

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра химической и биохимической инженерии

Музапарова Сабина Нурлановна

«Биосенсоры на основе ионных жидкостей»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра химической и биохимической инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

«Химическая и биохимическая
инженерия» канд. хим. наук,
ассоц. проф.

Мангазбаева Р. А.

20 25 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Биосенсоры на основе ионных жидкостей»

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Выполнила

Музапарова Сабина Нурлановна

Рецензент

Доктор PhD, профессор

Кафедра биотехнологии, факультет
биологии и биотехнологии КазНУ им.

Аль-Фараби



Акимбеков Н. Ш.
(Ф.И.О.)

« 10 » июня 2025 г.

Научный руководитель

Доктор PhD, ассоциированный
профессор


(подпись)

Рафикова Х. С.
(Ф.И.О.)

« 10 » июня 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра химической и биохимической инженерии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

«Химическая и биохимическая
инженерия» канд. хим. наук,
ассоц. проф.

Мангазбаева Р. А.

« 18 » июня 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Музапаровой Сабине Нурлановоной

Тема: «Биосенсоры на основе ионных жидкостей»

Утверждена приказом Члена Правления – проректора по академическим
вопросам № 26-П/О от 29.01.2025 г.

Срок сдачи законченной работы: « 18 » июня 2025.

Исходные данные к дипломной работе: Синтез ионной жидкости и
проверка чувствительности биосенсора на аскорбиновую кислоту.

Краткое содержание дипломной работы: данная дипломная работа
посвящена синтезу ионной жидкости, созданию биосенсорного элемента
чувствительного к аскорбиновой кислоте, изучению зависимости
электрохимических показателей от концентрации кислоты, а также
определение pH растворов.

Перечень графического материала: представлены 20 слайдов
презентации работы.

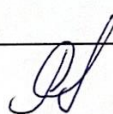
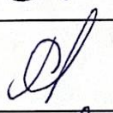
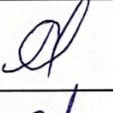
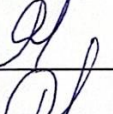
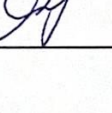
Рекомендуемая основная литература: состоит из 23 источников, которые
являются научными статьями, журналами и пособиями.

ГРАФИК подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Формулирование цели и задач	<u>2 февраля</u> 2025 г.	Выполнено
Литературный обзор	<u>10 апреля</u> 2025 г.	Выполнено
Материал и методика	<u>16 апреля</u> 2025 г.	Выполнено
Результаты исследования	<u>19 апреля</u> 2025 г.	Выполнено
Срок сдачи работы на антиплагиат	<u>30 мая</u> 2025 г.	Выполнено

Подписи

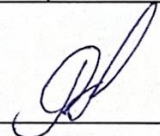
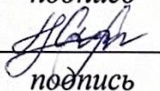
Консультантов и норм контролера на законченную дипломную
работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, Ф. И. О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Литературный обзор	Доктор PhD, ассоциированный профессор Рафикова Х. С.	<u>10.04</u> 2025 г.	
Материал и методик	Доктор PhD, ассоциированный профессор Рафикова Х. С.	<u>16.04</u> 2025 г.	
Результаты исследования	Доктор PhD, ассоциированный профессор Рафикова Х. С.	<u>29.04</u> 2025 г.	
Срок сдачи работы на антиплагиат	Доктор PhD, ассоциированный профессор Рафикова Х. С.	<u>30.05</u> 2025 г.	
Проверка оформления по ГОСТу	Доктор PhD, ассоциированный профессор Рафикова Х. С.	<u>07.06</u> 2025 г.	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению обучающийся

Дата


подпись

подпись

«10» июня 2025г

Рафикова Х. С.

Ф.И.О

Музапарова С. Н.

Ф.И.О

АННОТАЦИЯ

Объем дипломной работы составляет 35 страниц и включает введение, литературный обзор, материалы, объект и методику исследования, экспериментальную часть, заключение и перечень использованной литературы. Работа содержит 14 рисунков и 3 таблицы. Для написания проекта использовано 23 литературных источника.

Объект исследования: Биосенсорные системы с использованием ионных жидкостей.

Цель работы: Разработка и исследование биосенсора на основе ионных жидкостей для точного и быстрого определения аскорбиновой кислоты.

Новизна: Впервые разработан безферментный биосенсор с использованием специфической ионной жидкости $[(CH_2)_2COOHmim]Cl$ и активированного угля для повышения чувствительности и стабильности.

Результаты: Получены оптимальные параметры биосенсорной пасты, проведены кондуктометрические и pH-измерения, подтверждена высокая чувствительность к аскорбиновой кислоте.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс көлемі 35 беттен тұрады және кіріспе, әдеби шолу, материалдар, зерттеу объектісі мен әдістемесі, эксперименттік бөлім, қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 14 сурет пен 3 кестені қамтиды. Жобаны жазу үшін 23 әдебиет көзі пайдаланылды.

Зерттеу объектісі: Иондық сұйықтықтарды қолданатын биосенсорлық жүйелер.

Жұмыстың мақсаты: Аскорбин қышқылын дәл және жылдам анықтау үшін иондық сұйықтықтарға негізделген биосенсорды әзірлеу және зерттеу.

Жаңалығы: Бірінші рет сезімталдық пен тұрақтылықты арттыру мақсатында $[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$ иондық сұйықтығы мен активтендірілген көмір қолданылған ферментсіз биосенсор жасалды.

Нәтижелері: Биосенсор пастасының оңтайлы параметрлері анықталды, кондуктометриялық және рН өлшеулері жүргізілді, аскорбин қышқылының жоғары сезімталдығы расталды.

ABSTRACT

The diploma thesis comprises 35 pages and includes an introduction, literature review, materials, research object and methodology, experimental part, conclusion, and a list of references. The work contains 14 figures and 3 tables. A total of 23 literature sources were used.

Research Object: Biosensor systems utilizing ionic liquids.

Aim: To develop and investigate an ionic liquid-based biosensor for accurate and rapid determination of ascorbic acid.

Novelty: For the first time, a non-enzymatic biosensor incorporating a specific ionic liquid [(CH₂)₂COOHmim]Cl and activated carbon was developed to enhance sensitivity and stability.

Results: Optimal parameters of the biosensor paste were obtained; conductometric and pH measurements were performed, confirming high sensitivity to ascorbic acid.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Литературный обзор	9
1.1 Общие сведения о биосенсорах	9
1.1.1 Принцип действия	10
1.1.2 Классификация биосенсоров	10
1.1.3 Виды биосенсоров по природе чувствительного компонента	11
1.2 Ионные жидкости: свойства и применение в сенсорных системах	12
1.3 Аскорбиновая кислота как объект сенсорного анализа	13
1.4 Использование активированных углеродных материалов	15
1.4.1 Структурные и функциональные особенности активированного угля	15
1.4.2 Структурные и эксплуатационные характеристики активированного угля	15
1.4.3 Функции активированного угля в электрохимических биосенсорах	16
1.4.4 Синергетическое использование активированного угля и ионных жидкостей	16
1.5 Электрохимические методы регистрации: кондуктометрия и pH-метрия	17
1.5.1 Кондуктометрический анализ	17
1.5.2 Методика pH-метрии	18
1.5.3 Интеграция в биосенсорные платформы	18
1.6 Применение биосенсоров в биотехнологии, медицине и смежных отраслях	19
2 Материалы, объект и методика исследования	22
2.1 Объект исследования	22
2.2 Материалы и оборудование	22
2.2.1 Роль фосфатно-солевого буфера (PBS) в эксперименте	23
2.3 Лабораторное оборудование и приборы	25
3 Экспериментальная часть	28
3.1 Синтез и очистка ионной жидкости	28
3.1.1 Расчёт реагентов	29
3.1.2 Ход реакции	30

3.1.3 Характеристика ионной жидкости	30
3.1.4 Очистка полученной ионной жидкости	30
3.2 Результаты ИК-спектроскопии	31
3.3 Приготовление биосенсорной пасты	32
3.4 Подготовка буферных растворов с аскорбиновой кислотой	33
3.5 Обоснование выбора компонентов	34
3.6 Проведение измерений электропроводности и pH	35
3.6.1 Оценка биосенсорной активности	35
3.7 Выводы по экспериментальной части	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	41

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Витамин С (аскорбиновая кислота) – важное соединение, активно участвующее в многочисленных биохимических реакциях, включая синтез коллагена и защиту клеток от окислительного стресса. Его содержание в организме служит индикатором здоровья и биологической активности. Определение концентрации витамина С (аскорбиновой кислоты) в различных типах матриц, таких как лекарственные препараты, продукты питания, а также биологические жидкости, имеет важное значение для обеспечения качества, диагностики и научных исследований. Классические методы определения аскорбиновой кислоты, такие как титриметрия, спектрофотометрия и высокоэффективная жидкостная хроматография, хоть и обладают высокой точностью, но их практическое применение часто ограничено необходимостью использования дорогостоящего оборудования, сложной пробоподготовки и временных затрат, что затрудняет их использование в оперативной диагностике.

В связи с этим возникает потребность в создании более простых, быстрых и экономически эффективных подходов к детекции витамина С. Одним из перспективных направлений является разработка сенсорных систем с использованием ионных жидкостей (ИЖ) – функциональных материалов, обладающих высокой ионной проводимостью, химической стабильностью, невысокой летучестью и регулируемыми физико-химическими свойствами. Совместное применение ИЖ с углеродными материалами, такими как активированный уголь, графеновые структуры, нанотрубки – позволяет значительно усилить электрохимический отклик, что делает подобные комбинации особенно привлекательными для создания неферментных биосенсоров.

Цель работы. Мое исследование направлено на разработку и экспериментальную проверку биосенсора, основанного на ионной жидкости $[(CH_2)_2COOHmim]Cl$ и активированном угле, для определения аскорбиновой кислоты в фосфатных буферных растворах различной концентрации с использованием методов кондуктометрии и pH-метрии.

Задачи исследования:

1. Синтезировать и очистить целевую ионную жидкость $[(CH_2)_2COOHmim]Cl$;
2. Проверить свойства ионной жидкости и ее характеристики с помощью ИК-спектроскопии;

3. Сформировать биосенсорную пасту на основе активированного угля и ионной жидкости, нанести её на электрод;

4. Провести измерения электропроводности и pH растворов с различной концентрацией аскорбиновой кислоты;

5. Построить калибровочные зависимости и интерпретировать изменение измеряемых параметров в зависимости от концентрации аналита.

Объект и предмет исследования. В качестве объекта исследования рассматривается аскорбиновая кислота, растворённая в фосфатно-буферном солевом растворе (PBS) с pH 7.4. Предметом исследования являются электрохимические характеристики сенсорного материала на основе ионной жидкости и активированного угля, проявляющиеся при взаимодействии с анализируемым соединением.

Научная новизна. В рамках данной работы впервые предложена и реализована простая, неферментная модель биосенсора, функционирующая на основе ионной жидкости и активированного угля. Представленная система демонстрирует чувствительный отклик при взаимодействии с аскорбиновой кислотой, что подтверждается измерениями электропроводности и pH-измерениями. Данное решение открывает новые подходы к созданию доступных экспресс-методов анализа без применения биологических элементов.

Практическая значимость. Разработанная методика может быть адаптирована для мониторинга содержания витамина С в продуктах питания, лекарственных формах и биологических жидкостях. Сенсорная система, основанная на недорогих и легко доступных компонентах, отличается технологической простотой и может использоваться даже в лабораториях с ограниченными ресурсами, что делает её перспективной для внедрения в различные прикладные области.

Структура работы. Дипломная работа состоит из введения, литературного обзора, материала, объекта и метода исследования, обзора экспериментальной части исследовательской работы, заключения и списка литературы, и изложена на 31 страницах компьютерного текста. Работа содержит 14 рисунков и 3 таблицы. Список литературы включает в себя 23 научных источника.

1 Литературный обзор

1.1 Общие сведения о биосенсорах

В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к применению биосенсорных технологий в самых разных областях: от фармацевтической промышленности и медицины до аграрного сектора, пищевой промышленности, аналитической химии и экологического мониторинга. Биосенсоры представляют собой аналитические устройства, позволяющие с высокой точностью, скоростью и селективностью определять наличие и концентрацию определённых веществ в сложных многокомпонентных системах.

Биосенсор – это устройство, работающее на основе взаимодействия биологического элемента (например, фермента, клетки или ДНК-фрагмента) с анализируемым веществом. Полученное изменение фиксируется специальным физико-химическим преобразователем и далее преобразуется в удобный для регистрации сигнал (электрический, оптический или термический).

Тем не менее, современные разработки всё чаще отходят от традиционного подхода. На смену классическим биосенсорам приходят неферментные сенсоры, в которых роль чувствительного компонента выполняют синтетические материалы с селективными свойствами – такие как углеродные наноструктуры, ионные жидкости (ИЖ), нанокомпозиты на основе графена и тому подобные. Эти структуры способны вступать в специфическое взаимодействие с аналитом, генерируя отклик без участия биологических молекул. Такие устройства часто рассматриваются как упрощённые, но функциональные аналоги биосенсоров и находят применение в тех случаях, где ферментные системы оказываются нестабильными или экономически нецелесообразными.

В данной работе разработан сенсорный элемент, основанный на ионной жидкости и активированном угле, функционирующий без участия фермента. Несмотря на отсутствие биологической молекулы, система демонстрирует способность селективно реагировать на аскорбиновую кислоту, что подтверждает её функциональность как альтернативного биосенсорного устройства.

Стандартная архитектура биосенсора, согласно литературным данным, включает три ключевых компонента [2]:

1. Биологический рецепторный элемент, способный избирательно взаимодействовать с конкретным веществом (например, фермент, антитело, нуклеиновая кислота, живая клетка).
2. Преобразователь (трансдьюсер) – устройство, которое регистрирует первичный отклик и преобразует его в измеримый физический сигнал.
3. Система обработки данных – элемент, анализирующий и усиливающий сигнал, передаваемый на отображение или запись.

В моей работе роль биорецептора и преобразователя выполняет композитная паста, состоящая из ионной жидкости и активированного угля. Эта паста наносится на поверхность электрода и реагирует на присутствие аскорбиновой кислоты в растворе, изменяя параметры электропроводности и pH, что позволяет зафиксировать концентрационные изменения аналита.

1.1.1 Принцип действия

Механизм функционирования большинства биосенсоров основан на селективном связывании аналита с рецептором, что вызывает изменение, регистрируемое преобразователем. Такая система работает по принципу биомолекулярного распознавания – обратимого и высокоспецифичного взаимодействия между молекулами, обусловленного гидрофобными эффектами, электростатическими силами, межмолекулярными связями и другими типами слабых физических взаимодействий.

Исторически первый биосенсор был создан в середине XX века американским учёным Леландом Кларком, которого справедливо называют «отцом биосенсорики». Его устройство, предназначенное для анализа содержания кислорода в крови, стало прототипом всех современных сенсорных платформ. [2]

1.1.2 Классификация биосенсоров

Существует несколько подходов к классификации биосенсоров, в зависимости от природы рецепторного компонента, типа взаимодействия с аналитом и вида преобразователя сигнала [2]:

По механизму взаимодействия с аналитом:

1. Каталитические – предполагают участие фермента, в результате чего образуется продукт реакции (чаще всего встречаются в глюкозных сенсорах).
2. Аффинные – основаны на специфическом связывании, например, антиген–антитело (иммуносенсоры) или комплементарное соединение ДНК-зондов.

По типу физического преобразователя:

1. Электрохимические – включают амперометрические, потенциометрические и кондуктометрические сенсоры.
2. Оптические – реагируют изменением спектральных характеристик (флуоресценция, абсорбция).

3. Масс-чувствительные – регистрируют массу связанного вещества (например, кварцевые микровесы).

4. Тепловые (калориметрические) – основаны на изменении температуры при реакции.

5. Пьезоэлектрические – регистрируют изменение механических характеристик под действием электрического сигнала.

1.1.3 Виды биосенсоров по природе чувствительного компонента

Как отмечается в [3], можно выделить следующие виды биосенсоров:

1. Ферментативные сенсоры. Применяют ферменты в качестве селективного элемента. Активность фермента при взаимодействии с субстратом генерирует отклик – изменение потенциала или тока. Широко используются в клинической диагностике, в том числе для контроля глюкозы, мочевины, лактата.

2. Иммуносенсоры. Базируются на высокоаффинном взаимодействии антител с антигенами. Применяются для выявления патогенов, токсинов, гормонов и онкомаркеров.

3. Клеточные сенсоры. Включают живые клетки, реагирующие на внешний стимул (например, токсичность вещества). Позволяют проводить скрининг препаратов и оценивать биологическую активность.

4. ДНК-сенсоры. Работают на принципе гибридизации – комплементарного соединения целевой последовательности с иммобилизованным зондом. Используются в генетической диагностике и экологии.

5. Электрохимические сенсоры. Фиксируют изменение тока, сопротивления или потенциала при взаимодействии с целевым соединением. Отличаются простотой конструкции, миниатюрностью и низкой стоимостью.

6. Сенсоры на основе ионных жидкостей. Используют синтетические ионные соединения с особыми физико-химическими характеристиками. Такие материалы демонстрируют высокую ионную проводимость, широкий диапазон электрохимической стабильности, термостойкость, а также возможность стабилизации и иммобилизации реагирующих компонентов.

Ионные жидкости позволяют создавать надёжные, чувствительные сенсорные платформы, в том числе для анализа биологически активных веществ, таких как витамины, аминокислоты и лекарственные соединения.

1.2 Ионные жидкости: свойства и применение в сенсорных системах

Ионные жидкости (ИЖ) представляют собой особый класс соединений – это соли, которые находятся в жидком агрегатном состоянии при температуре окружающей среды или близкой к ней. Их структура формируется за счёт взаимодействия объёмных органических катионов (например, имидазольных, пиридиниевых, аммониевых и др.) с органическими или неорганическими анионами. Несимметричность и пространственная разобщённость зарядов препятствуют упорядоченному расположению и формированию кристаллической решётки, вследствие чего такие соединения обладают ионной жидкофазной природой при комнатных температурах.

Ионная жидкость демонстрирует совокупность уникальных физико-химических характеристик, отличающих их от традиционных растворителей [12]:

- Чрезвычайно низкая температура плавления;
- Отсутствие давления насыщенных паров и, как следствие, низкая летучесть, обеспечивающая безопасность и устойчивость при нагревании;
- Термическая и электрохимическая стабильность, что позволяет использовать их в агрессивных условиях;
- Высокая ионная подвижность и проводимость, позволяющая эффективно передавать заряд;
- Широкий электрохимический потенциал, то есть возможность работы в расширенном диапазоне напряжений;
- Универсальная растворяющая способность по отношению к различным классам веществ – как органическим, так и неорганическим.

Благодаря такому сочетанию свойств, ионные жидкости находят всё большее применение в области сенсорных технологий и электрохимического анализа, выступая в качестве перспективной замены традиционным водным и органическим средам. Особенно эффективны они в условиях, когда применение классических растворителей затруднено или нежелательно по физико-химическим причинам.

В сфере разработки электрохимических биосенсоров, ионные жидкости выполняют сразу несколько критически важных функций. Они выступают не только как жидкая электролитная среда, обеспечивающая проводимость тока, но и как активная платформа, на которой происходит взаимодействие между электродом и молекулой-мишенью. Такое сочетание свойств обеспечивает стабильный отклик и высокую чувствительность, минимизируя фоновый шум и влияния посторонних компонентов среды.

К числу ключевых направлений использования ионных жидкостей в сенсорике относятся:

1. Применение в качестве альтернативных электролитов в электрохимических ячейках, особенно при анализе веществ, нестабильных в воде или традиционных растворителях;
2. Включение в состав композитных сенсорных материалов, таких как проводящие гели, гибридные мембраны и полимерные матрицы, что позволяет управлять физико-химическими свойствами сенсора;
3. Модификация поверхности электродов, направленная на повышение селективности, чувствительности и долговечности сенсорного элемента.

Механизм работы сенсора, основанного на ионной жидкости, заключается в следующем: молекула аналита (например, аскорбиновой кислоты, глюкозы или другого биологически значимого вещества) вступает во взаимодействие с модифицированной электродной поверхностью. Это взаимодействие провоцирует локальные изменения, такие как сдвиг кислотности среды или изменение окислительно-восстановительного потенциала. Поскольку ионная жидкость обладает высокой ионной подвижностью и стабильной структурой, она обеспечивает надёжную передачу этих изменений в виде измеримого электрохимического сигнала. Сила отклика напрямую коррелирует с концентрацией целевого вещества, что позволяет количественно оценить его содержание в исследуемом растворе.

Таким образом, ионные жидкости являются не только эффективной заменой традиционных компонентов сенсоров, но и создают новые возможности для разработки высокочувствительных, устойчивых и миниатюрных аналитических систем.

1.3 Аскорбиновая кислота как объект сенсорного анализа

Витамин С, также известный как аскорбиновая кислота, относится к водорастворимым органическим веществам с сильными антиоксидантными характеристиками. Его биологическое значение обусловлено участием в ряде метаболических и защитных процессов организма, включая регенерацию тканей и нейтрализацию свободных радикалов. Кроме того, витамин С принимает участие в метаболизме белков, синтезе нейромедиаторов и укреплении иммунной системы.

В нормальных условиях содержание аскорбиновой кислоты в крови колеблется в диапазоне 50–80 мкМ [1], однако при дефиците оно может снижаться, вызывая неблагоприятные симптомы, связанные с ослаблением иммунной и антиоксидантной защиты. С другой стороны, избыточное поступление витамина С в организм, особенно в виде фармацевтических препаратов или биологически активных добавок, может вызвать побочные

явления, включая нарушения со стороны желудочно-кишечного тракта: боли, диарею, тошноту, а также повышенный риск формирования почечных камней.

Многочисленные исследования показывают, что содержание аскорбиновой кислоты в организме человека может быть связано с течением и профилактикой широкого спектра заболеваний – от вирусных инфекций и воспалительных процессов до сердечно-сосудистых патологий и даже нейродегенеративных нарушений, включая болезнь Альцгеймера [4]. В связи с этим мониторинг концентрации витамина С приобретает высокую значимость как в клинко-диагностической практике, так и в области фармакологического контроля и пищевой промышленности.

Особенностью аскорбиновой кислоты как аналитического объекта является её нестабильность: она легко окисляется при воздействии температуры, света, кислорода воздуха, а также при изменении pH среды. В процессе окисления витамин С превращается в дегидроаскорбиновую кислоту – реакция, сопровождающаяся переносом электронов. Это делает аскорбиновую кислоту удобным объектом для электрохимического анализа, в том числе с использованием неферментных биосенсоров.

Благодаря своей электрохимической активности, витамин С может быть детектирован с высокой чувствительностью на модифицированных электродах, особенно если они содержат ионные жидкости, углеродные материалы или нанокompозиты. Такие сенсоры реагируют на окислительно-восстановительные изменения, что позволяет проводить точный количественный анализ содержания аналита.

Несмотря на эффективность классических методов – таких как ультрафиолетовая спектрофотометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и титриметрия, - их применение часто связано с необходимостью сложной пробоподготовки, затратами времени и использованием дорогостоящего лабораторного оборудования. В качестве альтернативы всё более широкое распространение получают электрохимические сенсорные технологии, обладающие рядом преимуществ: высокой чувствительностью, минимальными требованиями к объёму образца и возможностью проведения экспресс-анализа в полевых и лабораторных условиях.

Таким образом, аскорбиновая кислота является не только важнейшим биомолекулярным маркером, но и удобной модельной системой для отработки и оптимизации аналитических методов, включая разработку современных сенсорных платформ.

1.4 Использование активированных углеродных материалов

Активированные углеродные материалы, включая активированный уголь, углеродные нанотрубки и графен, играют ключевую роль в разработке современных биосенсоров благодаря их высокой удельной поверхности, отличной электропроводности и химической стабильности. Эти свойства делают их идеальными для создания чувствительных и селективных сенсорных платформ.

В частности, активированный уголь широко используется в электрохимических сенсорах из-за его способности эффективно адсорбировать различные молекулы, включая аскорбиновую кислоту (витамин С).

1.4.1 Структурные и функциональные особенности активированного угля

Разнообразные формы активированных углеродных соединений, включая такие материалы, как активированный уголь, углеродные нанотрубки и графеновые структуры, играют фундаментальную роль в создании высокоэффективных биосенсорных систем нового поколения. Это объясняется их выдающимися свойствами: большой удельной площадью поверхности, высокими значениями электропроводности, а также химической устойчивостью в агрессивных средах. Указанные характеристики делают данные материалы исключительно подходящими для разработки высокочувствительных и избирательно действующих сенсорных платформ, способных эффективно обнаруживать целевые аналитические молекулы в сложных матрицах.

Благодаря развитой пористой структуре и высокой удельной поверхности, активированный уголь часто применяется в сенсорных системах, что делает его ключевым элементом в разработке аналитических систем.

1.4.2 Структурные и эксплуатационные характеристики активированного угля

Получение активированного угля осуществляется через термическую обработку природного органического сырья (включая древесину, скорлупу кокосов, косточки фруктов и другие биомассы), за которой следует этап активации. Активация может осуществляться физическим способом (поток пара или диоксида углерода при высоких температурах) либо химическим (с использованием кислотных или щелочных реагентов). В результате этих процессов формируется пористая структура, включающая развитую сеть микропор (диаметром менее 2 нм), мезопор (в диапазоне 2–50 нм) и макропор

(свыше 50 нм), что придаёт материалу уникальные сорбционные и физико-химические свойства.

Основными преимуществами активированного угля как функционального материала являются:

1. Выдающаяся адсорбционная способность, обусловленная его значительной поверхностной площадью, достигающей значений от 500 до 1500 м²/г, что способствует высокой чувствительности сенсоров.
2. Электропроводность, обеспечиваемая наличием sp²-гибридизованных углеродных атомов в графитоподобной структуре, что критически важно для обеспечения надёжных электрохимических откликов.
3. Химическая инертность, позволяющая сохранять стабильность в широком диапазоне кислотно-щелочных условий и потенциалов, характерных для различных анализируемых сред.

1.4.3 Функции активированного угля в электрохимических биосенсорах

В конструкции электрохимических сенсоров активированный уголь часто используется в качестве функционального покрытия или модификатора поверхности электрода. Он также может служить токопроводящей матрицей для закрепления ферментов, катализаторов и других биологически активных компонентов. Особенно ценно его применение в сенсорах, предназначенных для определения аскорбиновой кислоты, по следующим причинам:

1. Повышение эффективности переноса электронов, благодаря чему снижается перенапряжение на стадии окисления аскорбиновой кислоты и улучшается сигнал при регистрации.
2. Стабилизация ионных жидкостей (ИЖ) – при совмещении с ИЖ активированный уголь предотвращает их агрегацию и фазовое разделение, повышая долговечность и стабильность сенсорной системы.
3. Высокая избирательность – оптимизация структуры активированного угля (например, выбор материала с преобладанием мезопор) позволяет эффективно минимизировать влияние мешающих компонентов, таких как глюкоза или мочева кислота.

1.4.4 Синергетическое использование активированного угля и ионных жидкостей

Совместное применение активированного угля и ионных жидкостей представляет собой инновационный и перспективный подход в разработке

чувствительных сенсорных систем. Ионные жидкости характеризуются уникальными физико-химическими свойствами: высокой ионной проводимостью, устойчивостью к термическому и химическому воздействию, а также способностью растворять широкий спектр как органических, так и неорганических веществ. Использование ионных жидкостей в качестве дисперсионной среды или в роли поверхностного модификатора позволяет существенно улучшить электрокаталитические характеристики углеродных материалов, способствует ускоренному переносу зарядов и повышению чувствительности сенсорного отклика. [5]

В совокупности, активированные углеродные материалы представляют собой универсальные и высокоэффективные компоненты сенсорных систем, благодаря сочетанию таких качеств, как высокая площадь поверхности, проводимость, стабильность и сорбционные характеристики. Их интеграция с ионными жидкостями открывает новые направления в создании устойчивых, точных и чувствительных биосенсоров, способных к детекции аскорбиновой кислоты даже при наличии интерферентов. Полученные экспериментальные данные, а также подтверждение в научной литературе указывают на высокую эффективность такого подхода в аналитической химии и биомедицинской диагностике.

1.5 Электрохимические методы регистрации: кондуктометрия и pH-метрия

Современные биотехнологические исследования всё активнее используют электрохимические методы детекции, такие как кондуктометрия и pH-метрия, благодаря их высокой чувствительности, минимальным требованиям к пробоподготовке, доступности технического оснащения и возможности прямой интеграции с биосенсорными системами. Эти аналитические подходы позволяют отслеживать биохимические реакции в режиме реального времени, что особенно важно при мониторинге динамических изменений концентрации биологически активных соединений, включая аскорбиновую кислоту (витамин С), в различных исследуемых матрицах.

1.5.1 Кондуктометрический анализ

Метод кондуктометрии позволяет оценить проводимость растворов за счёт анализа содержания подвижных ионов. Чем выше концентрация ионов – тем выше электрическая проводимость среды, что делает этот подход полезным для

изучения растворов с изменяющимся ионным составом. Электропроводность напрямую отражает совокупный ионный состав среды, и её количественное значение может быть использовано для оценки концентрации электролитов – кислот, оснований и солей. Особенно эффективно данный метод применяется для изучения растворов, содержащих ионогенные вещества, что делает его актуальным в области химического и биохимического анализа.

В биосенсорике кондуктометрия применяется для регистрации изменений электропроводности, возникающих при взаимодействии определяемого аналита с чувствительным элементом сенсора. В случае анализа аскорбиновой кислоты, её взаимодействие с каталитическим компонентом сенсора (например, ферментом или наноматериалом) может вызывать изменение количества ионов в растворе, как за счёт окислительно-восстановительных процессов, так и в результате ферментативного расщепления. Эти изменения регистрируются прибором как сдвиги в электропроводности, что позволяет производить количественную оценку содержания витамина С в анализируемой пробе.

1.5.2 Методика рН-метрии

Измерение рН — это простой и распространённый способ оценки кислотности раствора, основанный на определении концентрации водородных ионов. Даже незначительное изменение кислотно-основного баланса может сигнализировать о химических реакциях в среде (особенно в биологических или буферных системах), таких как окисление, гидролиз, ферментативные превращения и другие реакции, сопровождающиеся изменением кислотности среды.

В биосенсорных системах рН-метрии применяется в качестве чувствительного способа мониторинга реакций, приводящих к образованию или поглощению протонов. При анализе аскорбиновой кислоты, её окисление в водной среде сопровождается изменением концентрации H^+ -ионов, что, в свою очередь, приводит к сдвигу рН. Это изменение фиксируется рН-электродом и может быть использовано в качестве аналитического сигнала, коррелирующего с концентрацией аскорбиновой кислоты.

1.5.3 Интеграция в биосенсорные платформы

Совместное использование измерений проводимости и рН позволяет повысить точность сенсорного анализа. Эти методы взаимодополняют друг друга, обеспечивая более полное представление о химических процессах, протекающих в анализируемой среде, таких как изменения в ионной

проводимости и сдвиги в кислотно-основном равновесии, что особенно важно при анализе многофакторных биохимических процессов.

Дополнительное улучшение характеристик сенсоров достигается за счёт использования высокоэффективных материалов – в частности, композитов на основе активированного угля и ионных жидкостей. Активированный уголь обеспечивает высокую сорбционную способность и электропроводность благодаря своей пористой структуре и наличию sp^2 -гибридизованных атомов углерода. Ионные жидкости, в свою очередь, улучшают проводимость и стабилизируют биомолекулы, что способствует усилению аналитического сигнала и повышению чувствительности сенсора. Такая комбинация материалов расширяет спектр возможностей сенсорной платформы и повышает её применимость для анализа аскорбиновой кислоты в различных средах, включая физиологические жидкости и пищевые продукты.

Таким образом, электрохимические методы анализа, такие как кондуктометрия и рН-метрия, представляют собой эффективные инструменты для создания высокоточных биосенсорных систем. Их применение в сочетании с современными наноматериалами, такими как активированный уголь и ионные жидкости, открывает новые перспективы для точного, быстрого и надёжного определения биологически активных веществ, включая аскорбиновую кислоту, что делает данные подходы особенно актуальными в биомедицине, фармацевтике и пищевой аналитике.

1.6 Применение биосенсоров в биотехнологии, медицине и смежных отраслях

На сегодняшний день биосенсоры широко внедряются в различные области науки и практики благодаря их способности осуществлять экспресс-анализ биохимических и физических параметров с высокой чувствительностью и специфичностью. В медицинской диагностике биосенсорные устройства стали незаменимыми инструментами для выявления и контроля ряда патологических состояний. С их помощью возможно быстрое и неинвазивное определение концентраций ключевых биомаркеров в биологических жидкостях – таких как кровь, моча и слюна. Это позволяет эффективно мониторить, например, уровень глюкозы у пациентов с сахарным диабетом, выявлять воспалительные процессы по уровню соответствующих цитокинов, а также диагностировать серьёзные заболевания, включая различные формы онкопатологий, инфаркты и инсульты, на ранних стадиях их развития. Биосенсоры также активно используются при наблюдении за динамикой состояния пациентов в ходе терапии, обеспечивая индивидуализированный подход к лечению.

Как было указано в [11], биосенсоры имеют популярность во многих отраслях науки и жизнедеятельности:

В *фармацевтической отрасли* биосенсорные технологии играют важную роль в контроле качества и биодоступности лекарственных препаратов, особенно в ходе доклинических и клинических исследований. С их помощью можно оценивать фармакокинетику и фармакодинамику действующих веществ, а также выявлять возможные побочные эффекты и взаимодействия с другими соединениями в реальном времени.

В секторе *пищевой промышленности* биосенсоры находят применение для оперативного анализа состава продовольственных товаров. Они позволяют обнаруживать остаточные количества химических добавок, таких как синтетические красители, консерванты и ароматизаторы, а также идентифицировать аллергены (например, глютен, лактозу, арахисовые белки) и следы фальсификации продукции. Это способствует соблюдению санитарных и гигиенических норм, а также повышает уровень пищевой безопасности и защищает потребителей от потенциально опасных веществ.

В сфере *водоочистки и экологии* биосенсоры используются для контроля параметров качества питьевой и технической воды. С помощью этих устройств можно обнаруживать наличие токсичных металлов, органических загрязнителей, патогенных микроорганизмов, а также вирусов в природных и сточных водах. Такие сенсорные системы позволяют в реальном времени реагировать на отклонения от нормативных значений и предупреждать распространение загрязнений, что особенно актуально для промышленных регионов и территорий с дефицитом чистой воды.

При оценке состояния *окружающей среды* биосенсорные технологии применяются для анализа загрязнённости атмосферного воздуха, в том числе на содержание вредных газов (таких как диоксид серы, оксиды азота, аммиак), аэрозольных частиц и пыли. Также они используются для мониторинга почв, выявляя наличие тяжёлых металлов, пестицидов и нефтепродуктов. Благодаря высокой чувствительности сенсоры позволяют фиксировать даже незначительные превышения предельно допустимых концентраций, что даёт возможность своевременно предпринимать меры по защите окружающей среды и здоровью населения.

В *энергетическом секторе* биосенсоры используются для оценки состава и качества различных видов топлива. Их применение позволяет контролировать содержание примесей в нефтепродуктах и биотопливе, а также оптимизировать процессы горения, снижая уровень вредных выбросов в атмосферу. Это способствует повышению энергетической эффективности и экологической устойчивости производства.

В *биотехнологической промышленности* биосенсоры служат важным инструментом для мониторинга биохимических параметров в ходе сложных

технологических процессов. В частности, они применяются для контроля за динамикой ферментации, биосинтеза метаболитов и рекомбинантных белков, обеспечивая непрерывный контроль состава среды и позволяя оперативно корректировать условия проведения процесса в реальном времени. Это особенно важно для повышения выхода целевого продукта и обеспечения его стабильного качества.

В условиях промышленных предприятий биосенсорные системы используются для контроля выбросов опасных веществ – например, аммиака, метана, сероводорода, а также для отслеживания технологических параметров, обеспечивающих безопасность и стабильность производственного цикла. Такие сенсоры позволяют минимизировать аварийные риски и повысить промышленную экологическую безопасность.

Кроме того, в области обеспечения общественной и национальной безопасности биосенсорные технологии применяются для обнаружения опасных и запрещённых веществ – таких как наркотики, взрывчатые компоненты, токсические газы и биологические агенты. Эти устройства незаменимы на стратегически важных объектах, в аэропортах, метрополитене и других местах массового скопления людей, обеспечивая защиту от потенциальных угроз и террористических актов.

Итоговое заключение

Таким образом, биосенсоры представляют собой универсальные, высокотехнологичные и перспективные аналитические инструменты, успешно интегрируемые в широкий спектр отраслей. Их использование обеспечивает оперативность, точность и надёжность анализа, а также открывает новые возможности для оптимизации технологических, медицинских и экологических процессов. Благодаря своей функциональности и адаптивности биосенсоры становятся ключевым элементом современной биотехнологической инфраструктуры.

2 Материалы, объект и методика исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования в данной работе является электрохимический сенсор, созданный на основе композитной пасты, содержащей ионную жидкость ($[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$ и активированный уголь. Сенсор применяется для определения аскорбиновой кислоты (витамина С) в модельных растворах с различной концентрацией. Такой подход позволяет исследовать чувствительность системы к аналиту и оценить возможность создания недорогого и стабильного сенсорного элемента на неферментной основе.

Предмет исследования – изменения электропроводности (мкСм/см) и pH растворов, вызванные взаимодействием сенсорной поверхности с аскорбиновой кислотой. Полученные данные позволяют оценить отклик сенсора и выявить его аналитические характеристики.

Основной акцент в работе сделан на применении ионной жидкости, синтезированной на основе 1-метилимидазола и 3-хлорпропионовой кислоты, которая используется в качестве функционального модификатора сенсорной поверхности. Такая жидкость обладает высокой ионной проводимостью, низкой летучестью, термической стабильностью и электрохимической активностью, что делает её перспективной для сенсорики.

2.2 Материалы и оборудование

В качестве исходных реагентов для синтеза ионной жидкости были взяты 1-метилимидазол (азотсодержащее органическое основание, использованное в качестве катионного компонента при синтезе ионной жидкости) и 3-хлорпропионовая кислота (органическая кислота, обеспечивающая анионную составляющую ионной жидкости).

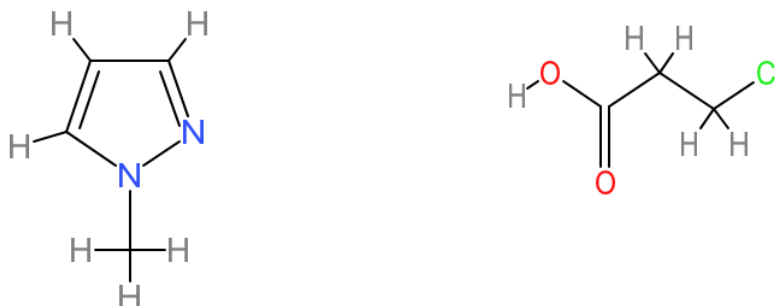


Рисунок 1 - Структурные формулы 1-метилимидазола и 3-хлорпропионовой кислоты

Для очистки ионной жидкости от примесей использовался этилацетат ($C_4H_8O_2$), затем использовался этанол 96% (для удаления остатков этилацетата и возможных остатков примесей).



Рисунок 2 – Этилацетат

Растворы аскорбиновой кислоты были созданы с помощью фосфатно-солевого буферного раствора (Phosphate Buffered Saline, pH 7.4) и непосредственно сама аскорбиновая кислота (таблетированная форма), которая является целевым аналитом, применяемым в модельных растворах для оценки отклика сенсора.

2.2.1 Роль фосфатно-солевого буфера (PBS) в эксперименте

Применение фосфатного буферного раствора (PBS, phosphate-buffered saline) в данном исследовании обусловлено рядом ключевых причин, непосредственно влияющих на корректность и воспроизводимость результатов [1]:

1. Поддержание стабильного уровня pH.

Аскорбиновая кислота, как слабая органическая кислота, способна существенно снижать кислотность среды при растворении в чистой воде. Такие флуктуации pH могут негативно сказаться на точности измерений, особенно при использовании методов pH-метрии и кондуктометрии. Буферный раствор нивелирует данные колебания, обеспечивая устойчивую среду в процессе анализа.

2. Создание модельных условий, приближённых к физиологическим.
PBS – это распространённый лабораторный стандарт, активно

применяемый в биохимии, сенсорике, микробиологии и медико-биологических исследованиях. Его ионный состав и pH (в данном случае 7.4) приближен к параметрам биологических жидкостей, что делает результаты экспериментов более релевантными с точки зрения практического применения сенсора, в том числе в биомедицинских задачах.

3. Обеспечение постоянной ионной силы раствора. Для электрохимических методов анализа, таких как кондуктометрия, важным параметром является стабильность ионной среды. Буфер препятствует разбросу значений электропроводности, вызванному неконтролируемыми изменениями ионной силы раствора. Это особенно критично при построении калибровочной зависимости и сравнении показаний для растворов с различной концентрацией аскорбиновой кислоты.

Таким образом, использование фосфатно-буферного солевого позволяет создать контролируемые, стабильные условия измерения, минимизировать погрешности и повысить достоверность получаемых данных.

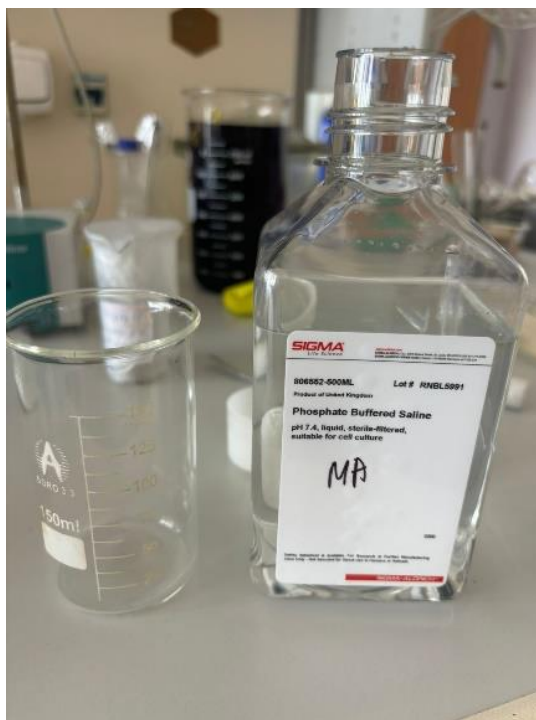


Рисунок 3 - Фосфатно-солевой буферный раствор (Phosphate Buffered Saline (PBS), pH 7.4, стерильный раствор от Sigma Life Science)

Биосенсорная паста представляла собой смесь синтезированной и очищенной ионной жидкости и активированного угля (таблетированная форма).



Рисунок 4 – Биосенсорная паста

2.3 Лабораторное оборудование и приборы

Водяная баня (с обратным холодильником) – применялась на этапе синтеза ионной жидкости. Позволяла поддерживать стабильную температуру ($\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) в течение нескольких часов, что необходимо для равномерного протекания реакции между 1-метилимидазолом и 3-хлорпропионовой кислотой. Для контроля температуры использовался стеклянный термометр.



Рисунок 5 – Водяная баня (с обратным холодильником) и термометр

Ступка с пестиком – использовалась для измельчения таблеток аскорбиновой кислоты и активированного угля до порошкообразного состояния, необходимого для приготовления растворов и сенсорной пасты.



Рисунок 6 – Размельченные таблетки аскорбиновой кислоты и активированного угля

Магнитная мешалка с подогревом – использовалась для перемешивания компонентов ионной жидкости в процессе синтеза. Это обеспечивало равномерное взаимодействие реагентов и предотвращало локальный перегрев. Также она применялась для выпаривания остатков этилацетата и этанола, в процессе очистки ионной жидкости.



Рисунок 7 – магнитная мешалка с подогревом

Кондуктометр – применялся для измерения электропроводности растворов аскорбиновой кислоты, в которые помещался сенсор. Измерения проводились в единицах микросименс на сантиметр (мкСм/см). Сенсорный электрод входил в комплект прибора и представлял собой стеклоуглеродный электрод, погружавшийся непосредственно в раствор.



Рисунок 8 – Кондуктометр

рН-метр – использовался для измерения кислотности (рН) растворов различной концентрации. Это позволяло проследить изменение рН при увеличении содержания аскорбиновой кислоты, а также оценить чувствительность сенсора к кислотной среде.



Рисунок 9 – рН-метр

Таким образом, для проведения исследования была собрана простая, но функциональная лабораторная установка, которая позволила синтезировать ионную жидкость, приготовить сенсорный элемент, а также провести серию измерений с последующим анализом полученных данных.

3 Экспериментальная часть

3.1 Синтез и очистка ионной жидкости

Для получения биосенсорной платформы была синтезирована ионная жидкость с химической формулой $[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$ — хлорид 1-(2-карбоксиэтил)-3-метилимидазолия.

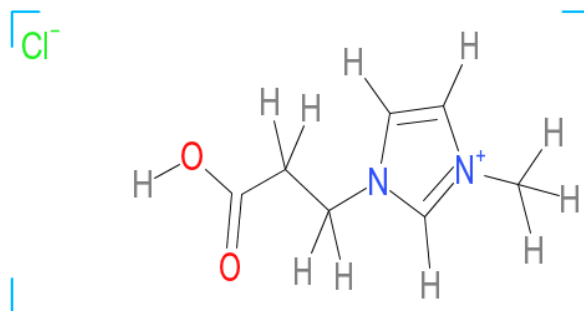


Рисунок 10 – Структурная формула синтезированной ионной жидкости (1-(2-карбоксиэтил)-3-метилимидазолия хлорид)

Катионной составляющей выступал 1-метилимидазол, в то время как роль аниона выполняла 3-хлорпропионовая кислота. Выбор указанных соединений обусловлен их способностью участвовать в реакции с образованием устойчивых ионных пар с низкой температурой плавления и удовлетворительными характеристиками растворимости.

Обоснование выбора компонентов для синтеза ионной жидкости

В рамках данного исследования для получения ионной жидкости было выбрано сочетание 1-метилимидазола и 3-хлорпропионовой кислоты, что на первый взгляд может показаться нестандартным по сравнению с классическими системами на основе тетрабутиламмония, пиридиния или имидазолиевых ионов с галогенидами или гидрофобными анионами (например, $[\text{BMIm}][\text{BF}_4]$, $[\text{EMIm}][\text{NTf}_2]$, $[\text{HMIm}][\text{Cl}]$ и др.).

Тем не менее, выбор именно этих реагентов был обусловлен рядом ключевых факторов:

1-метилимидазол представляет собой гетероциклическое соединение с выраженными основными свойствами, высокой термической стабильностью и способностью к образованию устойчивых имидазолиевых катионов. Он широко используется в синтезе ионных жидкостей благодаря своей химической доступности, относительно низкой токсичности и высокой электропроводности получаемых соединений.

3-хлорпропионовая кислота содержит одновременно кислотную и электрофильную (галогенсодержащую) функциональные группы, что делает её эффективным акцептором в реакции нуклеофильного замещения. Благодаря наличию карбоксильной группы в боковой цепи, получаемая ионная жидкость дополнительно приобретает полярные ионные свойства и высокую растворимость в водных и водно-солевых средах, что важно для сенсорных применений.

Кроме того, сочетание данных веществ позволяет получить протонную ионную жидкость, обладающую высокой ионной подвижностью и стабильностью при комнатной температуре. Полученное соединение $[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$ проявляет комплекс характеристик, критически важных для сенсорики: высокую ионную проводимость, возможность стабилизировать реакционную среду и совместимость с углеродными материалами.

Таким образом, несмотря на то что выбранные компоненты встречаются реже по сравнению с традиционными ионными парами, именно их химическая природа делает синтезируемую жидкость подходящей для целей электрохимического сенсорного анализа. Такой подход позволяет оптимизировать свойства сенсора и повысить его отклик без использования биологических ферментов.

3.1.1 Расчёт реагентов

Для синтеза объёма ионной жидкости, достаточного для дальнейших опытов (5 мл), были произведены следующие расчёты:

1. Предполагаемая плотность продукта принята равной 1.15 г/мл, что даёт $5 \text{ мл} \times 1.15 \text{ г/мл} = 5.75 \text{ г}$ конечной массы.

2. Массу делим поровну между реагентами: по 2.875 г на каждое вещество.

	массу	в	моли:
– 1-метилимидазол:	2.875 г	/ 82.11 г/моль	≈ 0.0350 моль
– 3-хлорпропионовая кислота:	2.875 г	/ 108.52 г/моль	≈ 0.0265 моль

Молярное соотношение составляло примерно 1.3 : 1, с избытком азотсодержащего основания.

4. Перевод 1-метилимидазола в объём: $2.875 \text{ г} / 0.98 \text{ г/мл} \approx 2.93 \text{ мл}$

Итак, на синтез 5 мл ионной жидкости потребовалось 2.93 мл 1-метилимидазола и 2.875 г 3-хлорпропионовой кислоты.

3.1.2 Ход реакции

Реакция образования $[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$ представляет собой нуклеофильное замещение между:

1. 1-метилимидазолом ($\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_2$, 0.0350 моль, 2.93 мл),
2. 3-хлорпропионовой кислотой ($\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}_2$, 0.0265 моль, 2.875 г).

Реакцию проводили в круглодонной колбе, снабжённой обратным холодильником, с установкой на водяную баню. Перемешивание обеспечивалось с помощью магнитной мешалки. Процесс протекал при постоянной температуре 60°C в течение трёх часов. По окончании синтеза реакционную смесь охлаждала до комнатной температуры (порядка 25°C).

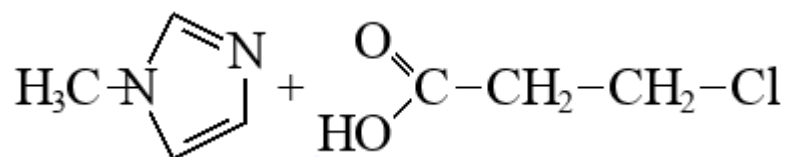


Рисунок 11 – Реакция нуклеофильного замещения между 1-метилимидазолом и 3-хлорпропионовой кислоты

3.1.3 Характеристика ионной жидкости

Ионные жидкости данного класса характеризуются рядом полезных свойств [17]: они демонстрируют стабильность в широком диапазоне температур, малую летучесть и высокую ионную проводимость. За счёт своей структуры ионная жидкость способствует более эффективному протеканию электрохимических процессов. В рамках настоящего исследования полученное соединение выполняет роль чувствительного слоя биосенсора, способного усиливать аналитический сигнал при детекции аскорбиновой кислоты.

3.1.4 Очистка полученной ионной жидкости

После завершения синтеза продукт подвергался многоступенчатой очистке. На первом этапе к смеси дважды добавляли по 5 мл этилацетата с целью удаления остаточных органических веществ и возможных побочных соединений, образовавшихся в ходе реакции. Каждый раз после добавления растворителя проводилось интенсивное перемешивание, после чего жидкость отделялась.

В ходе промывки ионной жидкости происходит разделение фаз, потому что этилацетат является неполярным органическим растворителем, и не смешивается с $[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$.

Затем полученное соединение подвергали нагреванию при температуре около 60°C , чтобы испарить следовые количества этилацетата, оставшиеся после промывания. Этот этап позволял минимизировать присутствие летучих органических примесей.

Для дополнительной очистки образец дважды промывали 96% этанолом (по 5 мл на каждую промывку). В ходе данного процесса ионная жидкость и этанол смешались, потому что эти два соединения полярны – и они хорошо смешиваются. Этанол эффективно удалял непрореагировавшие исходные вещества и обеспечивал более высокую чистоту продукта. Затем его остатки так же удалялись путем выпаривания на магнитной мешалке с подогревом. В ходе нагрева выделялись пары характерного запаха.

После всех стадий обработки полученное вещество оставляла при комнатной температуре на 24 часа для естественной сушки. В результате был получен чистый продукт – прозрачная, вязкая жидкость с характерным слабым запахом, визуальнo не содержащая примесей.

3.2 Результаты ИК-спектpометрии

Для подтверждения структуры синтезированной ионной жидкости $[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$ был проведен инфракрасный анализ. Полученный спектр содержит ряд характерных полос поглощения, указывающих на наличие функциональных групп, соответствующих заявленной структуре вещества.

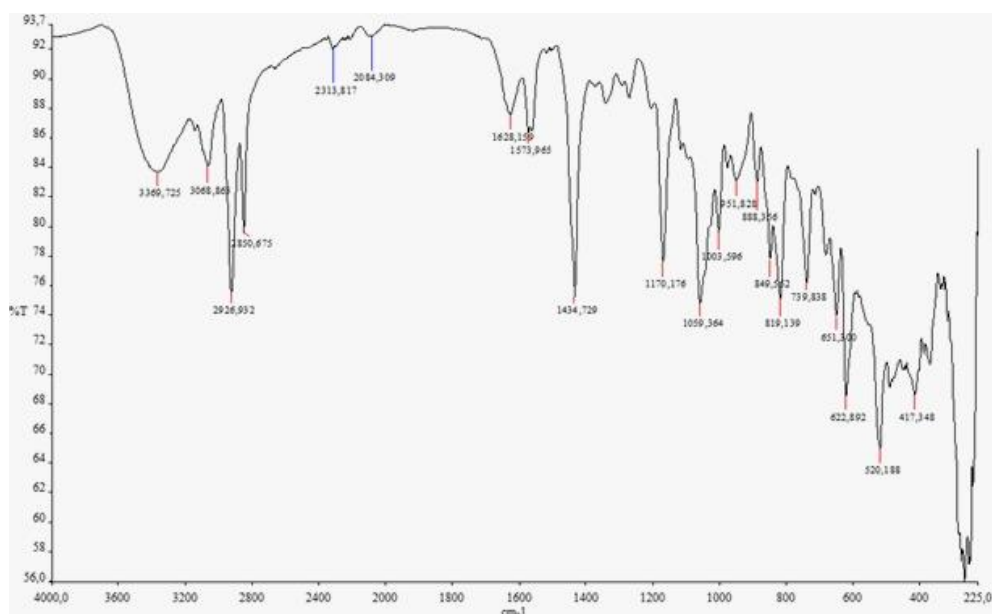


Рисунок 12 – результаты ИК- спектра

В зоне 3300–3050 см^{-1} наблюдается широкое поглощение, относящееся к колебаниям протонных групп – N–H и O–H. Это характерно для ионных жидкостей, образованных на основе кислот и азотсодержащих оснований. Также в этой области фиксируются C–H колебания имидазольного кольца.

Полосы в районе 2940 и 2850 см^{-1} связаны с алкильными связями C–H, отражающими присутствие метильных и метиленовых фрагментов в структуре. Валентные колебания карбоксильной группы проявляются на спектре в виде выраженного пика около 1720 см^{-1} , что подтверждает наличие остатка карбоновой кислоты.

Пики между 1620 и 1570 см^{-1} интерпретируются как колебания C=N и C=C, характерные для ароматического кольца имидазола. В области 1450–1200 см^{-1} располагаются деформационные колебания C–H и растяжения связей C–N и C–O. Особый интерес представляют пики в интервале 620–520 см^{-1} - они указывают на наличие связи C–Cl, подтверждая присутствие хлорсодержащего аниона.

Таким образом, по данным ИК-спектроскопии можно заключить, что в образце присутствуют все структурные фрагменты, соответствующие продукту реакции между 1-метилимидазолом и 3-хлорпропионовой кислотой, что подтверждает успешность синтеза ионной жидкости.

3.3 Приготовление биосенсорной пасты

Процесс получения сенсорной пасты заключался в сочетании синтезированной ионной жидкости с активированным углём, предварительно доведённым до порошкообразного состояния при помощи фарфоровой ступки и пестика. В качестве углеродного носителя использовался таблетированный активированный уголь, приобретённый в аптеке (одна таблетка содержала 500 мг вещества). Измельчённый сорбент соединяли с 0.3 – 0.5 мл ионной жидкости и перемешивали вручную до получения однородной пасты с пластичной консистенцией, пригодной для нанесения на электродную поверхность.

Выбор активированного угля в качестве основы пастообразного слоя обоснован его развитой поверхностью, пористой структурой и высокой электропроводностью [18].

Активированный уголь:

- Увеличивает площадь контакта между сенсорной пастой и раствором.

- Обеспечивает фиксацию ионной жидкости, не давая ей стекать с электрода.
- Усиливает отклик за счёт улучшенного захвата молекул аналита (например, аскорбиновой кислоты) на поверхности.

Благодаря этим характеристикам он способствует надёжной фиксации и равномерному распределению ионной жидкости в структуре сенсора. Кроме того, уголь усиливает взаимодействие анализируемого раствора с чувствительным элементом, увеличивая площадь контакта и тем самым улучшая отклик сенсорной системы.

3.4 Подготовка буферных растворов с аскорбиновой кислотой

С целью определения аналитической чувствительности разработанного сенсорного элемента были приготовлены модельные растворы на основе аскорбиновой кислоты, растворённой в фосфатно-солевом буферном растворе (PBS) с показателем pH, равным 7.4. Выбор буферной среды обоснован её способностью поддерживать стабильный уровень кислотности, что особенно важно при работе с аскорбиновой кислотой, чувствительной к колебаниям pH и к окислению в водной среде.

В качестве источника витамина С использовался таблетированный аптечный препарат, содержащий 500 мг аскорбиновой кислоты в одной дозировке. Выбор именно этой формы объясняется её доступностью, стандартизированной дозировкой и устойчивостью к хранению. Одна таблетка была предварительно измельчена в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния, после чего полностью растворена в 100 мл предварительно подготовленного фосфатного буфера. Полученный раствор с концентрацией 5.0 мг/мл (обозначенный как 100%) использовался в качестве исходной точки для приготовления стандартной серии растворов.

На основе полученного маточного раствора были приготовлены пять разведений различной концентрации, каждое объёмом по 10 мл. Это было необходимо для построения калибровочной кривой, отражающей зависимость измеряемого параметра (электропроводности или pH) от концентрации аналита.

№ раствора	Концентрация раствора	Объем исходного раствора	Объем PBS
1	100%	100 мл	0 мл
2	50%	5 мл	5 мл
3	25%	2.5 мл	7.5 мл
4	10%	1 мл	9 мл
5	5%	0.5 мл	9.5 мл

Таблица 1 – концентрации буферных растворов с аскорбиновой кислотой

Таким образом, была подготовлена серия растворов, в которых затем проводились измерения pH и электропроводности.

3.5 Обоснование выбора компонентов

В процессе разработки сенсорной системы на основе ионной жидкости был осуществлён осознанный выбор реагентов и материалов, исходя из их физико-химических свойств, доступности и аналитической эффективности:

1. 1-метилимидазол и 3-хлорпропионовая кислота были выбраны в качестве исходных веществ для синтеза ионной жидкости благодаря своей способности вступать в реакцию с образованием стабильной протонной ионной пары. Получаемое соединение обладает высокой ионной подвижностью, термической устойчивостью и электрохимической активностью, что делает его особенно подходящим для задач сенсорики.

2. Активированный уголь в таблетированной форме использовался в качестве твёрдой матрицы биосенсорной пасты. Его структура обладает значительной площадью поверхности, развитой микропористостью и отличной адсорбционной способностью, что способствует эффективному удержанию ионной жидкости и улучшает контакт анализируемого вещества с чувствительным элементом. Доступность препарата в аптечной форме упрощает лабораторную работу и делает методику воспроизводимой.

3. Аскорбиновая кислота, представленная в виде аптечных таблеток, выбрана в качестве модельного аналита по ряду причин: высокая стабильность вещества, известная массовая доля активного компонента, широкое применение в пищевой и медицинской промышленности, а также значимость для оценки антиоксидантной активности. Таблетированная форма позволяет точно дозировать количество вещества и упрощает приготовление модельных растворов.

4. Фосфатно-солевой буферный раствор использован в качестве растворителя и среды для проведения анализа. Он обеспечивает стабильный

уровень pH, необходимый для надёжного функционирования сенсора. Применение буфера обусловлено тем, что аскорбиновая кислота подвержена окислению, особенно при изменении кислотности, а колебания pH могут существенно повлиять на точность результатов электрохимических измерений.

Таким образом, каждый компонент был выбран с учётом его роли в функционировании биосенсора, что позволило создать простую, доступную и эффективную сенсорную систему на основе ионной жидкости без применения ферментных элементов.

3.6 Проведение измерений электропроводности и pH

Оценка сенсорных характеристик системы осуществлялась с применением двух методов: кондуктометрического анализа и pH-метрии. Измерения электропроводности проводились с использованием цифрового кондуктометра, оснащённого стеклоуглеродным электродом. Рабочая поверхность электрода предварительно модифицировалась биосенсорной пастой, содержащей ионную жидкость. Каждый образец из серии растворов аскорбиновой кислоты погружался в исследуемую ячейку, после чего фиксировалось значение электропроводности, выраженное в микросименсах на сантиметр (мкСм/см). Все измерения проводились при температуре окружающей среды, колебавшейся в пределах 22–25 °С.

Дополнительно проводился контроль кислотности среды посредством pH-метра, что позволило зарегистрировать изменения значений pH в зависимости от концентрации аналита. Полученные данные использовались для построения функциональной зависимости и анализа характеристик сенсора.

Применение обеих методик – кондуктометрии и pH-метрии – обеспечило комплексную оценку свойств раствора и позволило проследить, как варьирование содержания аскорбиновой кислоты влияет на измеряемые параметры, что в совокупности свидетельствует о работоспособности и чувствительности исследуемой сенсорной системы.

3.6.1 Оценка биосенсорной активности

С целью экспериментального подтверждения аналитических свойств сенсора, созданного на основе ионной жидкости, были проведены испытания по измерению отклика на различные концентрации аскорбиновой кислоты. Подготовленные модельные растворы использовались для регистрации

показателей электропроводности и кислотности среды при контакте с чувствительным элементом сенсора.

Каждое значение было внесено в итоговую таблицу, а собранные данные легли в основу построения двух калибровочных графиков:

№ раствора	Концентрация раствора	Значение проводимости (мкСм/см)
1	100%	41.38
2	50%	30.85
3	25%	25.14
4	10%	22.04
5	5%	21.25

Таблица 2 – Значения проводимости растворов

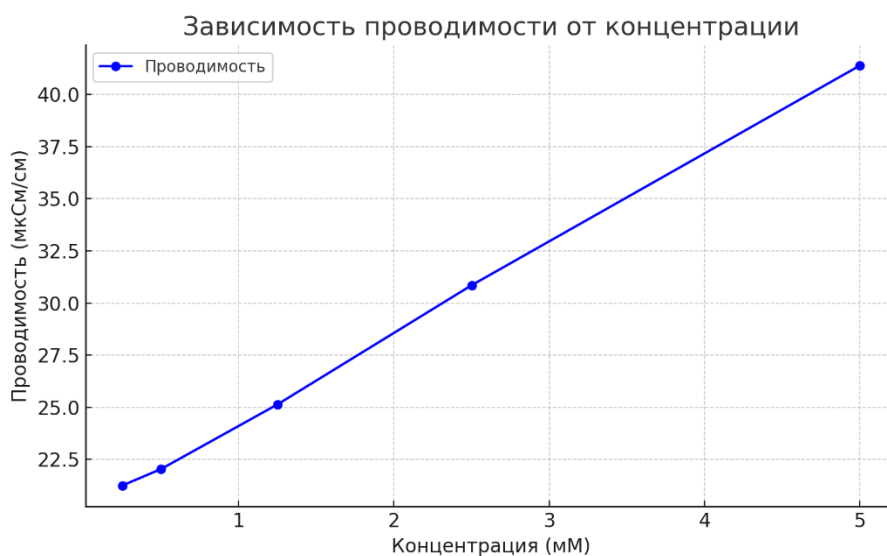


Рисунок 13 – график зависимости электропроводности (мкСм/см) от массовой концентрации аскорбиновой кислоты (мг/мл)

№ раствора	Концентрация раствора	Значение pH
1	100%	5.1
2	50%	5.5
3	25%	6.5
4	10%	7.05
5	5%	7.8

Таблица 3 – Значения pH измерений

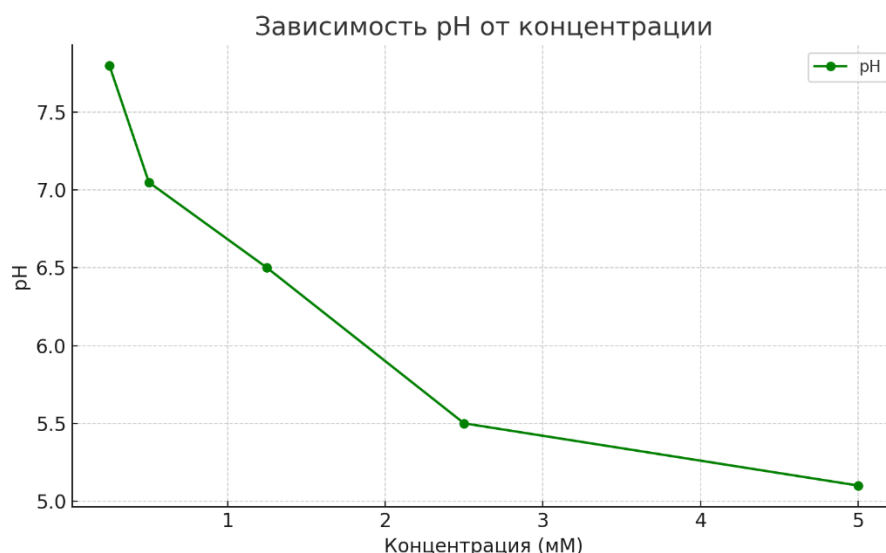


Рисунок 14 – график зависимости pH от содержания аналита в растворе

Анализ результатов показал наличие отчётливых, закономерных зависимостей между концентрацией аскорбиновой кислоты и измеряемыми параметрами, что свидетельствует о чувствительности сенсора и воспроизводимости его отклика. Устойчивость трендов подтверждает надёжность функционирования сенсорной платформы и демонстрирует её потенциал для использования в качественном и количественном анализе витамина С в водных средах без участия ферментных компонентов.

Таким образом, серия экспериментов подтвердила возможность применения предложенного устройства для неферментной детекции аскорбиновой кислоты с использованием простых и доступных методов регистрации.

3.7 Выводы по экспериментальной части

1. В ходе синтетического этапа получена ионная жидкость $[(CH_2)_2COOHmim]Cl$, обладающая комплексом свойств, критически важных для её применения в сенсорных системах: высокая термическая стабильность, значительная ионная подвижность, а также устойчивость к внешним воздействиям.

2. Результаты инфракрасной спектроскопии подтвердили формирование целевого соединения – протонной ионной жидкости – и продемонстрировали отсутствие посторонних примесей, что свидетельствует о высокой степени чистоты полученного вещества и успешности проведённого синтеза.

3. На основе разработанной ионной жидкости и активированного углеродного сорбента была создана биосенсорная паста, пригодная для модификации электродной поверхности. Полученный сенсор отличается стабильной работой, простотой изготовления и отсутствием необходимости в использовании ферментативных компонентов.

4. Проведённые измерения pH и электропроводности растворов с различным содержанием аскорбиновой кислоты позволили зафиксировать отчётливую и воспроизводимую зависимость между концентрацией аналита и физико-химическими характеристиками среды, что подтверждает аналитическую чувствительность предложенного сенсора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОоды

В ходе выполнения дипломной работы была рассмотрена актуальная и перспективная тема разработки биосенсорных систем на основе ионных жидкостей (ИЖ) для определения аскорбиновой кислоты (АК). Аскорбиновая кислота представляет собой важное биологически активное соединение, играющее ключевую роль в антиоксидантной защите организма и участвующее во множестве биохимических процессов. Поэтому создание надежных и чувствительных сенсорных платформ для её определения имеет большое значение для медицины, пищевой промышленности, фармацевтики и экологического мониторинга.

В теоретической части работы был проведён анализ современных подходов к созданию биосенсоров, а также подробно изучены физико-химические свойства ионных жидкостей и активированных углеродных материалов как ключевых компонентов сенсорных матриц. Особое внимание уделено преимуществам ионных жидкостей, таким как высокая ионная проводимость, стабильность в широком диапазоне температур и pH, способность к растворению различных веществ и возможность создания устойчивых электрокаталитических сред.

Экспериментальная часть включала синтез и очистку ионной жидкости $[(CH_2)_2COOHmim]Cl$, приготовление биосенсорной пасты на основе ионных жидкостей и активированного угля, а также проведение серии кондуктометрических, pH-метрических и ИК-спектроскопических исследований с использованием буферных растворов аскорбиновой кислоты. Были определены оптимальные условия функционирования сенсорной системы, а также подтверждена её чувствительность, стабильность и селективность.

Результаты экспериментов подтвердили эффективность использования ионных жидкостей в качестве функционального компонента сенсорной матрицы. Обнаружено, что добавление ионной жидкости к углеродной основе не только улучшает электропроводность и устойчивость сенсора, но и способствует более точному определению аскорбиновой кислоты за счёт улучшенного переноса электронов и уменьшения фоновых помех.

Таким образом, проведённое исследование демонстрирует высокий потенциал применения ионных жидкостей в электрохимических биосенсорах нового поколения, в том числе для анализа витамина С в различных средах.

В ходе проведения дипломной работы и эксперимента были сделаны следующие выводы:

1. Подтверждена возможность использования ионных жидкостей в качестве чувствительных компонентов сенсоров благодаря их электропроводности и стабильности.
2. Разработанная сенсорная паста на основе $[(\text{CH}_2)_2\text{COOHmim}]\text{Cl}$ и активированного угля продемонстрировала устойчивый отклик при измерении различных концентраций аскорбиновой кислоты.
3. Проведённый синтез и структурное подтверждение ионной жидкости методом ИК-спектроскопии подтвердили соответствие её состава целевому соединению.
4. Совмещение методов кондуктометрии и pH-метрии позволило получить точные результаты, обеспечив более полную характеристику аналитического сигнала.
5. Разработанная методика может быть применена в практических задачах анализа витамина С, в том числе в пищевой, фармацевтической и биомедицинской отраслях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kumar A., Purohit B., Maurya P.K., Pandey L.M., Chandra P. Highly Sensitive Ascorbic Acid Sensor Based on Ionic Liquid Functionalized Graphene Oxide Nanocomposite // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2019. – Vol. 131.
2. Lehner P., Staudinger C., Borisov S.M., Klimant I. Pigment-based biosensors for environmental monitoring // *Nature Reviews Chemistry*. – 2019. – Vol. 3, No. 3.
3. Sahoo S., Satpati A.K. Exploring the potential of ionic liquid-based electrochemical biosensors for real-time biomolecule monitoring in pharmaceutical applications: From lab to life // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2021. – Vol. 143.
4. Li X., Meng X., Timofeeva M., Gifford C., He Y., Guo Y., Bian Z., Yang L., Millwood I.Y., Chen Y., Liang Y., Chen Z. The impact of plasma vitamin C levels on the risk of cardiovascular diseases and Alzheimer's disease: A Mendelian randomization study // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2020. – Vol. 111, No. 6.
5. Zhao F., Wang Y., Xu X., Liu Y., Song R., Lu G., Li Y. Functional Ionic Liquids Decorated Carbon Hybrid Nanomaterials for the Electrochemical Biosensors // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2016. – Vol. 8, No. 9.
6. Gopalan A.I., Lee K.-P., Manesh K.M., Santhosh P. Glucose Biosensor Based on Disposable Activated Carbon Electrodes Modified with Platinum Nanoparticles Electrodeposited on Poly(Azure A) // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2007. – Vol. 123, No. 2.
7. Zhao F., Wu J., Ying Y., She Y., Wang J., Ping J. Highly sensitive amperometric biosensors for phenols based on polyaniline–ionic liquid–carbon nanofiber composite // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2018. – Vol. 118.
8. Sakkos J.K., Mutlu B.R., Wackett L.P., Aksan A. Biosensors in microalgae: A roadmap for new opportunities in synthetic biology and biotechnology // *Biotechnology Advances*. – 2018. – Vol. 36, No. 4.
9. Yang J., Hu Y., Li Y. Purpald-functionalized biosensor for simultaneous electrochemical detection of ascorbic acid, uric acid, L-cysteine and lipoic acid // *Microchimica Acta*. – 2019. – Vol. 186, No. 5.
10. Bhalla N., Jolly P., Formisano N., Estrela P. Introduction to biosensors // *Essays in Biochemistry*. – 2016. – Vol. 60, No. 1.
11. Свалова Т. С., Малышева Н. Н., Медведева М. В., Охохонин А. В., Козицина А. Н., Сараева С. Ю. Основы конструирования биосенсоров: Учебное пособие. – Москва: Лаборатория знаний, 2021. – 123 с.

12. Zhang Q., Shreeve J.M. Solubility-switchable ionic liquids using a variety of anions // *Chemical Communications*. – 2006. – No. 24.
13. Liu Y., Wang Y., Li Y. Based Principal Component Analysis of Associated Ionic Liquid Biosensors // *Analytical Chemistry*. – 2017. – Vol. 89, No. 4.
14. Zhao F., Wang Y., Xu X., Liu Y., Song R., Lu G., Li Y. A low detection limit penicillin biosensor based on single graphene nanosheets preadsorbed with hematein/ionic liquids/penicillinase // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2014. – Vol. 61.
15. Zheng Y., Liu Z., Jing Y., Li J., Zhan H. A Simple Acetylcholinesterase Biosensor Based on Ionic Liquid/Multiwalled Carbon Nanotubes-Modified Screen-Printed Electrode for Rapid Detecting Chlorpyrifos // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2015. – Vol. 208.
16. Chen Y., Ren H., Liu N., Sai N., Liu X., Huang J., Wang J., Ning B., Gao Z. Recent advances in nanomaterial-based optical biosensors and their biomedical and biopharmaceutical applications // *Nano Today*. – 2020. – Vol. 35.
17. Zhao F., Wang Y., Xu X., Liu Y., Song R., Lu G., Li Y. Recent advances in ionic liquid-based electrochemical biosensor // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2019. – Vol. 130.
18. Sun W., Wang X., Zhu H., Li X., Wang G. Development of an efficient electrochemical sensor based on MoS₂ nanosheets and ionic liquid modified carbon paste electrode for determination of ascorbic acid in the presence of vitamin B₆ // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2018. – Vol. 814.
19. Maleki N., Safavi A., Farjami E. Ionic liquid based high performance electrochemical sensor for ascorbic acid in various foods and pharmaceuticals // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2009. – Vol. 629, No. 1–2.
20. Шведене Н. В., Чернышёв Д. В., Плетнёв И. В. Ионные жидкости в электрохимических сенсорах // *Российский химический журнал*. – 2015. – Т. 59, № 3.
21. Zhao F., Wang Y., Xu X., Liu Y., Song R., Lu G., Li Y. Applications of Ionic Liquids in Electrochemical Sensors and Biosensors // *Chemical Reviews*. – 2017. – Vol. 117, No. 10.
22. Ghanbari R., Khorsandi D., Zarepour A., Ghomi M., Tavakkoliamol Z., Fahimipour A., Zarrabi A. Ionic Liquid-based Sensors: Review // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2022. – Vol. 351.
23. Liu Y., Yu D., Zeng C., Miao Z., Dai L. Amperometric urea biosensor based on immobilized urease on polypyrrole and macroporous polypyrrole modified Pt electrode // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2010. – Vol. 25, No. 7.

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу
(наименование вида работы)

Музапаровой Сабины Нурлановны
(Ф.И.О. обучающегося)

6B05101 «Химическая и биохимическая инженерия»
(шифр и наименование ОП)

На тему: Биосенсоры на основе ионных жидкостей

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа состоит из введения, трёх разделов, заключения и списка использованной литературы из 23 источников, всего — 34 страницы машинописного текста. В работе представлен синтез ионной жидкости на основе 1-метилимидазола и 3-хлорпропионовой кислоты, а также создание биосенсора и оценка его чувствительности к аскорбиновой кислоте.

Автор продемонстрировал хорошую теоретическую подготовку и практические навыки, грамотно выполнив поставленные задачи. Синтезированная ионная жидкость показала высокую проводимость. На её основе с добавлением активированного угля была создана биосенсорная паста. При кондуктометрическом анализе выявлена активность ионов и зависимость проводимости от концентрации. Показано, что биосенсор может работать без фермента.

Дипломная работа на тему: «Биосенсоры на основе ионных жидкостей» логично структурирована, материал изложен последовательно. Исследование отличается качеством и представляет интерес для дальнейших научных разработок в области аналитики, медицины и биотехнологии.

Оценка работы

С учетом практической и научной ценности, дипломная работа на тему: «Биосенсоры на основе ионных жидкостей» выполненная Музапаровой Сабиной Нурлановной заслуживает оценки «отлично» (90 баллов, или 90%).

Рецензент

Доктор PhD, профессор

Кафедра биотехнологии, факультет

Биологии и биотехнологии КазНУ им. Аль-Фараби

(должность, уч. степень, звание)

Акимбеков Нуралы Шардарбекович


(подпись)

«10»

октября

2025 г.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На Дипломную работу
(наименование вида работы)

Музапаровой Сабины Нурлановны
(Ф. И. О. обучающегося)

6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»
(шифр и наименование ОП)

Тема: Биосенсоры на основе ионных жидкостей


Цель работы: Разработка и экспериментальная проверка биосенсора, основанного на ионной жидкости $[(CH_2)_2COONmim]Cl$ и активированном угле. Перед студентом были поставлены следующие задачи:

- синтезировать и очистить целевую ионную жидкость $[(CH_2)_2COONmim]Cl$;
- проверить свойства ионной жидкости и ее характеристики с помощью ИК-спектрометрии;
- сформировать биосенсорную пасту на основе активированного угля и ионной жидкости, нанести её на электрод;
- провести измерения электропроводности и pH растворов с различной концентрацией аскорбиновой кислоты;
- построить калибровочные зависимости и интерпретировать изменение измеряемых параметров в зависимости от концентрации аналита.

В процессе выполнения дипломной работы студент выполнил все задачи на профессиональном уровне и отлично справился с поставленными задачами. В ходе работы обучающийся проявил самостоятельность, аналитические и креативные способности и показал знания по дисциплинам в рамках ОП 6B05101 «Химическая и биохимическая инженерия».

Студент Музапарова Сабина Нурлановна выполнила работу в соответствии со стандартами и заслуживает оценки «отлично» (95 баллов, или 95%)

Научный руководитель
Доктор PhD., ассоц. проф.
(должность, уч. степень, звание)

 Рафикова Хадичахан Сабыржановна
(подпись)

«10» июня 2025 ж.



Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Биосенсоры на основе ионных жидкостей

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Музапарова Сабина НурлановнаХадичахан Рафикова

Подразделение

ИГИНГД

Объем найденных подобиий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

7095

Количество слов



КЦ

60377

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв	Б	1
Интервалы	A→	0
Микропробелы	·	12
Белые знаки	Б	0
Парафразы (SmartMarks)	a	6

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://official.satbayev.university/download/document/39835/2024_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%A3%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%90%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0.pdf	34 0.48 %
2	https://official.satbayev.university/download/document/39832/2024_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%98%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%9D%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D0%B0.pdf	18 0.25 %

3	https://official.satbayev.university/download/document/39835/2024_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%A3%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%90%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0.pdf	11 0.16 %
4	Изучение антиоксидантных свойств родия 6/7/2024 Satbayev University (ИГиНГД)	7 0.10 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.10 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Изучение антиоксидантных свойств родия 6/7/2024 Satbayev University (ИГиНГД)	7 (1) 0.10 %

из программы обмена базами данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.89 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://official.satbayev.university/download/document/39835/2024_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%A3%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%90%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0.pdf	45 (2) 0.63 %
2	https://official.satbayev.university/download/document/39832/2024_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%98%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%9D%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D0%B0.pdf	18 (1) 0.25 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---