

**Б. Ф. Алмаев, М. Г. Антонова, В. В. Королева,
В. П. Захаров, М. В. Базунова**

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЛИОФИЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА ПЛАСТИН НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ N-СУКЦИНИЛХИТОЗАНА И КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Ключевые слова: натриевая соль N-сукцинилхитозана, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, глицерин, лиофильная сушка, физико-механические свойства.

В данной работе проведена оценка возможности управления свойствами ранозаживляющих пластин на основе полимерной смеси натриевой соли N-сукцинилхитозана, натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы и глицерина, криоструктурированных посредством лиофильной сушки, за счет варьирования условий переработки и качественного и количественного состава смесей. Актуальность работы обусловлена тем, что ранозаживляющие покрытия на основе биоразлагаемых и биосовместимых полимеров, таких как хитозан, целлюлоза или их функциональные производные, которые проницаемы для воздуха и непроницаемы для бактерий, и их можно использовать для пролонгированной доставки антимикробных препаратов к месту раны. В частности, у натриевой соли N-сукцинилхитозана помимо вышеперечисленных достоинств отмечаются антимикробные свойства, коагуляционная активность, способность противодействовать образованию шрамов. Показана возможность контроля физико-механических свойств пористых материалов на основе смесей 3% масс. натриевой соли N-сукцинилхитозана и 1,5% масс. натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы за счет варьирования условий лиофилизации формовочных растворов и установлено, что оптимальный комплекс характерен для материалов, полученных в условиях медленного охлаждения на этапе криоструктурирования и медленного нагрева на этапе лиофильной сушки. Предложено перспективное ранозаживляющее покрытие в виде пористых пластин, полученное методом лиофильной сушки из исходных растворов состава 3% масс. натриевой соли N-сукцинилхитозана, 1,5% масс. натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, 1% масс. глицерина, превосходящее материалы на основе индивидуальной натриевой соли N-сукцинилхитозана и коммерчески доступный аналог «Хитокол-ДА» по показателям разрывной прочности в среднем на 40-160 %, и эластичности на 200-370 %.

**B. F. Almaev, M. G. Antonova, V. V. Koroleva,
V. P. Zakharov, M. V. Bazunova**

THE EFFECT OF LYOPHILIZATION CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF WOUND HEALING WRAPS BASED ON MIXTURES OF N-SUCCINYL CHITOSAN AND CARBOXYMETHYL CELLULOSE

Keywords: sodium N-succinyl chitosan, sodium carboxymethyl cellulose, glycerin, freeze-drying, physicochemical properties.

This study assessed the feasibility of controlling the properties of wound-healing wraps based on a polymer mixture of sodium N-succinyl chitosan, sodium carboxymethyl cellulose, and glycerin, cryostructured via freeze-drying, by varying the processing conditions and the qualitative and quantitative composition of the mixtures. The relevance of the work is due to the fact that wound-healing coatings based on biodegradable and biocompatible polymers such as chitosan, cellulose, or their functional derivatives, which are permeable to air and impermeable to bacteria, can be used for the prolonged delivery of antimicrobial drugs to the wound site. In particular, sodium N-succinyl chitosan, in addition to the above-mentioned advantages, has antimicrobial properties, coagulation activity, and the ability to counteract scar formation. The possibility of controlling the physicochemical properties of porous materials based on mixtures of 3% by weight of sodium N-succinyl chitosan and 1.5% by weight of sodium carboxymethyl cellulose by varying the lyophilization conditions of the molding solutions is demonstrated. It was established that the optimal complex is characteristic of materials obtained under conditions of slow cooling during the cryostructuring stage and slow heating during the freeze-drying stage. A promising wound-healing coating in the form of porous plates obtained by lyophilization from initial solutions of 3% by weight of sodium N-succinyl chitosan, 1.5% by weight of sodium carboxymethyl cellulose, 1% by weight of glycerol is proposed. It surpasses materials based on individual sodium N-succinyl chitosan and the commercially available analogue "Khitokol-DA" in terms of tensile strength by an average of 40-160% and elasticity by 200-370%.

Введение

Известно, что в медицинской практике при лечении ожогов, трофических язв и пролежней и других заболеваний кожного покрова по-прежнему используются традиционные текстильные повязки. Однако они обладают рядом существенных недостатков. Так, пропитанные экссудатом повязки становятся влаго- и воздухонепроницаемыми, что может способствовать развитию патогенных анаэробных микроорганизмов на ране [1,2]. Необходимость частой замены подобных повязок приводит к травмированию образующихся тканей, что увеличивает время заживления раны и может приводить к образованию рубцов. В то же время, предложено множество альтернативных

ранозаживляющих покрытий на основе биоразлагаемых и биосовместимых полимеров, таких как хитозан, целлюлоза или их функциональные производные, которые не препятствуют обмену воздухом, но непроницаемы для бактерий, и их можно использовать для пролонгированной доставки антимикробных препаратов к месту раны. Биосовместимые полимерные покрытия интересны также благодаря своей гибкости, которая позволяет им легко подстраиваться под рельеф тела пациента. В частности, у натриевой соли N-сукцинилхитозана (СХТЗ) помимо вышеперечисленных достоинств отмечаются антимикробные свойства, адсорбирующие и комплексо-

образующие свойства, способность противодействовать образованию шрамов [3], а также полная водорастворимость и повышенный коэффициент влагопоглощения. Одним из существенных недостатков его как материала являются сравнительно низкие показатели прочности и эластичности [4].

На сегодняшний день не существует официального или же общепринятого стандарта, определяющего комплекс параметров, которому должны удовлетворять материалы для лечения ран и ожогов. Однако на основании работ [5] можно сделать вывод о наиболее важных характеристиках и свойствах, которым уделяется много внимания при создании полимерного материала для биомедицинских целей. К таким характеристикам можно отнести: оптимальная пористая структура, гибкость и устойчивость к разрыву, хорошее сродство к живым тканям, достаточная способность абсорбции экссудата, биосовместимость, приемлемые адсорбционные свойства. [6].

Большинство полимеров в индивидуальном виде, в том числе СХТЗ, не способны обеспечить выполнение всего комплекса вышеобозначенных требований. Поэтому исследователи часто прибегают к созданию полимерных смесей и применению модифицирующих добавок, которые позволяют сочетать преимущества индивидуальных компонентов, а также управлять свойствами материала в широких пределах за счет варьирования качественного или количественного состава смеси [7, 8]. Следовательно, одним из путей устранения низкой прочности и эластичности материалов на основе СХТЗ является использование полимерных смесей СХТЗ с другими биоразлагаемыми полимерами, например, натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), которая обладает большей механической прочностью, а также проявляет биоадгезивные свойства, стимулирует ангиогенез и аутолитическое очищение ран [9-12].

Также одним из способов управления эксплуатационными свойствами полимерных материалов для биомедицинского применения является способ переработки полимерных смесей, который оказывает существенное влияние на макромолекулярную структуру получаемого полимерного материала. Существенные различия, к примеру, наблюдаются в свойствах «жсерогелей» полученных сушкой растворов смесей полимеров при атмосферном давлении и «криогелей» или «криоструктуратов», полученных методом лиофильной (сублимационной) сушки. Сублимационная сушка позволяет получать материалы с высокой удельной поверхностью и различной структурой пор [13, 14].

Таким образом, целью данной работы стала оценка возможности управления свойствами ранозаживляющих пластин на основе полимерной смеси СХТЗ, КМЦ и глицерина, структурированных посредством сублимационной сушки, за счет варьирования условий переработки и качественного и количественного состава смесей.

Экспериментальная часть

В работе использованы СХТЗ с М.М. = 500 кДа (ТУ 9284-027-11734126-08) производства ЗАО «Био-прогресс» (Россия) со степенью замещения СХТЗ по

аминогруппам составляет 75% (степень деацетиляции исходного образца хитозана, из которого был получен СХТЗ, равна 82%) и КМЦ Вlanose СМС 7НОF PH со степенью замещения 80-95 % и М.М. = 260 кДа производства «Ashland» (США);

Образцы ранозаживляющих покрытий получали разливом формовочного раствора полимеров, содержащих 3 % мас. СХТЗ, 1,5 % мас. КМЦ и 1 % мас. глицерина (в качестве пластификатора) в чашки Петри, после чего замораживали при температурах от -20°C до -80°C в течение 3,5-24 часов. Затем формы с полимерными растворами помещали в лиофильную сушилку FLOM FD-1600B и сушили при давлении 0,1 Па в течение 48 часов. Толщину ранозаживляющих покрытий определяли механическим микрометром MATRIX 317255 с точностью измерения 0,01 мм.

Плотность образцов пикнометрическим методом определяли за счет измерения потери веса образца, который тот испытывает при погружении в жидкость, которая по закону Архимеда равна весу жидкости в объеме тела. Образцы были последовательно взвешены на воздухе и при погружении в гептан. Затем плотность образца была рассчитана по формуле:

$$\rho_b = \frac{N_1}{N_1 - N_2} (\rho_s - \rho_a) + \rho_a,$$

где ρ_b – это плотность образца, N_1 – показания весов (кажущийся вес тела) в воздухе, N_2 – показания весов (кажущийся вес тела) в жидкости, ρ_s – плотность жидкости (для гептана при $T=20^\circ\text{C}$ принимается равной 0,6795 г/см³), ρ_a – плотность воздуха (при $T=20^\circ\text{C}$ принимается равной 0,0012 г/см³). Значение плотности брали как среднее арифметическое из трех параллельных измерений. Относительная погрешность измерения не превышала 5 %.

ИК-спектры исходных компонентов и полимерных смесей в виде пластин толщиной 1 мм сняты на инфракрасном спектрофотометре с преобразованием Фурье со специальной приставкой для регистрации спектра зеркального и диффузного отражения, спектра наружного полного внутреннего отражения фирмы Шимадзу FTIR-8400S.

Изучение физико-механических свойств пленочных материалов проводили на универсальной разрывной машине AGS-10 kNG Trapezium-X (Shimadzu) с программным обеспечением PlasticTensileTest. Размеры образцов — 20 × 20 × 0.1 мм, скорость растяжения — 1 мм·мин⁻¹. Разрывное напряжение σ (МПа) определяли с учетом площади поперечного сечения пористой пластины. Относительное удлинение при разрыве $\Delta l/l_p$ (%) рассчитывали с учетом длины образца, взятого на испытание. Значения $\Delta l/l_p$ и σ брали как среднее арифметическое из трех параллельных измерений. Относительная погрешность измерения не превышала 5%.

Результаты и их обсуждение

Для осуществления целенаправленного дизайна ранозаживляющих материалов целесообразно выявлять качественные и количественные закономерности «условия получения-структура-свойства», которые затем можно использовать для прогнозирования свойств получаемых материалов.

Ранее установлено [15], что при создании пористых пластин методом лиофильной сушки с точки зрения прочностных показателей оптимальная концентрация КМЦ в формовочных растворах должна лежать в диапазоне (1-1.5% масс.), СХТЗ – 3 % мас., а оптимальная концентрация глицерина – не менее 0,75-1% масс.

С этой целью анализа природы межмолекулярных взаимодействий в компонентах смеси СХТЗ и КМЦ проведен ИК-спектроскопический анализ смесевых пластин (рис. 1 и 2).

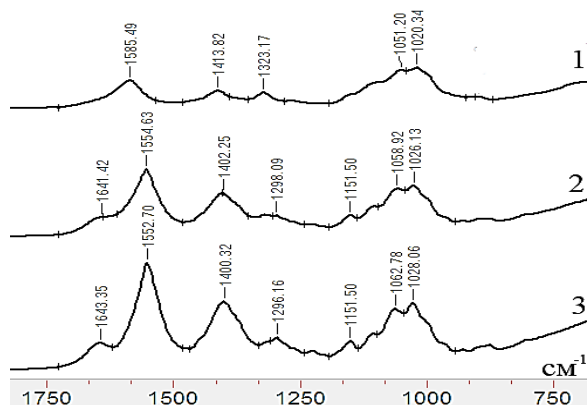


Рис. 1 - ИК-спектры пленок, полученных на основе растворов: 1,5% масс. КМЦ (1), 3% масс. СХТЗ (2), 3% масс. СХТЗ, 1,5% масс. КМЦ (3)

Fig. 1 - IR spectra of films prepared from solutions of: 1.5 wt% SMC (1), 3 wt% sodium salt of N-succinylchitosan (NSC) (2), and 3 wt% NSC, 1.5 wt% SMC (3)

При анализе ИК-спектров пластин (рис. 1), получаемых на основе исследуемых смесей полимеров, на графиках наблюдаются следующие характерные пики (табл. 1). При этом наблюдаемые на спектре смесей смещение пика 1413 см^{-1} и уменьшение интенсивности пиков $1296\text{--}1323\text{ см}^{-1}$ свидетельствуют о незначительном интерполимерном взаимодействии между макромолекулами КМЦ и СХТЗ в смеси, предположительно, за счет водородных связей, приводящих к образованию макромолекулярных гетероагрегатов.

При анализе ИК-спектров смесей СХТЗ и КМЦ в присутствии глицерина (рис. 2), можно отметить проявление характерного пика 1036 см^{-1} , соответствующего деформационным колебаниям -ОН группы. Сдвиг этого пика на 6 см^{-1} в область меньших частот в случае полимерных смесей может свидетельствовать о взаимодействии глицерина с макромолекулами полимеров, предположительно, посредством сольватации функциональных групп, что, должно в некоторой степени ослаблять интерполимерное взаимодействие.

Подобные благоприятные интерполимерные взаимодействия, по всей видимости, обуславливают термодинамическое сродство полимеров в данном концентрационном диапазоне.

На этапе замораживания и последующей лиофильной сушки условия, при которых выполняются

различные технологические этапы процесса переработки оказывают значительное влияние на свойства получаемых материалов. Например, в ходе процесса

Таблица 1 – «Характеристические полосы поглощения в ИК-спектрах полимерных смесей»

Table 1 – “Characteristic Absorption Bands in IR Spectra of Polymer Blends”

Назначенные области колебаний	Полосы поглощения, см^{-1}		
	КМЦ	СХТЗ	Полимерная смесь СХТЗ-КМЦ
валентные колебания С=О (амид I)	-	1641	1643
Ассиметричные колебания COONa группы	1585	-	-
деформационные колебания N-H (амид II)	-	1555	1553
валентное колебание -COOH	1413	1402	1400
деформационные колебания -OH	1323	1298	1296
валентные колебания C-O, C-N, и C-C пираноидного кольца	-, -, 1020	1151, 1059, 1026	1151, 1063, 1028
колебания C-O-C группы	1051	-	-

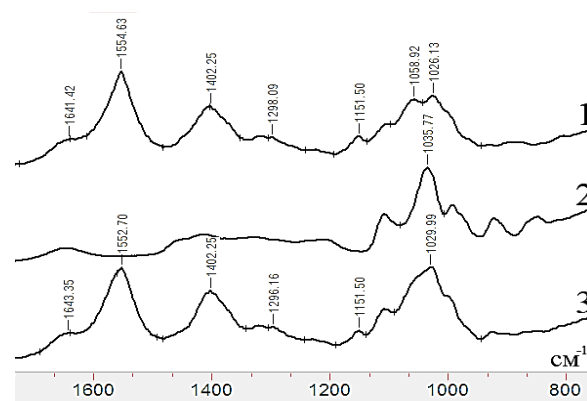


Рис. 2 - ИК-спектры пленок, полученных на основе растворов: 3% масс. СХТЗ, 1,5% масс. КМЦ (1); 3% масс. СХТЗ, 1,5% масс. КМЦ, 1% масс. глицерина (3); и ИК-спектр индивидуального глицерина (2)

Fig. 2 - IR spectra of films prepared from solutions containing: 3 wt% NSC, 1.5 wt% SMC (1); 3 wt% NSC, 1.5 wt% SMC, 1 wt% glycerin (3); and the IR spectrum of pure glycerin (2)

сушки скорость нагрева оказывает существенное влияние на физические и термомеханические свойства получаемого материала. Действительно, как подтверждают проведенные физико-механические испытания, повышение скорости нагрева с $0,02^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $0,06^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, в некоторой степени снижает показатели прочности (напряжение при разрыве) и эластичности (относительное удлинение при разрыве) материалов различных составов (табл. 2). Это происходит, возможно, по причине того, что при быстром нагреве, неравномерность процесса нагрева системы, ограниченного скоростью теплопередачи, приводит к тому, что в определенных областях внутри конденсированной фазы сублимируется одновременно достаточное количество льда, для того чтобы возросшее давление пара растворителя, либо непосредственно приводило к коллапсу пор, либо оказывалось достаточным для преодоления тройной точки растворителя, в результате чего протекает процесс плавления, образуется микрофаза жидкости и возникают капиллярные напряжения, интенсифицирующие процесс коллапса пор.

Таблица 2 – «Показатели разрывной прочности (σ) и эластичности ($\Delta l/l$) для материалов, высушенных с различными скоростями нагрева»

Table 2 – “Tensile strength (σ) and elasticity ($\Delta l/l$) values for materials dried at different heating rates”

Состав исходных растворов	Скорость нагрева = $0,02^{\circ}\text{C}/\text{мин}$	Скорость нагрева = $0,06^{\circ}\text{C}/\text{мин}$		
	σ , Н/мм ²	$\Delta l/l$, %	σ , Н/мм ²	$\Delta l/l$, %
3% масс. СХТЗ	0,17	5,16	0,11	3,52
3% масс. СХТЗ, 1,5% масс. КМЦ	0,18	9,11	0,03	8,79
3% масс. СХТЗ, 1,5% масс. КМЦ, 1% масс. глицерина	0,77	24,40	0,47	16,71

Более детально оценить влияние условий замораживания на физико-механические параметры материала можно, например, путем сопоставления материалов, полученных в условиях быстрой «шоковой» заморозки (-60°C в течении 1 ч, затем -20°C в течение 2,5 часов) и в условиях медленной заморозки (-20°C в течении 3,5 часов). Анализ подобных результатов (табл. 3.) показывает, что при увеличении скорости заморозки, аналогично, наблюдается уменьшение плотности полимерного матрикса. Однако в этом случае снижается не только прочность самого мат-

рикса и эластичность материала, но и прочность материала, что проявляется в уменьшении показателей напряжения при разрыве. Это может быть объяснено тем, что в случае шоковой заморозки процесс формирования кристаллической фазы растворителя протекает настолько быстро, что не дает в полной мере завершиться процессу образования устойчивой макромолекулярной сетки зацеплений полимера при криоцентрировании растворов полимеров на этапе умеренно замороженной системы. Помимо этого, уменьшение равномерности охлаждения раствора, должно приводить к неравномерному распределению конденсированной фазы полимера в получаемом матриксе, т.е. к образованию структурных дефектов, которые также снижают прочность изделия.

Таблица 3 – «Характеристики материалов, полученных с различными скоростями заморозки, на основе исходного раствора, содержащего 3% масс. СХТЗ, 1,5% масс. КМЦ, 1% масс. глицерина»

Table 3 – “Properties of materials obtained at different freezing rates, based on a starting solution containing 3% by weight of NSC, 1.5% by weight of SMC, and 1% by weight of glycerin”

Объем исходного раствора, см ³	Тип заморозки	Толщина матрикса, мм	Плотность матрикса, г/см ³	σ , Н/мм ²	$\Delta l/l$, %
45	медленная	2,47	1,43	1,03	19,15
45	быстрая	3,11	0,82	0,46	11,42
30	медленная	1,25	1,34	1,36	12,71
0	быстрая	2,42	1,07	0,48	5,69

Таким образом, условия переработки полимерных растворов оказывают существенное влияние на физико-механические свойства материалов, получаемых на основе данных растворов. По этой причине при дальнейшем изучении влияния состава полимерных смесей на физико-механические свойства условия криоструктурирования и лиофильной сушки поддерживали постоянными (малые скорости охлаждения и нагрева).

Заключение

1. Показана возможность контроля физико-механических свойств пористых материалов на основе смесей 3% масс. СХТЗ и 1,5% масс. КМЦ за счет варьирования условий лиофилизации формовочных растворов и установлено, что оптимальный комплекс характерен для материалов, полученных в условиях медленного охлаждения на этапе криоструктурирования и медленного нагрева на этапе лиофильной сушки.

2. Предложено перспективное ранозаживляющее покрытие в виде пористых пластин, полученное методом лиофильной сушки из исходных растворов состава 3% масс. СХТЗ, 1,5% масс. КМЦ, 1% масс. глицерина, превосходящее материалы на основе самого СХТЗ и коммерчески доступного аналога «Хитокол-ДА» по показателям разрывной прочности в среднем на 40-160 %, и эластичности на 200-370 %.

Литература

- Базунова, М. В. *Получение ранезаживляющих покрытий на основе смесей некоторых полисахаридов* / М. В. Базунова, К. В. Набутова, Г. С. Яхина // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 6. – С. 42-47. – DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_6_42. – EDN VXQLJS.
- Мустакимов Р. А. *Пленочные и гелеобразные материалы на основе интерполимерных комплексов полисахаридов с функциональными синтетическими полимерами: дис. ... канд. хим. наук* / Р. А. Мустакимов. - Уфа, 2022. - 158 с.
- Цин С. и др. *Получение и свойства композитных антибактериальных гидрогелей на основе поливинилового спирта/N-сукцинилхитозана/линкомицина для перевязочных материалов* // Углеводные полимеры. – 2021. – Т. 261. – С. 117875.
- Шримай С. и др. *Влияние замены N-сукцинилхитозана на свойства гидрогелей для перевязочных материалов* // Журнал прикладной полимерной науки. – 2025. – Т. 142. – № 44. – С. e57718.
- Насери-Носар М., Зиора З. М. *Перевязочные материалы из природных полимеров: обзор композитов на основе гомополисахаридов* // Углеводные полимеры. – 2018. – Т. 189. – С. 379-398; Лайек Б. и др. *Разработка, создание и характеристика хитозановых пленок, содержащих имиквимод, для местного применения* / Б. Лайек, С.С. Рахман Ниржор, С. Рати, К.К. Кандималла, Т.С. Видманн, С. // PharmSciTech. – 2019. – Т. 20, – № 2. – С. 1-12.
- Разави М., Цяо Ю., Такор А. С. *Трехмерные криогели для биомедицинских применений* // Journal of Biomedical Materials Research Part A. – 2019. – Т. 107. – №. 12. – С. 2736-2755.
- Влияние реологических характеристик растворов смесей натриевых солей N-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы на некоторые свойства материалов, полученных из этих растворов* / М. В. Базунова, А. С. Шуршина, В. В. Чернова [и др.] // Полимерная наука, Серия В. – 2023. – Т. 65, № 1. – С. 50-57. – DOI 10.1134/s1560090423700689. – EDN HGETP;
- Базунова, М. В. *О регулировании свойств материалов на основе смесей N-сукцинилхитозана и пектина* / М. В. Базунова, Б. Ф. Алмаев // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26, № 10. – С. 111-115. – DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_10_111. – EDN GNWYQC.
- Каникиредди В. и др. *Материалы на основе карбоксиметилцеллюлозы для контроля инфекций и заживления ран: обзор* // Международный журнал биологических макромолекул. – 2020. – Т. 164. – С. 963-975.
- Гончарук, В. В. *Реологические свойства и водоудерживающая способность гидрогелей агар-агара с карбоксиметилцеллюлозой* / В. В. Гончарук, Л. В. Дубровина // Журнал прикладной химии. – 2020. – Т. 93, № 7. – С. 980-987. – DOI 10.31857/S0044461820070087. – EDN HKVQTW.
- Вшивков, С. А. *Фазовое равновесие, структура и реологические свойства системы карбоксиметилцеллюлоза, вода* / С. А. Вшивков, А. А. Бызов // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2013. – Т. 55, № 2. – С. 170. – DOI 10.7868/S0507547513020165. – EDN PNRZWH.
- Ахмедов, О. Р. *Особенности синтеза и антимикробные свойства гуанидинсодержащих производных карбоксиметилцеллюлозы* / О. Р. Ахмедов, Ш. А. Шомуратов, А. С. Тураев // Химия растительного сырья. – 2021. – № 3. – С. 73-82. – DOI 10.14258/jcprn.2021038705. – EDN UNHIGO.
- Базылева К. Ю., Антипова К. Г., Крашенинников С. В. *Структура и свойства пористых материалов, полученных методом лиофилизации* / К. Ю. Базылева, К. Г. Антипова, С. В. Крашенинников [и др.] // Гены и Клетки. – 2022. – Т. 17, № 3. – С. 21. – EDN FSGNMD.
- Алмаев, Б. Ф. *Влияние условий сушки на свойства криоструктурированных материалов на основе смесей натриевых солей N-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы* / Б. Ф. Алмаев, М. В. Базунова // Проблемы и достижения химии кислород- и азотсодержащих биологически активных соединений: Сборник тезисов IX Всероссийской молодежной конференции, Уфа, 20–21 ноября 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 130-131. – EDN WOBABG.
- Алмаев, Б. Ф. *Пористые пластины на основе смесей N-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы* / Б. Ф. Алмаев, М. В. Базунова // Актуальные проблемы науки о полимерах: Материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов, Казань, 23–26 сентября 2024 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2024. – С. 361-363. – EDN WSAACP.

References

- Bazunova, M. V. *Production of wound healing coatings based on mixtures of some polysaccharides* / M. V. Bazunova, K. V. Nabutova, G. S. Yakhina // Herald of Technological University. - 2025. - Vol. 28, No. 6. - Pp. 42-47. - DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_6_42. - EDN VXQLJS.
- Mustakimov R. A. *Film and gel-like materials based on interpolymer complexes of polysaccharides with functional synthetic polymers: dis. ... Cand. of Chemical Sciences* / R. A. Mustakimov. - Ufa, 2022. - 158 p.
- Qing X. et al. *Preparation and properties of polyvinyl alcohol/N-succinyl chitosan/lincomycin composite antibacterial hydrogels for wound dressing* // Carbohydrate Polymers. – 2021. – Т. 261. – С. 117875.
- Srimai C. et al. *Influence of N- Succinyl Chitosan Substitution on Hydrogel Properties for Wound Dressings* // Journal of Applied Polymer Science. – 2025. – Т. 142. – №. 44. – С. e57718.
- Naseri-Nosar M., Ziора Z. M. *Wound dressings from naturally-occurring polymers: A review on homopolysaccharide-based composites* // Carbohydrate polymers. – 2018. – Т. 189. – С. 379-398. ; Layek B. et al. *Design, development, and characterization of imiquimod-loaded chitosan films for topical delivery* / B. Layek, S.S. Rahman Nirzhor, S. Rathi, K.K. Kandimalla, T.S. Wiedmann, S. // PharmSciTech. – 2019. – Т. 20, – №. 2. – С. 1-12.
- Razavi M., Qiao Y., Thakor A. S. *Three- dimensional cryogels for biomedical applications* // Journal of Biomedical Materials Research Part A. – 2019. – Т. 107. – №. 12. – С. 2736-2755.
- Influence of Rheological Characteristics of Solutions of Mixtures of N-Succinyl Chitosan and Carboxymethylcellulose Sodium Salts on Some Properties of Materials Obtained from These So-lutions* / M. V. Bazunova, A. S. Shurshina, V. V. Chernova [et al.] // Polymer Science, Series B. – 2023. – Vol. 65, No. 1. – P. 50-57. – DOI 10.1134/s1560090423700689. – EDN HGETP;
- Bazunova, M. V. *On regulation of the properties of materials based on mixtures of N-succinyl chitosan and pectin* / M. V.

- Bazunova, B. F. Almaev // Herald of Technological University. - 2023. - Vol. 26, No. 10. - Pp. 111-115. - DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_10_111. - EDN GNWYQC.
9. Kanikireddy V. et al. *Carboxymethyl cellulose-based materials for infection control and wound healing: A review* // International Journal of Biological Macromolecules. - 2020. - Vol. 164. - Pp. 963-975.
10. Goncharuk, V. V. *Rheological properties and water-retaining capacity of agar-agar hydrogels with carboxymethyl cellulose* / V. V. Goncharuk, L. V. Dubrovina // Journal of Applied Chemistry. - 2020. - Vol. 93, No. 7. - Pp. 980-987. - DOI 10.31857/S0044461820070087. - EDN HKVQTW.
11. Vshivkov, S. A. *Phase equilibrium, structure and rheological properties of the carboxymethyl cellulose, water system* / S. A. Vshivkov, A. A. Byzov // High-molecular compounds. Series A. - 2013. - Vol. 55, No. 2. - P. 170. - DOI 10.7868/S0507547513020165. - EDN PNRZWH.
12. Akhmedov, O. R. *Features of synthesis and antimicrobial properties of guanidine-containing derivatives of carboxymethyl cellulose* / O. R. Akhmedov, Sh. A. Shomurotov, A. S. Turaev // Chemistry of plant raw materials. - 2021. - No. 3. - P. 73-82. - DOI 10.14258/jcpm.2021038705. - EDN UHIGO.
13. *Structure and properties of porous materials obtained by lyophilization* / K. Yu. Bazyleva, K. G. Antipova, S. V. Krashennnikov [et al.] // Genes and Cells. - 2022. - Vol. 17, No. 3. - P. 21. - EDN FSGNMD.
14. Almaev, B. F. *Influence of drying conditions on the properties of cryostructured materials based on mixtures of sodium salts of N-succinyl chitosan and carboxymethyl cellulose* / B. F. Almaev, M. V. Bazunova // Problems and achievements in the chemistry of oxygen- and nitrogen-containing biologically active compounds: Collection of abstracts of the IX All-Russian youth conference, Ufa, November 20-21, 2025. - Ufa: Ufa University of Science and Technology, 2025. - P. 130-131. - EDN WOBABG.
15. Almaev, B. F. *Porous plates based on mixtures of N-succinyl chitosan and carboxymethyl cellulose* / B. F. Almaev, M. V. Bazunova // Actual problems of polymer science: Proceedings of the IV All-Russian scientific conference (with international participation) of university teachers and students, Kazan, September 23-26, 2024. - Kazan: Kazan National Research Technological University, 2024. - P. 361-363. - EDN WSAACP.

© **Б. Ф. Алмаев** - ассистент кафедры высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, Уфимский университет науки и технологий, (УУНТ), Уфа, Россия, almaevbulat@yandex.ru; **М. Г. Антонова** - студент 3 года обучения, УКУНТ, ritaantonova24.06.05@mail.ru; **В. В. Королёва** - студент 3 года обучения, УУНТ, Korovaka005@gmail.com; **В. П. Захаров** - д.х.н., чл.-корр АН РБ, ректор, УУНТ, rector@uust.ru; **М. В. Базунова** - доцент, кафедра высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, УУНТ, mbazunova@mail.ru.

© **B. F. Almaev** - Assistant, Department of Macromolecular Compounds and General Chemical Engineering, Ufa University of Science and Technology (UUST), Ufa, Russia, almaevbulat@yandex.ru; **M. G. Antonova** - third-year student, UUST, ritaantonova24.06.05@mail.ru; **V. V. Koroleva** - third-year student, UUST, Korovaka005@gmail.com; **V. P. Zakharov** - Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Rector, UUST, rector@uust.ru; **M. V. Bazunova** - Associate Professor, Department of Macromolecular Compounds and General Chemical Engineering, UUST, mbazunova@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 01.03.26.

Дата принятия рукописи в печать – 06.05.26.