентности эмали» по специальности 1.4.2. Аналитическая химия принята к защите 03 октября 2025 г. (протокол заседания № 296) диссертационным советом 24.2.288.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» Минобрнауки России, 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1, в соответствии с приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Ельникова Анастасия Сергеевна, 28 января 1998 года рождения, работает специалистом инновационного бизнес-инкубатора федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» Минобрнауки России.

В 2021 году окончила магистратуру химического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» по направлению «04.04.01 Химия».

В 2025 г окончила очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Воронежский государственный университет» по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Диссертация выполнена на кафедре аналитической химии химического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор химических наук Паршина Анна Валерьевна, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», химический факультет, кафедра аналитической химии, доцент.

Официальные оппоненты:

1. Кирсанов Дмитрий Олегович, доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт химии, кафедра аналитической химии, профессор.

2. Никоненко Виктор Васильевич, доктор химических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет», факультет химии и высоких технологий, кафедра физической химии, профессор.

- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, в своем положительном отзыве, подписанным Козициной Алисой Николаевной, доктором химических наук, профессором, заведующей кафедрой аналитической химии, указала, что представленные в работе результаты исследований вносят вклад в развитие электрохимических методов анализа лекарственных препаратов и клинического анализа.

Диссертация Ельниковой А.С. удовлетворяет требованиям п. 9-11, 13-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. в действующей редакции № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, как научно-квалификационная работа, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития потенциометрического метода анализа фармацевтических и биологических сред. Автор работы, Ельникова А.С., заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2. Аналитическая химия.

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 научных работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 10 работ. Работы посвящены определению лекарственных веществ и аминокислот в фармацевтических препаратах и растворах, моделирующих слюну, а также анализу ротовой жидкости с применением потенциометрических мультисенсорных систем на основе композиционных ионообменных мембран. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Вклад автора составляет 80 %, объем – 11,6 п.л.

Наиболее значительные работы:

1. Determination of tetracaine and oxymetazoline in drugs and saliva via potentiometric sensor arrays based on fluoropolymer/polyaniline composites / A. Parshina, A. Yelnikova, V. Shimbareva, A. Komogorova, P. Yurova, I. Stenina, O. Bobreshova, A. Yaroslavtsev. // Journal of Chemometrics. – 2024. – V. 38. – №10. – Art. N e3583.

2. Potentiometric sensor arrays based on hybrid PFSA/CNTs membranes for the analysis of UV-degraded drugs / A. Parshina, A. Yelnikova, E. Safronova, T. Kolganova, O. Bobreshova, A. Yaroslavtsev. // Polymers. – 2023. – V. 15. – № 12. – Art. N 2682.

3. Perfluorosulfonic acid membranes with short and long side chains and their use in sensors for the determination of markers of viral diseases in saliva / A.V. Parshina, E.Yu. Safronova, S.A. Novikova, N. Stretton, A.S. Yelnikova,

T.R. Zhuchkov, O.V. Bobreshova, A.B. Yaroslavtsev // Membranes. – 2023. – V. 13. – № 8. – Art. N 701.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов:

1) Апяри В.В., д.х.н., г.н.с. кафедры аналитической химии МГУ им. М.В. Ломоносова. Вопросы/замечания: 1. В качестве модифицирующих групп углеродных нанотрубок рассматриваются фрагменты $-O-Si(OCH_3)_2-(CH_2)_3-NH_3^+$, включающие остатки диметоксисилана. Есть ли уверенность, что указанные остатки не подвергаются гидролизу в процессе модифицирования нанотрубок, получения и дальнейшего использования мембран? 2. Рисунки 7 и 8а автореферата плохо интерпретируются из-за большого числа данных и их частичного наложения в проекции трехмерной диаграммы на плоскость листа.;

2) Воропаева Д.Ю., к.х.н., н.с. Лаборатории ионики функциональных материалов ИОНХ РАН. Вопросы и замечания: 1. Интерес представляет обоснование выбора именно калиевой формы мембран для исследований чувствительности. Насколько тип катиона в мембране может влиять на аналитические характеристики сенсоров, и присутствовало ли в работе сопоставление с другими катионными формами. 2. После ГО чувствительность большинства образцов (МФ-4СК и МФ-4СК/ПАНИ (N1)) в системах SMX+TMP и TC+OMZ снижается. При этом образец МФ-4СК/ПАНИ (N2, ГО) демонстрирует противоположную тенденцию. С чем может быть связано столь различное влияние ГО на отклик сенсоров лишь с поверхностной (N1) и поверхностной+объемной (N2) модификацией ПАНИ? Какие структурные или электрохимические изменения в полимерном покрытии (ПАНИ), вызванные ГО, могли привести к повышению чувствительности этого образца?

3) Зильберг Р.А., к.х.н., доц., доц. кафедры аналитической химии Института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях УУНиТ. Вопросы и замечания: 1. Каковы концентрации биомаркеров вирусных заболеваний (N-ацетил-L-метионин, L-карнитин и L-лизин) в биологических жидкостях и входят ли они в указанный линейный диапазон ($1.0 \cdot 10^{-5}$ до $1.0 \cdot 10^{-3}$ М)? 2. В тексте автореферата много сокращений, что затрудняет восприятие изложенных научных результатов.

4) Зиятдинова Г.К., д.х.н., проф., зав. каф. аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова КФУ. Вопросы и замечания: 1. Неясно, чем обусловлен выбор температуры 120 °С для гидротермальной обработки. Это известная методика или был проведен поиск температурных условий? 2. Желательно было бы апробировать предложенные мультисенсорные системы для определения интраназальных анестезирующих препаратов и низкомолекулярных биомаркеров вирусных заболеваний в образцах реальной слюны, а не только модельной.;

5) Михельсон К.Н., д.х.н., проф., проф. кафедры физической химии Института Химии СПбГУ. Вопросы: 1. Сочетание ионо- и электропроводящих материалов в сенсорных мембранах может приводить к их чувствительности не только к ионам, но также к компонентам анализируемых образцов, обладающих окислительно-восстановительными свойствами. Это зависит, в том числе, от наличия прямого контакта наночастиц электрополимеров с фазой раствора (образца) и возможности переноса электронов (или дырок) в материале мембраны. Наблюдалась ли чувствительность сенсоров, содержащих электрополимеры в составе мембран, к окислительно-восстановительным компонентам анализируемых образцов?;

6) Никитина В.Н., к.х.н., с.н.с. кафедры аналитической химии МГУ им. М.В. Ломоносова, Карякин А.А., д.х.н., проф., проф. кафедры аналитической химии МГУ им. М.В. Ломоносова. Замечания: 1. Непонятно чем обоснован выбор пар: МФ-4СК/ПАНИ и Nafion/ПЭДОТ. 2. Предпочтение стоило бы отдать русскоязычному аналогу термина «фаулинг». Везде ли речь идет исключительно о загрязнении мембраны компонентами биообразца или о ее деградации в том числе? 3. Не совсем корректно использование термина «допант» по отношению к проводящему полимеру. Как правило, сульфокислоты, в том числе полимерные, являются допантами для проводящих полимеров. 4. Выгодным дополнением стала бы схема сенсора или мультисенсорной системы, а также увеличенный размер подписей на рисунках.

7) Федотов П.С., д.х.н., зав. лаб. геохимии наночастиц ГЕОХИ РАН. Замечание: 1. Желательно обосновать выбор столь разноплановых

определяемых веществ – от сульфаниламидных препаратов до биомаркеров вирусных заболеваний.

Все отзывы положительные. Замечания носят рекомендательный характер.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в области аналитической химии и способностью определить актуальность, достоверность, научную новизну и значимость результатов диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработаны** способы повышения чувствительности сенсоров, функционирующих на основе оценки потенциала Доннана (ПД), к анионам и полярным молекулам сульфаниламидов посредством модификации перфторированных сульфированных полимеров наночастицами углеродных нанотрубок (УНТ) с гидрофильными группами, причем наиболее эффективным является карбоксилирование их поверхности, в то время как закрепление (3-аминопропил)триметоксисиланольных групп снижает доступность центров связывания аналитов;

– **предложены** подходы к варьированию чувствительности ПД-сенсоров к компонентам сульфаниламидных и интраназальных анестезирующих комбинированных препаратов за счет изменения количества и распределения сульфо-, аминогрупп и фрагментов с π -сопряжением в мембране, а также гидрофильности ее поверхности при подборе условий синтеза поли-3,4-этилендиокситиофена и полианилина в дисперсиях перфторсульфополимеров и порах готовых мембран;

– **доказано**, что перфторированные сульфированные мембраны на основе полимеров с короткой и длинной боковой цепью, могут быть использованы в ПД-сенсорах для группового и совместного определения аминокислот и их производных в растворах, имитирующих слюну человека;

– **представлены** результаты машинного обучения массивов ПД-сенсоров на основе модифицированных коммерческих и новых привитых фторполимерных сульфированных мембран в растворах ротовой жидкости детей с разным уровнем кариесрезистентности зубной эмали.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **доказана** возможность направленного изменения условий концентрирования ионов сульфаниламидов и аминокислотных лекарственных веществ в приповерхностных слоях перфторсульфополимерных мембран посредством их модификации наночастицами полианилина и функционализированных УНТ, а также ультразвуковой обработкой дисперсий полимера и гидротермальной обработкой готовых мембран, что позволило задавать распределение чувствительности массивов ПД-сенсоров к родственным анализам и выполнять их совместное определение в фармацевтических средах;

– **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс физико-химических методов исследования, таких как потенциометрический, спектрофотометрический, термогравиметрический, кондуктометрический, импедансометрический, сканирующая электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия с Фурье преобразованием, метод лежащей капли, а также статистические и хемометрические приемы анализа экспериментальных данных;

– **изложены** закономерности влияния длины боковой цепи макромолекул и природы диспергирующей жидкости при формировании перфторсульфополимерных мембран на отклик ПД-сенсоров в растворах, имитирующих слюну человека, содержащих аминокислоты и их производные;

– **изучены** особенности поведения ПД-сенсоров в растворах ротовой жидкости пациентов в зависимости от степени прививки и времени сульфирования мембран, полученных радикальной сополимеризацией полистирола на гамма-активированной пленке поливинилиденфторида с последующим сульфированием;

– **раскрыты** причины фаулинга гомогенных и привитых фторполимерных сульфированных мембран в растворах фармацевтических препаратов и ротовой жидкости, которые могут быть нивелированы модификацией мембран полианилином за счет частичной нековалентной сшивки гидрофильных кластеров и гидрофилизации поверхности;

– **проведена модернизация** способов спектрофотометрического определения компонентов сульфаниламидных препаратов в качестве референтных для анализа комбинированных и подвергшихся деградации лекарственных средств.

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

– **разработаны и апробированы** потенциометрические мультисенсорные системы на основе композиционных перфторированных мембран для совместного определения сульфаметоксазола и триметоприма в комбинированном препарате, сульфацетамида и сульфаниламида в деградировавшем под действием ультрафиолетового излучения препарате, а также тетракаина и оксиметазолина в препаратах и растворах, имитирующих слюну человека;

– **определены** возможности применения массивов ПД-сенсоров на основе сульфированных перфторполимеров, отличающихся длиной боковой цепи, для совместного и группового определения *N*-ацетил-*L*-метионина, *L*-карнитина и *L*-лизина, выступающих биомаркерами вирусных заболеваний, в растворах, имитирующих слюну;

– **создана** потенциометрическая мультисенсорная система на основе новых привитых фторполимерных мембран для классификации образцов ротовой жидкости детей в зависимости от уровня кариесрезистентности зубной эмали;

– **представлены данные** об эффективности гомогенных и привитых фторполимерных сульфированных мембран и их композитов в качестве материалов потенциометрических мультисенсорных систем для

количественного анализа фармацевтических сред и решения классификационных задач при анализе физиологических жидкостей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы обеспечены системностью исследования, применением современных методов анализа и методологических подходов, использованием сертифицированного оборудования, согласованием результатов с литературными данными, апробацией результатов при анализе реальных сред, публикациями в рецензируемых журналах и выступлениями на всероссийских и международных научных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач исследования, критическом анализе литературных данных по теме работы, планировании и выполнении эксперимента, математической обработке экспериментальных данных, обсуждении результатов и формулировке выводов. Подготовка публикаций по результатам исследования выполнена совместно с соавторами.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было, были заданы вопросы: 1) Почему при объяснении облегченного переноса анионов сульфаниламидов рассматривается только образование водородных связей с гидратными оболочками катионов и не учитываются электростатические взаимодействия? 2) Является ли выборка из 36 пациентов репрезентативной? Проводились ли дополнительные тестовые эксперименты? 3) Почему для снижения размерности данных выбран линейный дискриминантный анализ, а не метод главных компонент? Каковы результаты классификации методом линейного дискриминантного анализа, почему для классификации выбран метод k ближайших соседей? Как оценивали приемлемость классификационной модели? 4) Каков состав раствора, моделирующего слюну человека, каков его pH? Как может быть учтено, что реальная слюна имеет более сложный органо-минеральный состав? 5) Каковы концентрации *N*-ацетил-*L*-метионина, *L*-карнитина и *L*-лизина в биологических жидкостях и входят ли они в линейный диапазон градуировочных

характеристик? 6) Приведенные значения IgP аналитов определены экспериментально или рассчитаны теоретически? Насколько значимы их различия для сульфаметоксазола и триметоприма? 7) Чем обусловлен выбор перфторсульфополимерных мембран для ПД-сенсоров? Используемые методы модификации мембран разработаны или взяты из литературных данных? Чем обоснован выбор привитых фторполимерных мембран? 8) Важно ли, чтобы модификаторы мембран были электронными проводниками? Чем обоснован выбор пар МФ-4СК/ПАНИ и Nafion/ПЭДОТ? Наблюдалась ли при введении в мембраны электрополимеров чувствительность сенсоров к компонентам объектов анализа, проявляющим окислительно-восстановительные свойства? 9) Почему среди углеродных материалов выбраны именно УНТ? Что подтверждают или опровергают микрофотографии функционализированных УНТ? Есть ли уверенность, что аминированные УНТ, содержащие фрагменты с диметоксисилановыми остатками, не подвергаются гидролизу в процессе получения и эксплуатации материалов? 10) Чем обоснован выбор температуры 120°C для гидротермальной обработки? Почему такая обработка оказывала противоположное влияние на чувствительность ПД-сенсоров к ионам лекарственных веществ на основе мембран с преимущественно поверхностной (N1) и объемной (N2) модификацией наночастицами ПАНИ? 11) Каковы причины установленной корреляции между чувствительностью ПД-сенсоров и диффузионной проницаемостью мембран, в том числе ее антибатного характера при использовании мембран МФ-4СК/УНТ и МФ-4СК/ПАНИ? 12) Каковы перспективы использования искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, для прогнозирования чувствительности ПД-сенсоров к тому или иному аналиту в зависимости от типа мембраны и ее модификации? 13) Каковы преимущества перфторсульфополимерных мембран для ПД-сенсоров по сравнению с ПВХ мембранами и известными сенсорами на их основе? 14) Что понимали под «фаулингом»? Только ли фаулинг мог служить причиной изменения стабильности отклика сенсоров или имела место деградация мембран?

Соискатель Ельникова Анастасия Сергеевна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию: 1) Учитывая степень диссоциации сильного электролита, предполагали наиболее вероятным перенос анионов сульфаниламидов в мембраны вследствие образования водородных связей с гидратными оболочками противоионов. 2) Эксперимент выполняли в течение 3 месяцев с соблюдением принципов рандомизации и были достигнуты хорошие метрологические характеристики классификационной модели, которые могли бы быть улучшены при увеличении числа образцов в каждом классе. При обучении и апробации образцы от 36 пациентов были рандомно разделены на обучающую (75% образцов) и тестовую (25% образцов) выборки. 3) Для обработки данных рассмотрены снижение размерности методом главных компонент с последующей классификацией методом k ближайших соседей; линейный дискриминантный анализ; линейный дискриминантный анализ в сочетании с методом k ближайших соседей. В работе приведены результаты для последнего варианта, обеспечившего наилучшие метрологические характеристики. 4) Для моделирования слюны человека использовали раствор Рингера с $\text{pH}=6.2$, состоящий из хлоридов натрия, калия, кальция и гидрокарбоната натрия, что является принятым в литературе и представлялось достаточным для данной части работы. 5) Концентрация подобных низкомолекулярных метаболитов в слюне, как правило, варьируется от 10^{-4} до 10^{-6} М. Для количественного анализа реальных сред, вероятно, потребуется использование метода добавок. 6) Это экспериментальные данные, взятые из литературы. При переходе от логарифма концентрации к концентрации различие будет более существенным, при этом отличия для ионных форм более выражены. 7) Выбор в качестве материалов ПД-сенсоров перфторсульфополимерных мембран главным образом связан с близостью размерных параметров их гидрофильных кластеров и ионов исследуемых аналитов. Также важны их высокая механическая, химическая и биологическая стабильность. Методики модификации перфтормембран описаны в литературе, но были адаптированы для конкретных задач, а способ синтеза привитых мембран был оригинальным. Привитые мембраны также не

имели макропор и представляли интерес благодаря возможности задавать количество их функциональных групп и таким образом варьировать функциональные свойства. 8) ПД-сенсоры организованы аналогично сенсорам с внутренним раствором сравнения, а модификация мембран направлена на изменение условий сорбции аналитов вследствие собственных сорбционных свойств допантов и синергетических эффектов в получаемых композитах. Отечественные МФ-4СК являются химическими аналогами Nafion и коммерчески доступны не только в форме пленок, но и в форме дисперсий различного состава, что позволяет реализовывать различные подходы к получению композитов, поэтому при переходе от ПЭДОТ к более перспективному ПАНИ были изучены МФ-4СК. Доступ анионов-окислителей к электрополимерам в мембранах был ограничен благодаря высокой селективности перфтормембран, а участие аналитов в окислительно-восстановительных реакциях при нулевом токе представляется несущественным, что подтверждается сорбционными исследованиями. 9) Выбор УНТ с функционализированной поверхностью обусловлен возможностью их введения в мембраны с частичной локализацией в гидрофильных кластерах. Размеры наночастиц, установленные по микрофотографиям, подтверждают возможность их диспергирования совместно с макромолекулами перфторполимера и формирования стабильных композитов. Использование апротонного растворителя исключало гидролиз аминированных УНТ при получении. Контроль за деградацией композиционных мембран проводили посредством проверки отклика в растворах сравнения и повторного установления градуировочных характеристик после эксплуатации. 10) Условия гидротермальной обработки мембран выбраны на основании предыдущих исследований, она способствуют частичному распутыванию полимерных макромолекул и растяжению гидрофильных кластеров, но в присутствии ПАНИ могла повышать эффективность взаимодействия его аминогрупп с сульфогруппами мембраны. Гидротермальная обработка мембран, полученных способом N1, приводила к не столь выраженному увеличению влагосодержания и некоторому снижению

ионной проводимости из-за дополнительной «сшивки» приповерхностных слоев, тогда как для мембран, полученных способом N2, наблюдалось резкое возрастание влагосодержания и диффузионной проницаемости, что определяло разное изменение чувствительности ПД-сенсоров. 11) Наблюдаемая корреляция обусловлена наличием «скрытых переменных»: рост чувствительности ПД-сенсоров на основе МФ-4СК/УНТ с повышением диффузионной проницаемости вызван увеличением концентрации аналитов в мембране и доступности допанта для взаимодействия из-за снижения селективности мембран и расширения гидрофильных кластеров, тогда как МФ-4СК/ПАНИ с пониженной диффузионной проницаемостью имели наибольшую чувствительность из-за концентрирования допанта в приповерхностном слое, обеспечивающего появление дополнительных сорбционных центров и гидрофилизацию поверхности. 12) Такая задача выглядит привлекательной, но потребует решения вопроса о создании специализированных баз данных. 13) Диапазоны рабочих концентраций, пределы обнаружения и погрешности определения аналитов с помощью разработанных мультисенсорных систем сопоставимы с таковыми для селективных потенциометрических сенсоров, описанных в литературе, в том числе на основе ПВХ мембран. Преимуществами массивов ПД-сенсоров были отсутствие необходимости коррекции рН объекта анализа, значительно более длительная стабильность, а также определение не только действующего вещества, но и продуктов его деградации, и других действующих и вспомогательных компонентов без предварительного разделения. 14) Под «фаулингом» понимали абсорбцию аналитов или адсорбцию макромолекулярных компонентов ротовой жидкости. При исследовании растворов, содержащих тетракаин и оксиметазолин, было выявлено, что в стандартных условиях работы не удавалось достичь полной регенерации мембран из-за накопления аналитов в порах, что приводило к резкому снижению отклика ПД-сенсоров. Подбор условий регенерации позволил устранить данную проблему. Полагали, что деградации мембран в условиях эксплуатации не происходит.

На заседании 10 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи по разработке и исследованию способов потенциометрического определения компонентов фармацевтических препаратов и аминокислот в качестве биомаркеров вирусных заболеваний, а также анализа ротовой жидкости для нужд стоматологии, имеющей значение для развития аналитической химии присудить Ельниковой А.С. ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет.

Председатель диссертационного

совета 24.2.288.07

Ученый секретарь диссертационного

совета 24.2.288.07

10.12.2025 г.



Семенов Виктор Николаевич

Столповская Надежда Владимировна