

РАЗРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Н.С. Дымникова*, Е.В. Ерохина, А.П. Морыганов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, ул. Академическая, 1, г. Иваново, Россия, 153045
E-mail: nsd@isc-ras.ru*

Изучено влияние полимерной матрицы на сорбционно-диффузионные характеристики различных антимикробных препаратов. Показано, что регулировать антимикробную активность волокнистого изделия можно изменением надмолекулярной структуры и функционального состава целлюлозного волокна, изменением условий иммобилизации биопрепаратов, использованием для модификации полимера композиционного состава антимикробного препарата, варьированием соотношений модифицированных натуральных и синтетических волокон в текстильной матрице.

Ключевые слова: целлюлозные и синтетические волокна, антимикробные препараты, сорбционно-десорбционные свойства

DEVELOPMENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE MATERIALS BASED ON CELLULOSE AND SYNTHETIC FIBERS

N.S. Dymnikova*, E.V. Erokhina, A.P. Moryganov

G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Akademicheskaya str., 1, Ivanovo, Russia, 153045
E-mail: nsd@isc-ras.ru*

The effect of the polymer matrix on the sorption-diffusion characteristics of various antimicrobial drugs has been studied. It is shown that it is possible to regulate the antimicrobial activity of a fibrous product by changing the supramolecular structure and functional composition of cellulose fiber, changing the conditions of immobilization of biological products, using the composite composition of an antimicrobial preparation for polymer modification, varying the ratios of modified natural and synthetic fibers in a textile matrix.

Key words: cellulose and synthetic fibers, antimicrobials, sorption and desorption properties

Для цитирования:

Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П. Разработка биологически активных материалов на основе целлюлозных и синтетических волокон. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. № 4. С. 6–13. DOI: 10.6060/rcj.2022664.1.

For citation:

Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. Development of biologically active materials based on cellulose and synthetic fibers. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 4. P. 6–13. DOI: 10.6060/rcj.2022664.1.

Необходимость создания новых видов текстильных материалов для медицины, гигиены, косметологии является актуальной ввиду того, что выпускаемый в настоящее время в России ассортимент такого вида продукции явно недостаточен. Он основан в большинстве случаев на комбинации слоев марли, ваты, мадаполама и тканей, что не

обеспечивает выпускаемым материалам необходимого комплекса функциональных свойств. Широкие возможности совершенствования перевязочных средств открываются при разработке нетканых материалов (НМ), требуемые функциональные свойства которых обеспечиваются как за счет свойств сырья и введения в него различных биоло-

гически активных и лекарственных препаратов, так и за счет особенностей технологии изготовления нетканых полотен.

Постоянное увеличение объемов выпуска НМ обусловлено тем, что цикл их производства от получения волокнистого сырья до выпуска готовых изделий значительно короче технологии выработки классических видов текстиля и не требует масштабных денежных средств. Широчайшая гамма уникальных свойств позволяет применять их в самых разных сферах человеческой деятельности.

Важным сегментом рынка являются НМ на основе целлюлозных волокон, за счет которых обеспечиваются высокие гигиенические, экологические, тактильные свойства изготавливаемых изделий. Вместе с тем, для обеспечения регулируемого выхода АП из изделия и придания НМ атравматичных свойств необходимо включать в структуру полотна гидрофобные волокна - полиэфирные (ПЭ) или полипропиленовые (ПП). Они обладают нулевой сорбцией водных паров, не раздражают кожные покровы человека, быстро высвобождают иммобилизованный в них биоцид.

Известно, что введением в структуру материала различных антимикробных или антигрибковых препаратов (АП), обеспечивающих как защиту человека от действия микроорганизмов, так и защиту изготавливаемых изделий от биодеструкции, должно повысить их востребованность потребителями. Доказано, что практически все АП, использующиеся или рекомендованные к применению, обладают избирательной активностью в отношении микроорганизмов (бактерий, вирусов, грибов). Так, наночастицы металлов проявляют более высокую активность по отношению к грамположительными культурам в сравнении с грамотрицательными. Антисептики (бриллиантовый зеленый, мирамистин или хлоргексидин) успешно борются с бактериями, но менее активны в отношении грибковых культур. Антимикотики (производные имидазола или триазола) менее активны против бактериальных и вирусных инфекционных агентов, чем грибковых культур.

Очевидно и то, что способность натуральных или синтетических волокон к взаимодействию с АП, обеспечивающими возможность придания им антимикробных свойств, значительно различается. При этом большей антимикробной активностью обладают полимеры, в которых биоцид присоединен к волокну ионной, лабильной ковалентной или координационной связью [1, 2]. Отсутствие связи обеспечивает чрезвычайно быструю

десорбцию АП и лишь кратковременное антимикробное действие. Прочное-же ковалентное связывание препарата с полимером исключает антимикробный эффект [3]. Не вызывает сомнения, что изменением свойств полимерной матрицы можно в значительной степени влиять на сорбционно-диффузионные характеристики АП, а следовательно, - на общее количество удерживаемого в полимере препарата, скорость его перехода во внешнюю среду и степень биозащищенности полимера.

В связи с этим, разработка приемов регулирования биологической активности представляет значительный научный и практический интерес.

На наш взгляд, влиять на сорбционно-десорбционные свойства полимера можно несколькими способами:

- для целлюлозного волокна - изменением его надмолекулярной структуры и функционального состава;
- для натуральных и синтетических волокон - изменением условий иммобилизации АП;
- использованием для модификации полимера композиционного состава антимикробного препарата.

Кроме того, на сорбционно-десорбционные свойства нетканого полотна можно влиять варьированием соотношений модифицированных натуральных и синтетических волокон в текстильной матрице.

ИЗМЕНЕНИЕ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Химическая модификация целлюлозы, например, частичная замена гидроксильных групп карбоксильными, повышает гигроскопичность материалов, их устойчивость к действию микроорганизмов и, главное, - способность целлюлозы к взаимодействию с препаратами, обеспечивающими придание актерицидных свойств [3].

В данной работе предпринята попытка оценить, в какой мере изменение надмолекулярной структуры и функционального состава целлюлозы влияет на ее способность к взаимодействию с антисептическими препаратами.

О степени химических и структурных превращений в целлюлозе судили на основании изменений водоудерживающей способности материалов после центрифугирования (ВУС). Изменение надмолекулярной структуры целлюлозы и различная степень замещения гидроксильных групп достигались при варьировании температурно-временных условий химической модификации согласно [4].

В качестве целлюлозных материалов использовали отбеленную хлопчатобумажную марлю. В качестве биоцидных препаратов использовали соединения различных классов: известный антимикробный препарат, активно взаимодействующий с полимерами, содержащими карбоксильные группы (бриллиантовый зеленый), соль меди и Повиаргол, содержащий высокодисперсное нуль-валентное металлическое серебро, с размерами частиц 2-4 нм [5]. Количество сорбируемых АП рассчитывали по изменению их содержания в пропиточной ванне и в водных экстрактах биологически активных материалов, т.е. обработанных препаратами и высушенных.

Подготовку образцов с измененной надмолекулярной структурой или с измененным функциональным составом целлюлозы осуществляли путем обработки отбеленной марли в свободном состоянии раствором гидроксида натрия концентрации 190 г/л без или в присутствии модифицирующего агента в диапазоне температур 55-100 °С. Изменение показателей ВУС в различных условиях

обработки материала отражают данные, представленные в табл. 1.

Максимально возможная водоудерживающая способность целлюлозных текстильных материалов, набухших в воде, не превышает 50% масс. [6]. Известно, что структурная трансформация целлюлозы в концентрированных щелочных растворах сопровождается снижением степени кристалличности на 15-20% и увеличением ее доступной внутренней поверхности и внутреннего объема [7]. Повышение температуры, интенсифицируя указанный процесс структурной перестройки полимера, снижает общий уровень структурных превращений [8]. Согласно данным табл. 1, при обработке растворами NaOH (190 г/л) показатели ВУС повышаются по сравнению с необработанным материалом до значений 57-70%, т.е. в 1.2-1.5 раза. В значительно большей степени, в 3.1-5.2 раза (вплоть до значений 230-246%) возрастает водоудерживающая способность целлюлозного материала при его химическом модифицировании.

Таблица 1

Изменение показателей водоудерживающей способности материалов при структурной и химической модификации целлюлозы

Применяемые химические реагенты:	Показатели ВУС (%) целлюлозного материала*, обработанного при температурах:				
	55 °С		80 °С		100 °С
	30 мин	120 мин	10 мин	30 мин	2 мин
Гидроксид натрия 190 г/л	70	-	59	-	57
Гидроксид натрия 190 г/л + модифицирующий агент	155	230	145	246	201

* - показатель ВУС необработанного целлюлозного материала 47%

Таким образом, получены объекты исследования, отличающиеся от исходного целлюлозного материала (ВУС 47%) состоянием надмолекулярной структуры (ВУС 70%) и дополнительно функциональным составом (ВУС 155 и 246%).

Кинетические особенности процесса сорбции АП целлюлозными материалами с различными показателями ВУС отражают данные рис. 1-3. Обработку препаратами проводили при жидкостном модуле 15 и температуре 25 °С.

Общим для всех исследуемых антисептиков является чрезвычайно быстрая их сорбция целлюлозным материалом в первые минуты обработки. Через 10 мин наступает равновесие в системе целлюлоза – антисептик. В образцах, в которых показатель ВУС 100% и более, резко ускоряется сорбция препарата (рис. 1-3, образцы № 3-5). Через 5-10 мин после внесения в раствор данных образцов концентрация бриллиантового зеленого увеличивается в 9-16 раз, соли меди – в 13-20 раз, а наночастиц серебра – в 3-5 раз.

Усиление взаимодействия модифицированной целлюлозы с АП должно привести к уменьшению подвижности молекул в субстрате и, следовательно, к уменьшению скорости его десорбции с поверхности материала, что иллюстрируется соответствующими кривыми на рис. 4.

Кривые на рис. 4 наглядно иллюстрируют, что при отсутствии химических превращений в целлюлозе (крив.1) АП (в данном эксперименте бриллиантовый зеленый) чрезвычайно быстро десорбируется из антимикробного материала и уже в 3-ем водном экстракте его содержится менее 0,1%. В целлюлозе с показателем ВУС 310% (крив. 2) содержание десорбируемого АП в 4-7-мом экстрактах составляет более 0,2%. Следовательно, можно полагать, что для такого материала будет обеспечиваться эффективное пролонгированное действие биоцидных и антисептических препаратов различной природы.

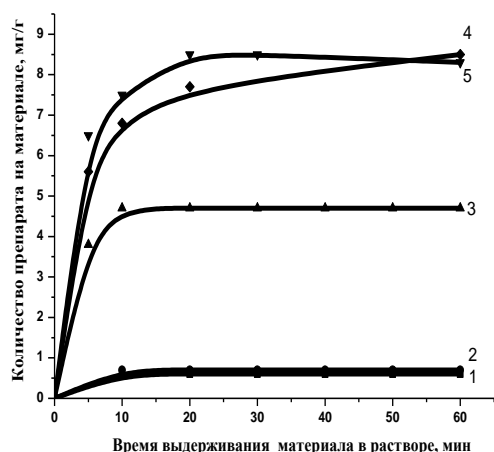


Рис. 1. Кинетика сорбции бриллиантового зеленого целлюлозным материалом
Показатели ВУС, %: 1 – 50; 2 – 70; 3 – 100; 4 – 170; 5 – 310

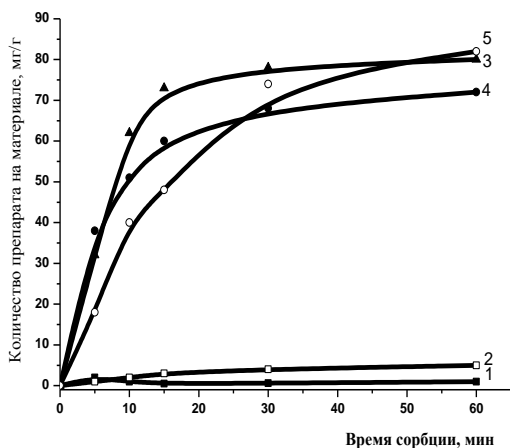


Рис. 2. Кинетика сорбции соли меди целлюлозным материалом
Показатели ВУС, %: 1 – 50; 2 – 70; 3 – 100; 4 – 170; 5 – 310

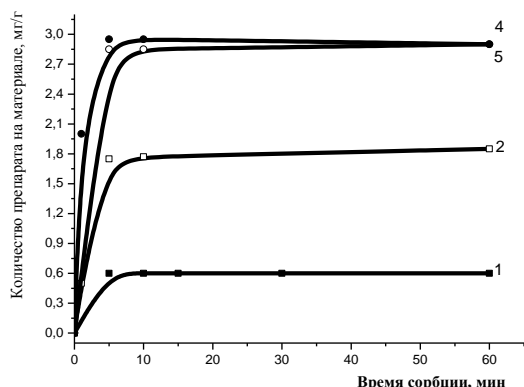


Рис. 3. Кинетика сорбции Повиаргола целлюлозным материалом
Показатели ВУС, %: 1 – 50; 2 – 70; 3 – 100; 4 – 170; 5 – 310

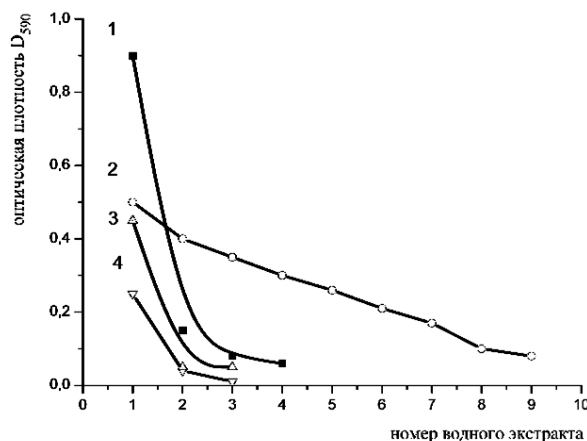


Рис. 4. Изменение оптической плотности водных экстрактов биологически активных материалов на основе структурно (1), химически (2) модифицированной целлюлозы, полиэфирного (3) и полипропиленового (4) волокон

В качестве примера на рис. 4 также показано, что десорбция АП из полиэфирного (кривая 3) и полипропиленового (кривая 4) волокон осуществляется чрезвычайно быстро, поэтому данные волокна можно рекомендовать использовать в смесовых составах лишь для усиления антимикробного эффекта целлюлозного волокна.

Таким образом, показано, что, меняя надмолекулярную структуру и функциональный состав целлюлозы, можно влиять на сорбционно-десорбционные процессы иммобилизованных на материале антисептических препаратов.

ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ АНТИМИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА

Из основ текстильного материаловедения известно, что активировать процессы сорбции текстильным материалом различных препаратов (красители, отделочные составы) можно несколькими способами: физической и химической модификацией. На данном этапе изучено влияние условий иммобилизации на целлюлозных и синтетических материалах на сорбционно-десорбционные показатели синтезированного ранее препарата, содержащего наночастицы серебра (НЧ_{Ag}).

В качестве натуральных материалов были использованы отбеленные волокна льна и хлопка, вискозное волокно, а из синтетических – полиэфирное. Иммобилизацию наночастиц серебра на волокнах осуществляли путем обработки их препаратом, содержащим $0,4 \cdot 10^{-2}$ М НЧ_{Ag} , при температурах 20 и 100 °С в течение 30 мин., жидкостном модуле 20. Полиэфирное волокно, кроме того, предварительно обрабатывали пластификатором синтетических волокон - мочевиной (6 г/л при 100 °С

в течение 20 мин.) [9]. Десорбцию НЧ_{Ag} проводили в физраствор при температуре 35-36 °С в течение 6 ч.

Полученные данные представлены на рис. 5 и в табл. 2.

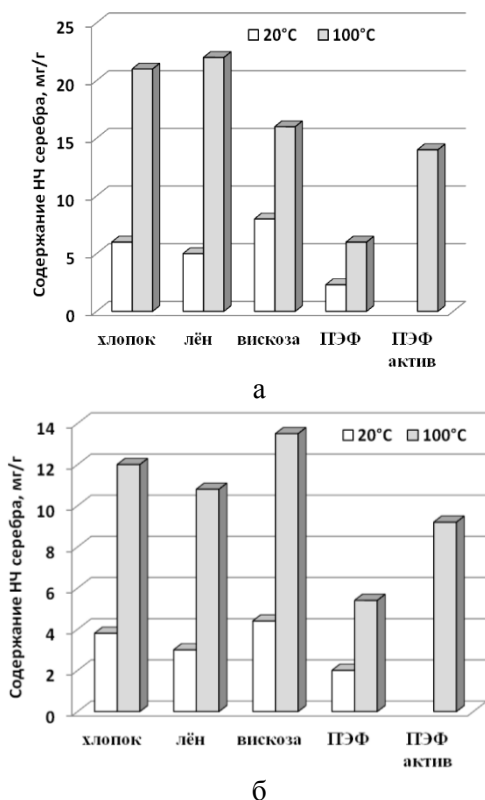


Рис. 5. Сорбция (а) и десорбция (б) зольей серебра текстильными материалами

Таблица 2

Показатели десорбции НЧ серебра из волокнистой массы

Наименование волокна	Десорбция НЧ серебра из волокна (%), обработанного при температуре	
	20 °С	100 °С
Хлопок	76	60
Лен	52	47
Вискоза	53	88
ПЭФ	95	96
ПЭФ, актив.	-	69

Сравнение пар столбиков на рис. 5а свидетельствует, что повышение температуры сорбции до 100 °С приводит к 3-4 кратному увеличению выбираемости НЧ из пропиточной ванны для натуральных волокон, 2-х кратному – для гидратцеллюлозного и в 2,5 раза - для химического волокна. Дополнительное введение в пропиточную ванну пластификатора синтетических волокон, а именно мо-

чевины, позволит увеличить содержание НЧ в полиэфирном волокне в 5,5 раз.

Десорбируется за 6 ч. в физраствор из волокон хлопка, льна и гидратцеллюлозных 47-88% НЧ, из ПЭФ – почти 100% (рис. 5б, табл. 2).

Эти данные убедительно доказывают, что, меняя условия иммобилизации АП в текстильный материал, можно регулировать сорбционно-диффузионные процессы в полимерной матрице, увеличивая количество сорбируемых и десорбируемых из полимера биоцидов для обеспечения требуемого антимикробного действия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРА КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА АНТИМИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА

Ранее проведенными в ИХР РАН исследованиями были разработаны способы синтеза ор-гано-неорганических гибридных соединений серебра, в которых окислительно-восстановительную реакцию осуществляли путем введения восстановителей в растворы Ag⁺, содержащих стабилизаторы [10]. В качестве стабилизатора использовали желатин, а восстановителя - тетрагидроборат натрия. Выбор желатина обусловлен его доступностью, высокой эффективностью стабилизации и экологической безопасностью, а выбор восстановителя - его высокой активностью в нейтральной среде при комнатной температуре и отсутствием значительных количеств продуктов окисления, загрязняющих НЧ [11, 12]. Кроме того, применение сильного восстановителя позволяет увеличить начальную скорость реакции и обеспечить появление большого числа зародышей в гомогенной системе, но, в то же время, создает проблемы обеспечения стабильности растущих частиц.

На наш взгляд, эффективным приемом усиления биологической активности формируемых ультрадисперсных частиц серебра и повышения их сохранности в форме наноматериалов является включение в их стабилизирующую оболочку полимеров, обладающих антимикробной активностью и способных повышать сорбцию НЧ_{Ag} на целлюлозный материал. В качестве таких полимеров могут выступать катионоактивные полиэлектролиты (КП). Эффективность взаимодействия КП с целлюлозой определяется величиной их положительного заряда и должна зависеть от числа положительно заряженных групп в полимерной цепи полиэлектролита.

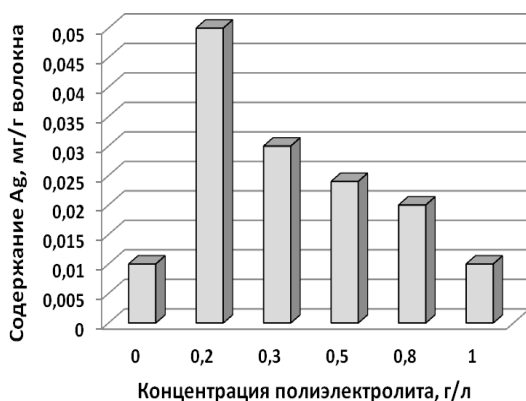
Присутствие отрицательно заряженного полимера (при соприкосновении с водной фазой целлюлозный материал приобретает отрицательный

заряд [13, 14]) за счет электростатического взаимодействия будет происходить образование локальных высоких концентраций комплекса HЧ_{Ag} - КП и их сорбция на поверхности материала.

Одновременно будет и повышение антимикробной активности HЧ_{Ag} в отношении резистентных штаммов бактерий. Наличие в оболочке Ag^0 положительно заряженных групп будет способствовать адсорбции частиц на отрицательно заряженной поверхности клетки, усиливать их взаимодействие с клеточной мембраной, приводить к ее дестабилизации, нарушению транспортных и барьерных функций.



а



б

Рис. 6. Зависимость содержания наночастиц Ag^0 в пропиточном растворе после обработки целлюлозного (а) и полиэфирного (б) материала от концентрации полиэлектролита

Данные по изучению влияния концентрации полиэлектролита на сорбцию HЧ_{Ag} из раствора целлюлозным и полиэфирным волокнами представлены на рис. 6. Наблюдается одинаковая зависимость содержания металлических частиц в волокне от концентрации полиэлектролита в пропиточном растворе. Концентрация частиц серебра не изменялась и составляла $0,7 \cdot 10^{-2}$ М.

Для обоих волокон резко увеличивается сорбция HЧ при концентрации КП 0,2 г/л. С увеличением содержания КП в растворе сорбция частиц серебра волокнами уменьшается и при концентрации КП 1 г/л практически такая же, как и без полиэлектролита.

В работе проведена оценка антигрибковой активности текстильных полотен с иммобилизованными HЧ серебра в разной концентрации. Для этого использовали:

- льняную ткань, пов.пл. 185 г/м²;
- полиэфирную ткань, арт. 56341;
- трикотажное полотно состава: 13% - полиэфир и 87% - хлопок;
- трикотажное полотно состава: 33% - полиэфир и 67% - хлопок.

В качестве грибковой культуры применяли дрожжеподобный гриб *Candida albicans*. Для количественной оценки степени воздействия биоцидов, содержащихся в текстильных материалах измеряли зону ингибирования роста грибов вокруг образцов в мм.

Таблица 2

Антигрибковая активность текстильных материалов

Вид ткани	Зона ингибирования роста грибов вокруг образцов в мм при содержании HЧ_{Ag} на материале, % масс			
	0	0,07	0,25	0,40
ПЭФ – 100%	0	1-2	2-3	3-4
лен – 100%	0	1-2	2-3	4-5
полиэфир - 13% хлопок - 87%	0	2-3	4-5	6-7
полиэфир - 33% хлопок - 67%	0	1-2	3-4	5-6

Данные, приведенные в табл. 2, убедительно свидетельствуют об активном воздействии текстильных материалов, обработанных биоцидами, на культуру дрожжеподобного гриба *Candida albicans*. Максимальное ингибирующее действие оказывают смешанные материалы с иммобилизованными HЧ_{Ag} , при содержании их на материале 0,25 - 0,40 % масс. Наблюдаемое незначительное уменьшение зон лизиса для синтетической ткани обусловлено уменьшением сорбционной способности таких материалов и меньшим абсолютным количеством препаратов в их структуре.

Таким образом, в работе показано, что изменением свойств полимерной матрицы и самого антимикробного препарата можно в значительной

степени менять сорбционно-диффузионные показатели материала, что, в итоге, приведет к регулированию антимикробной активности получаемого изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены сорбционно-десорбционные свойства целлюлозных и синтетических волокон по отношению к различным антимикробным препаратам. Показано, что, меняя надмолекулярную структуру целлюлозного волокна и условия иммобилизации биоцидов, можно регулировать сорбционно-диффузионные процессы в полимерной матрице, увеличивая количество сорбируемых и десорбируемых из полимера препаратов для обеспечения требуемого антимикробного действия. Варьирование соотношений модифицированных натуральных и синтетических волокон в перевязочном средстве создаст условия для регулируемой скорости выхода активных реагентов из полимерного материала, обеспечивая, при необходимости, ударную дозу антимикробного действия в первый момент использования или пролонгированную (в течение

длительного времени действия препарата).

Методами спектрофотометрического и колориметрического анализов установлено, что включение в состав композиции при синтезе наночастиц серебра катионактивного полиэлектролита, обеспечивающего субстантивную препарат к целлюлозному материалу, позволит регулировать скорость выхода во внешнюю среду иммобилизованных на текстильном материале частиц серебра.

Спектральные исследования выполнены на оборудовании центра коллективного пользования "Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований".

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (проект № 01201260484).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вирник А.Д.* Биологически активные производные целлюлозы. *Успехи химии.* 1973. Т. XLII. Вып. 3. С. 547-567.
2. *Вольф Л.А.* Журн. прикл. химии. 1966. Вып.11. С. 2608-2609.
3. *Роговин З.А., Гальбрайт Л.С.* Химические превращения и модификация целлюлозы. М.: Химия. 1979. 205 с.
4. *Бытенский В.Я., Кузнецова Е.П.* Производство эфиров целлюлозы. Л.: Химия. 1974. С. 160-174.
5. *Копейкин В.В., Панарин Е.Ф.* Водорастворимые наноконкомпозиты нульвалентного металлического серебра с повышенной антимикробной активностью. Доклады академии наук. 2001. Т. 380. № 4. С. 497-501.
6. *Папков С.П., Файнберг Э.З.* Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. М.: Химия. 1976. 231 с.
7. *Завадский А.Е.* Изменение тонкой структуры хлопковой целлюлозы при различных способах мерсеризации. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1980. № 1. С. 55-57.
8. *Завадский А.Е.* Изучение влияния температуры на релаксацию хлопчатобумажных тканей в процессе мерсеризации. Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1984. Т. 26. № 6. С. 719-722.
9. *Мельников Б.Н., Морыганов А.П., Калинин Ю.А.* Теория и практика высокоскоростной фиксации красителей на текстильных материалах. Москва. Легпромбытиздат. 1987. 208 с.
10. *Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П.* Наночастицы серебра: зависимость антимикробной активности от условий получения. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва).* 2019. Т. LXIII. № 2. С. 45-5. DOI: 10.6060/rcj.2019632.8.

REFERENCES

1. *Virnik A.D.* Biologically active cellulose derivatives. *Uspekhi khimii.* 1973. V. XLII. N 3. P. 547-567.
2. *Wolf L.A.* Journal. prikl. chemistry. 1966. N 11. P. 2608-2609.
3. *Rogovin Z.A., Galbreich L.S.* Chemical transformations and modification cellulose. M.: Chemistry. 1979. 205 p.
4. *Bytensky V.Ya., Kuznetsova E.P.* Production of cellulose esters. L.: Chemistry. 1974. P. 160-174.
5. *Kopeikin V.V., Panarin E.F.* Water-soluble nanocomposites of zero-valence metallic silver with increased antimicrobial activity. Reports of the Academy of Sciences. 2001. V. 380. N 4. P. 497-501.
6. *Papkov S.P., Feinberg E.Z.* Interaction of cellulose and cellulose materials with water. M.: Chemistry. 1976. 231 p.
7. *Zavadsky A.E.* Changing the fine structure of cotton cellulose with various methods of mercerization. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 1980. N 1. P. 55-57.
8. *Zavadsky A.E.* The study of the influence of temperature on the relaxation of cotton fabrics in the process of mercerization. *Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology.* 1984. V. 26. N 6. P. 719-722.
9. *Melnikov B.N., Moryganov A.P., Kalinnikov Yu.A.* Theory and practice of high-speed fixation of dyes on textile materials. Moscow, Legprombytizdat. 1987. 208 p.
10. *Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P.* Silver Nanoparticles: Dependence of the Antimicrobial Activity on the Synthesis Conditions. *Russian Journal of General Chemistry.* 2021. V. 91. N 3. P. 564-570 DOI:10.1134/S1070363221030270.

11. Хаин В.С. Применение тетрагидридборатов щелочных металлов в аналитической химии. Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36. № 5. С. 988-1007.
12. Шевченко Г.П., Свиридов В.В. Нанодисперсные металлы, формируемые в реакциях химического восстановления в водной среде. Вестник БГУ. 2003. Сер. 2. С. 56-73.
13. Мельников Б.Н., Захарова Т.Д., Кириллова М.Н. Физико-химические основы процессов отделочного производства. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1982. 280 с.
14. Кулиш А.Н., Нестерова Л.А., Кулигин М.Л. Вестник Хмельницкого национального университета. Технические науки. 2013. № 1. С. 229-231.
11. *Khain V.S.* Application of alkali metal tetrahydroborates in analytical chemistry. Journal of Analytical Chemistry. 1981. V. 36. N 5. P. 988-1007.
12. *Shevchenko G.P., Sviridov V.V.* Nanodisperse metals formed in chemical reduction reactions in an aqueous medium. Bulletin of BSU. 2003. Ser. 2. P. 56-73.
13. *Melnikov B.N., Zakharova T.D., Kirillova M.N.* Physico-chemical bases of finishing production processes. M.: Light and food industry. 1982. 280 p.
14. *Kulish A.N., Nesterova L.A., Kuligin M.L.* Bulletin of Khmel'nitsky National University. Technical Sciences. 2013. N 1. P. 229-231.

*Поступила в редакцию 31.03.2022
Принята к опубликованию 05.11.2022*

*Received 31.03.2022
Accepted 05.11.2022*