

## DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF CHITOSAN AND 4-CHLOROBENZALDEHYDE-BASED SCHIFF BASES AND ASSESSMENT OF THE ANTIMICROBIAL PERFORMANCE OF DERIVED HYDROGELS

D. Mukhamediya<sup>1</sup>, D.N. Makhayeva<sup>1\*</sup>, D. Abduletip<sup>1</sup>, G.K. Abilova<sup>2</sup>,  
D.B. Kaldybekov<sup>1</sup>, G.S. Irmukhametova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> NJSC "K.Zhubanov Aktobe regional university", Aktobe, Kazakhstan

\*Corresponding author e-mail: [danelya.1993@gmail.com](mailto:danelya.1993@gmail.com)

**Abstract.** *Introduction.* Microbial resistance to antibiotics is a major global health challenge, as the growing number of multidrug-resistant pathogens limits treatment options and increases morbidity and mortality. This situation necessitates the development of eco-friendly and effective alternatives, including novel antibacterial agents. Schiff bases—organic compounds with an imine group ( $>\text{C}=\text{N}-$ )—are promising due to their simple synthesis, structural diversity, and broad biological activities, including antimicrobial effects. Of particular interest are Schiff bases derived from chitosan, a natural polymer known for its biocompatibility, non-toxicity, and high potential for chemical modification, which can improve its physicochemical and biological properties for applications in medicine and biotechnology. *This study aimed to synthesise Schiff bases based on chitosan and 4-chlorobenzaldehyde and to evaluate their structural and functional properties.* The compounds were characterised by IR and NMR spectroscopy, and their properties were studied using thermal analysis, rheological measurements, and assessment of adhesive behaviour. *Results and Discussion.* The formation of Schiff bases was confirmed by IR and NMR spectroscopy. Thermal analysis showed increased glass transition temperature and thermal stability of the samples. Hydrogels prepared from methylcellulose and modified chitosan exhibited thixotropic behaviour and significant antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Candida albicans*. *Conclusion.* Modified chitosan demonstrated improved properties and strong antimicrobial activity, indicating its potential as a basis for creating new antimicrobial materials for use in medicine, cosmetology, and the food industry.

**Keywords:** Schiff bases; chitosan; 4-chlorobenzaldehyde; hydrogels; antibacterial activity; adhesive properties.

---

Mukhamediya Dayana

Master of Technical Sciences, engineer;

E-mail: [mukhamediya@danielipharm.kz](mailto:mukhamediya@danielipharm.kz)

Makhayeva Danelya Nurlanova

PhD, senior researcher; E-mail: [danelya.1993@gmail.com](mailto:danelya.1993@gmail.com)

Abduletip Dilkhumar

PhD student; E-mail: [abduletipovad@gmail.com](mailto:abduletipovad@gmail.com)

---

---

**Citation:** Mukhamediya D., Makhayeva D.N., Abduletip D., Abilova G.K., Kaldybekov D.B., Irmukhametova G.S. Development and characterization of chitosan and 4-chlorobenzaldehyde-based schiff based and assessment of the antimicrobial performance of derived hydrogelss. *Chem. J. Kaz.*, **2025**, 4(92), 128-137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-4.2710-1185.56>

---

**Abilova Guzel Kabiletovna** *PhD, senior lecturer; E-mail: guzelab82@mail.ru*

**Kaldybekov Daulet Bolatovich** *PhD, leading researcher; E-mail: dauletchem@gmail.com*

**Irmukhametova Galiya Serikbayevna** *Candidate of Chemical Sciences, Professor;  
E-mail: galiya.irm@gmail.com*

---

## ПОЛУЧЕНИЕ ОСНОВАНИЯ ШИФФА НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И 4-ХЛОРБЕНЗАЛЬДЕГИДА И ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ЕГО ОСНОВЕ

**Д. Мухамедия<sup>1</sup>, Д.Н. Махаева<sup>1\*</sup>, Д.Абдулетип<sup>1</sup>, Г.К.Абилова<sup>2</sup>,  
Д.Б. Калдыбеков<sup>1</sup>, Г.С. Ирмухаметова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан

**Резюме.** Введение. Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам представляет собой один из наиболее серьёзных глобальных проблем здравоохранения. Постоянный рост числа патогенов с множественной лекарственной устойчивостью существенно ограничивает терапевтические возможности, повышает заболеваемость и смертность. В связи с этим особую актуальность приобретает поиск экологичных и эффективных альтернативных подходов, включая разработку новых антибактериальных агентов. Одним из перспективных направлений являются основания Шиффа — органические соединения, содержащие иминную группу ( $>\text{C}=\text{N}-$ ). Они привлекают внимание исследователей благодаря простоте синтеза, разнообразию структуры и широкому спектру биологических активностей, в том числе выраженным antimикробным свойствам. Особый интерес вызывают основания Шиффа на основе хитозана — природного полимера, обладающего биосовместимостью, биоактивностью, нетоксичностью и высокой способностью к химической модификации. Модификация хитозана позволяет улучшить его физико-химические и биологические характеристики, расширяя области применения в медицине, фармацевтике и биотехнологии. Цель исследования заключалась в синтезе оснований Шиффа на основе хитозана и 4-хлорбензальдегида, а также в изучении их структурных и функциональных свойств. Методология работы включала характеристику синтезированных соединений методами ИК- и ЯМР-спектроскопии, а также оценку физико-химических свойств посредством термического анализа, реологических исследований и изучения адгезионного поведения. Результаты и обсуждение. Были синтезированы основания Шиффа, образование которых подтверждено ИК- и ЯМР-спектроскопией. Термический анализ показал повышение температуры стеклования и термостабильности образцов. Гидрогели на основе метилцеллюлозы и модифицированного хитозана проявили тиксотропные свойства и antimикробную активность против *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и *Candida albicans*. Заключение. Результаты исследования демонстрируют перспективность модифицированного хитозана как основы для создания новых antimикробных материалов с потенциалом применения в медицине, косметологии и пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** основания Шиффа; хитозан; 4-хлорбензальдегид; гидрогели; антибактериальная активность; адгезивные свойства.

---

**Мухамедия Диана** *Магистр технических наук, инженер*

**Махаева Данэля Нурлановна** *PhD, старший научный сотрудник*

**Абдулетип Дильхумар** *PhD студент*

**Абилова Гузель Кабилетовна** *PhD, старший преподаватель*

**Калдыбеков Даulet Болатович** *PhD, ведущий научный сотрудник*

**Ирмухаметова Галия Серикбаевна** *к.х.н., профессор*

---

## 1. Введение

Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам — серьёзная угроза здравоохранению, так как число штаммов с множественной лекарственной устойчивостью (МЛУ) быстро растёт, что ограничивает лечение и повышает смертность [1]. Поэтому актуален поиск экологически безопасных антибактериальных агентов.

Основания Шиффа — органические соединения с иминной группой ( $>\text{C}=\text{N}-$ ), применяемые как пигменты, катализаторы, стабилизаторы полимеров, хемосенсоры, а также в фармацевтике и биомедицине [2]. Их популярность связана с простым и дешёвым синтезом, в частности термическим методом.

Хитозан — продукт деацетилирования хитина, обладающий сорбционными и увлажняющими свойствами и нетоксичностью [3]. Благодаря реакционноспособным группам (-OH, -NH<sub>2</sub>) он легко модифицируется, сохраняя биоразлагаемость и приобретая антимикробные, противоопухолевые и противовирусные свойства [4]. Производные Шиффа на основе хитозана проявляют активность против *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и грибов (*Candida albicans*), что делает их перспективными для пищевой, медицинской и косметической сфер [5].

Цель исследования — синтез оснований Шиффа на основе хитозана и 4-хлорбензальдегида, их характеристика и изучение антибактериальных, реологических и адгезивных свойств гидрогелей.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1 Материалы

В работе использовались 4-хлорбензальдегид, хитозан, метилцеллюлоза-40000 (вязкость 400 сР), молочная кислота (85%, Sigma Aldrich), гидроксид натрия (NaOH, Лабхимпром) и этиловый спирт (90%, «Талгар-Спирт»). Все реагенты применялись без дополнительной очистки.

### 2.2 Получение модифицированного хитозана

Хитозан (1,0 г) (С=2%) (ХТ) растворяли в 50 мл 2%-ного раствора молочной кислоты при перемешивании в течение 6 ч при комнатной температуре. К полученному раствору по каплям добавляли 10 мл этанола, содержащего рассчитанное количество 4-хлорбензальдегида (ХБА). Реакцию проводили при различных мольных соотношениях хитозана и альдегида — 1.6:1, 1:1, 1:2 и 1:3 (ХТ-ХБА) — при температуре 50 °C в течение 6 ч. pH реакционной среды находился в пределах 2,2–2,3. Осадок продукта выделяли добавлением 5%-ного раствора NaOH, после чего фильтровали и многократно промывали водой и этанолом до полного удаления непрореагировавшего альдегида. Полученный продукт высушивали в лиофильной сушке до получения белого порошка основания Шиффа на основе хитозана и 4-хлорбензальдегида.

### 2.3 Получение гидрогелей на основе основания Шиффа

Модифицированный хитозан ХТ-ХБА (0,2 г, соотношение 1:2 моль/моль) растворяли в 10 мл 2%-ного раствора молочной кислоты. Отдельно готовили 7,5%-ный водный раствор метилцеллюлозы. Для формирования гидрогеля растворы смешивали в соотношении 1:3 (масс. % соответственно). Полученную массу нейтрализовали до pH 5,0 путём капельного добавления 0,5 М раствора NaOH.

### 2.4 Физико-химические методы анализа

**ИК-спектроскопия.** Для физико-химической характеристики синтезированных оснований Шиффа использовался спектрометр a Vertex 70 V spectrometer. Пробы хитозана и ХТ-ХБА, полученные при мольных соотношениях 1.6:1, 1:1 и 1:3, подвергали лиофильной сушке до постоянной массы, после чего ИК-спектры регистрировали для сухих образцов.

**ЯМР-спектроскопия.** ЯМР-спектры соединений на основе хитозана и основания Шиффа ХТ-ХБА регистрировались на спектрометре JNM-ECA с рабочей частотой 500 МГц (Boston, MA, USA); образцы готовили в 0,5% растворе дейтерированной воды ( $D_2O$ ).

**Термогравиметрический анализ (TGA).** Анализ проводили на приборе SKZ1053 TGA с использованием навесок массой около 8 мг. Измерения выполняли при нагреве со скоростью 10 °C/мин в интервале температур 25–600 °C в атмосфере азота.

**Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК).** Анализ проводили на приборе SKZ1052B DSC с использованием навесок массой около 8 мг. Измерения выполняли при нагреве со скоростью 10 °C/мин в интервале температур 25–600 °C в атмосфере воздуха.

**Реологические характеристики гидрогелей** оценивались с помощью ротационного вискозиметра Lamy Rheology RM 200 (Lamy Rheology Instruments (Франция)).

Антимикробную активность образцов против *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и *Candida albicans* исследовали диско-диффузионным методом в «Научном центре противоинфекционных препаратов» (г. Алматы). Диаметры зон ингибиции определяли в мм, результаты представляли как среднее ± стандартное отклонение (n=3).

**Адгезионные свойства** гидрогелей ХТ-ХБА, раствора хитозана и NaF1 (0,01 мг/мл) оценивали на поверхности свиного уха. Моделирование мытья рук проводили с подачей дистиллированной воды (190 мл/ч), а потоотделения — 0,09% раствора NaCl (25 мл/ч) [6]. Флуоресценцию регистрировали камерой iPhone 13 Pro при УФ-освещении и анализировали в ImageJ®, корректируя данные по фону для объективной оценки.

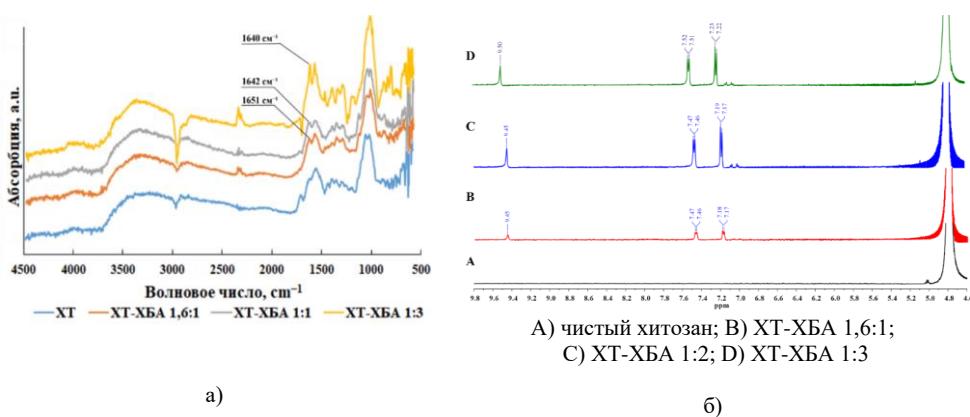
### 3. Результаты и их обсуждение

#### *Синтез оснований Шиффа на основе хитозана и 4-хлорбензальдегида*

Производные хитозана широко применяются в биомедицине и фармацевтике благодаря своим уникальным свойствам. Однако его прямое использование ограничено низкой стабильностью [7]. Этую проблему решают путем модификации хитозана с образованием оснований Шиффа.

В данной работе основания Шиффа на основе хитозана (ХТ) и 4-хлорбензальдегида (ХБА) синтезировали термическим способом. Использовались различные мольные соотношения компонентов: 1,6:1, 1:1, 1:2 и 1:3 (ХТ-ХБА). Взаимодействие между полимером и альдегидом осуществляется за счёт функциональных групп: аминогрупп хитозана и карбонильных групп ХБА. На ИК-спектрах ХТ и ХТ-ХБА в соотношениях 1,6:1, 1:1 и 1:3 моль/моль, представленных на рисунке 1 (а), обнаружены характерные различия, отражающие успешную модификацию. На спектрах ХТ-ХБА появляется и нарастает полоса  $\sim 1640\text{--}1690\text{ cm}^{-1}$ , что свидетельствует об формировании имино-групп ( $>\text{C=N-}$ ) в результате образования основания Шиффа.

Анализ  $^1\text{H}$ -ЯМР-спектров (рис.1 (б)) модифицированного хитозана с хлорбензальдегидом (ХТ-ХБА) показывает наличие схожих структурных фрагментов и подтверждает образование оснований Шиффа. В обоих случаях в спектрах наблюдаются сигналы в области 9,45 ppm для соотношений 1,6:1 и 1:2, и 9,50 ppm для 1:3, характерные для  $\alpha$ -протона в иминной группе( $>\text{C=N-}$ ), что подтверждает успешное взаимодействие аминогрупп хитозана с альдегидом. Кроме того, наличие множественных сигналов в ароматической области спектра подтверждает включение ароматических колец: у ХТ-ХБА – в диапазоне 7,21–7,57 ppm.



**Рисунок 1 – ИК- (А) и ЯМР-спектры (Б) хитозана и его производных ХТ-ХБА при различных мольных соотношениях ХТ:ХБА.**

На рисунке 2 (а) представлены результаты ТГА-анализа хитозана и его производных на основе основания Шиффа. При  $300^\circ\text{C}$  потеря массы не

модифицированного хитозана составила около 50 %, а потеря массы ХТ-ХБА 56.71 %. При 500 °C потеря массы не модифицированного хитозана составила около 6.72 %, а для производных хитозана ХТ-ХБА - 27.16 %. Таким образом, производные хитозана показали более высокую термическую стабильность, чем не модифицированный хитозан.

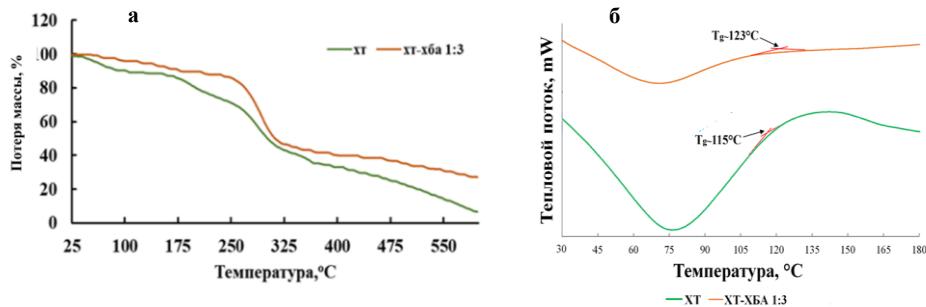
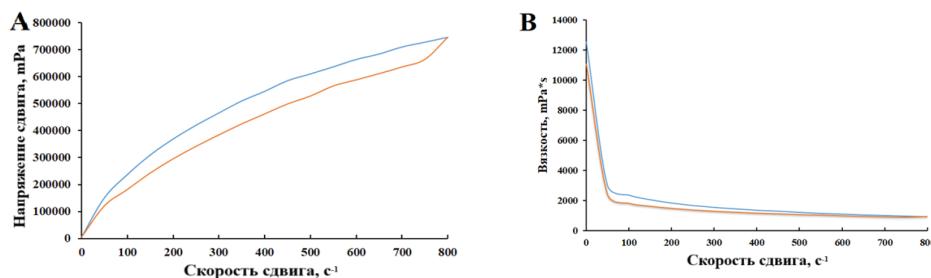


Рисунок 2 – Результаты ТГА (А) и ДСК (Б) анализа хитозана и ХТ-ХБА.

ДСК-анализ показал (рис. 2 (б)), что модификация хитозана 4-хлорбензальдегидом с образованием оснований Шиффа повышает его температуру стекловидности ( $T_g$ ) с  $\sim 115^\circ\text{C}$  до  $\sim 123^\circ\text{C}$ . Этот эффект связан с формированием жёстких иминных связей ( $>\text{C}=\text{N}-$ ) и введением ароматических фрагментов, которые ограничивают подвижность полимерных цепей.

Результаты анализа структурно-механических свойств гидрогелей показали, что при увеличении скорости сдвига возрастает предельное напряжение сдвига и снижается эффективная вязкость (рис. 3). Построенные кривые течения выявили гистерезис, подтверждающий тиксотропные свойства образцов. Гидрогели ХТ-ХБА демонстрируют быстрое восстановление структуры, что обеспечивает их лёгкое нанесение и удобство использования.



А) кривая течения гидрогеля; Б) кривая вязкости гидрогеля

Рисунок 3 - Результаты реологического анализа гидрогеля ХТ-ХБА [1:3].

Хитозан проявляет антимикробную активность против широкого спектра грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также грибов, благодаря своей катионной природе [8]. 4-хлорбензальдегид усиливает это действие за счёт взаимодействия альдегидной группы с белками микроорганизмов и повышения проницаемости мембран [9-10]. Основания Шиффа на основе хитозана и 4-хлорбензальдегида показали более высокую активность по сравнению с чистым хитозаном, образуя зоны ингибирования 6,3 мм (*E. coli*), 7,7 мм (*S. aureus*) и 8,0 мм (*C. albicans*) (рис.4). Это подтверждает их потенциал как эффективных антибактериальных средств.

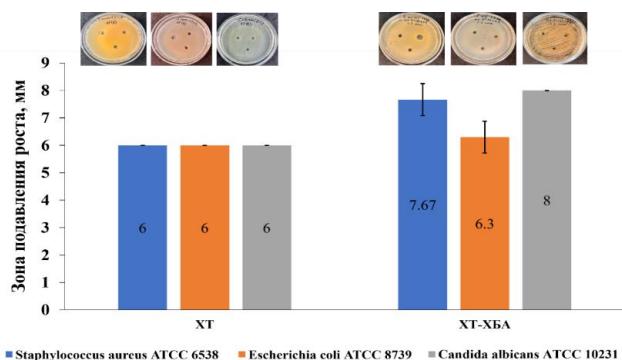


Рисунок 4 - Результаты анализа антимикробных свойств гидрогеля на основе хитозана и ХТ-ХБА, 1:3 моль/моль.

Адгезивные свойства гидрогелей оценивали на модели свиной кожи с использованием флуоресцентной визуализации и анализа в ImageJ®. Результаты (рис. 5–6) показали, что ХТ и особенно ХТ-ХБА обладают значительно более высокой удерживающей способностью по сравнению с контрольным образцом NaFl. При воздействии воды ХТ сохранял 30–35% удерживания при объеме смывной жидкости 20–25 мл, тогда как ХТ-ХБА удерживал до 60% при 15 мл и около 40% при 20 мл, что подтверждает улучшение адгезии после модификации.

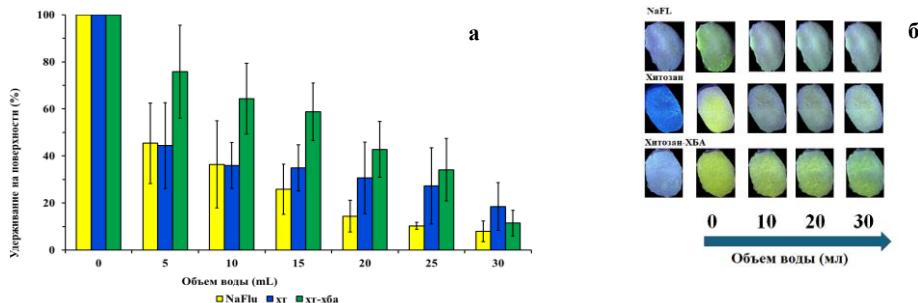


Рисунок 5 – Удержание хитозана и ХТ-ХБА после промывания водой (а) и флуоресцентные изображения, демонстрирующие их адгезию к свиному уху (б).

При промывании раствором NaCl гель на основе ХТ-ХБА сохранял наибольшее удерживание – около 55–60% при объёме смывной жидкости 10 мл и ~30% при 30 мл, в то время как ХТ удерживал 35–40% и 15–20%, соответственно. Контрольный образец с NaFLu быстро смывался, показывая значение ниже 10% уже при 20 мл. Флуоресцентные изображения подтверждают более высокую устойчивость модифицированного хитозана к смыванию по сравнению с чистым ХТ и контролем.

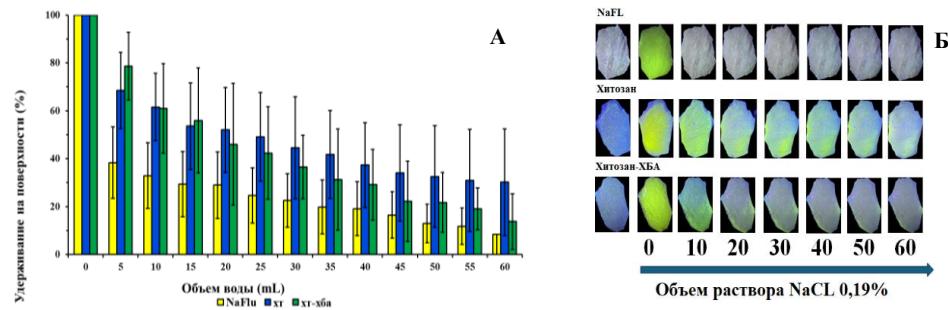


Рисунок 6 – Удержание хитозана и ХТ-ХБА после промывания раствором NaCl и флуоресцентные изображения их адгезии к свиному уху.

#### 4. Заключение

В ходе работы были синтезированы и охарактеризованы ароматические основания Шиффа на основе хитозана (ХТ-ХБА). Модификация хитозана 4-хлорбензальдегидом привела к образованию прочных иминных связей, что подтверждено ИК-спектроскопией (характеристический пик при  $1651\text{ см}^{-1}$ ) и протонной ЯМР-спектроскопией, на котором зафиксированы сигналы, характерные для иминных протонов ( $>\text{C}=\text{N}-$ ) и ароматических колец. Термический анализ показал повышение температуры стеклования и стабильности модифицированных образцов по сравнению с чистым хитозаном. Полученные гели проявили тиксотропные свойства и антимикробную активность против *E. coli*, *S. aureus* и *C. albicans*. Эксперименты на модели свиной кожи с флуоресцентной визуализацией показали, что чистый хитозан удерживается на кожной поверхности лучше, чем гель ХТ-ХБА, вероятно, за счёт более высокой вязкости. Эти результаты подтверждают перспективность ХТ-ХБА для применения в медицине и фармацевтике.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках проекта ГФ МНВО РК на 2023-2025 гг. грант АР19679560, ПЦФ МНВО РК на 2024-2026 гг. грант № BR24993113.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов между авторами, требующего раскрытия в данной статье.

## 4-ХЛОРБЕНЗАЛЬДЕГИДПЕН МОДИФИКАЦИЯЛАНГАН ХИТОЗАНДЫ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОДАН АЛЫНГАН ГИДРОГЕЛЬДЕРДІҢ АНТИМИКРОБТЫҚ ҚАСИЕТТЕРИН БАҒАЛАУ

*Д. Мұхамедия<sup>1</sup>, Д.Н. Махаева<sup>1\*</sup>, Д.Абдулетип<sup>1</sup>, Г.К.Абилова<sup>2</sup>,  
Д.Б. Калдыбеков<sup>1</sup>, Г.С. Ирмухаметова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

**Түйіндеме.** *Kiрише.* Микроорганизмдердің антибиотиктерге төзімділігі қазіргі уақытта жаһандық денсаулық сақтау саласындағы ең өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Қоғатеген дәріге төзімді (КДТ) патогендердің санының тұрақты өсуі терапевтік мүмкіндіктерді айтарлықтай шектеп, аурушаңдық пен өлім-жітім деңгейінің жоғарылауына әкелді. Осыған байланысты экологиялық таза ері тиімді баламалы тасілдерді, сонын ішінде жаңа антибактериалды агенттерді іздеу ерекше маңызға ие. Перспективті бағыттардың бірі — Шифф негіздері, күрамында имин тобы ( $>\text{C}=\text{N}-$ ) бар органикалық косылыстар. Бұл косылыстар синтезінің қарапайымдылығы, құрылымдық әртүрлілігі және кең ауқымды биологиялық белсенділігі, сонын ішінде айқын антимикробтық қасиеттері арқасында ғалымдардың назарын аударуда. Хитозан негізіндегі Шифф негіздері ерекше қызығушылық тудырады, себебі хитозан — табиги полимер, ол биосайкестілігімен, биоактивтілігімен, уытсыздығымен және химиялық модификацияға жоғары бейімділігімен ерекшеленеді. Хитозанды модификациялау оның физика-химиялық және биологиялық қасиеттерін жақсартып, медицинада, фармацевтикада және биотехнологияда қолдану аясын көнеді. Зерттеудің мақсаты хитозан мен 4-хлорбензальдегид негізінде ароматты Шифф негіздерін синтездеу және олардың құрылымдық ері функционалдық қасиеттерін зерттеу болып табылады. Жұмыс *әдістемесі*. Синтезделген косылыстарды сипаттау үшін ИК және ЯМР спектроскопия әдістері қолданылды, физика-химиялық қасиеттері термиялық талдау, реологиялық зерттеулер және адгезиялық қасиеттерін бағалау арқылы аныкталды. Нәтижелер және талқылау. Шифф негіздерінің түзілуі ИК және ЯМР спектроскопиясы арқылы расталды. Термиялық талдау сынаамалардың әйнекенен температурасы мен термотұрақтылығының артқанын көрсетті. Метилцеллюлоза және модификацияланган хитозан негізіндегі гидрогельдер тиксотропиялық қасиеттерге ие болып, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* және *Candida albicans*-ка қарсы айқын антимикробтық белсенділік көрсетті. Корытынды. Зерттеу нәтижелері модификацияланған хитозанның жаңа антимикробтық материалдарды жасау үшін негіз бола алғатын перспективті биополимер екенін дәлелдеді, оның медицинада, косметологияда және тамақ өнеркәсібінде қолдану әлеуеті жоғары.

**Түйінді сөздер:** Шифф негіздері; хитозан; 4-хлорбензальдегид; гидрогельдер; бактерияға қарсы белсенділік; адгезивтік қасиеттер; қоғатекti дәріге төзімділік.

<b>Мұхамедия Диана</b>	Техникалық ғылымдар магистрі, инженер
<b>Махаева Данэля Нурлановна</b>	PhD, аға ғылыми қызметкер
<b>Абдулетип Дильхумар</b>	докторант
<b>Абилова Гузель Кабилетовна</b>	PhD, аға оқытуышы
<b>Калдыбеков Даulet Bolatovich</b>	PhD, жетекші ғылыми қызметкер
<b>Ирмухаметова Галия Серикбаевна</b>	х.ә.к., профессор

## References

1. Bharadwaj, A., Rastogi, A., Pandey, S., Gupta, S., & Sohal, J. S. Multidrug-resistant bacteria: Their mechanism of action and prophylaxis. *BioMed Research International*, **2022**, Article 5419874. DOI:10.1155/2022/5419874
2. Wang, X., Zhang, Y., Zhang, T., et al. A novel triphenylamine-based bis-Schiff bases fluorophores with AIE-activity as the hydrazine fluorescence turn-off probes and cell imaging in live cells. *Talanta*, **2020**, 217, 121029. DOI:10.1016/j.talanta.2020.121029
3. Kumar, M. N. V. R., Muzzarelli, R. A. A., Muzzarelli, C., Sashiwa, H., & Domb, A. J. Chitosan chemistry and pharmaceutical perspectives. *Chemical Reviews*, **2004**, 104(12), 6017–6084. DOI:10.1021/cr030441b
4. Ahmed, T. A., & Aljaeid, B. M. Preparation, characterization, and potential application of chitosan, chitosan derivatives, and chitosan metal nanoparticles in pharmaceutical drug delivery. *Drug Design, Development and Therapy*, **2016**, 10, 483–507. DOI:10.2147/DDDT.S99651
5. Rafique, A., Khan, S. A., Ullah, R., & Bhatti, H. N. Chitosan functionalized poly(vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, **2016**, 87, 141–154. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2016.02.066
6. Baker, L. B. Physiology of sweat gland function: The roles of sweating and sweat composition in human health. *Temperature*, **2019**, 6(3), 211–259. <https://doi.org/10.1080/23328940.2019.1632145>
7. Szymańska, E., & Winnicka, K. Stability of chitosan—a challenge for pharmaceutical and biomedical applications. *Marine Drugs*, **2015**, 13(4), 1819–1846. DOI:10.3390/md13041819
8. Dhlamini, K. S., Kumar, R., Moutloali, R. M., & Mhlongo, G. H. Reimagining chitosan-based antimicrobial biomaterials to mitigate antibiotic resistance and alleviate antibiotic overuse: A review. *Macromolecular Materials and Engineering*, **2024**, 309(9), 2400018. DOI:10.1002/mame.202400018
9. Mohamed, M. A., Benjamin, I., Okon, G. A., Ahmad, I., Khan, S. A., Patel, H., Agwamba, E. C., & Louis, H. Insights into in-vitro studies and molecular modelling of the antimicrobial efficiency of 4-chlorobenzaldehyde and 4-methoxybenzaldehyde derivatives. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, **2024**, 42(1), 6042–6064. DOI:10.1080/07391102.2023.2258589
10. Fontana, R., Marconi, P. C. R., Caputo, A., & Gavalyan, V. B. Novel chitosan-based Schiff base compounds: Chemical characterization and antimicrobial activity. *Molecules*, **2022**, 27(9), 2740. DOI:10.3390/molecules27092740