

Научная статья

УДК 677.027:677.047:677.042.2

EDN LWXVIA

doi 10.34216/2587-6147-2023-1-59-40-45

Татьяна Сергеевна Хлыстова¹

Юлия Сергеевна Фидоровская²

Людмила Сергеевна Петрова³

^{1,2} ООО «Колетекс», Москва, Россия,

³ Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново, Россия

¹ koletex@bk.ru, <https://orcid.org/000-0002-1092-7390>

² julya.06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6091-2878>

³ milafck@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2563-4774>

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЛЕЧЕБНОГО И ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Создание материалов с высокими антимикробными свойствами остается актуальной задачей на сегодняшний день. Широкое применение имеют текстильные материалы, модифицированные антимикробными препаратами, а именно препаратами на основе серебра. Основными преимуществами препаратов серебра является широкий спектр действия и резистентность к патогенной микрофлоре, высокие антибактериальные и противогрибковые свойства. Применение природных восстановителей способствует синтезу наночастиц, усиливая биоцидные свойства изделия и позволяя снизить концентрацию серебра. Статья посвящена разработке технологии получения текстильных материалов с антимикробными свойствами с использованием природных полимеров для модифицированной отделки.

Ключевые слова: наночастицы серебра, антибактериальные текстильные материалы, раневые повязки, биосовместимые полимеры, альгинат натрия, зеленые технологии, технология нанесения

Для цитирования: Хлыстова Т. С., Фидоровская Ю. С., Петрова Л. С. Разработка технологии получения антибактериальных текстильных материалов лечебного и профилактического назначения // Технологии и качество. 2023. № 1(59). С. 40–45. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-1-59-40-45>.

Original Article

Tatiana S. Khlystova¹

Yulia S. Fidorovskaya²

Lydmila S. Petrova³

^{1,2} LLC “Coletex”, Moscow, Russia

³ Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING ANTIBACTERIAL TEXTILE MATERIALS FOR TREATMENT AND PREVENTIVE PURPOSES

Abstract. The creation of materials with high antimicrobial properties remains an urgent task today. Textile materials modified with antimicrobial drugs namely silver-based drugs are widely used. The main advantages of silver preparations are a wide spectrum of action and resistance to pathogenic microflora, high antibacterial and antifungal properties. The use of natural reducing agents promotes the synthesis of nanoparticles, enhancing the biocidal properties of the product and allowing to reduce the concentration of silver. The article is devoted to the development of technology for the production of textile materials with antimicrobial properties using natural polymers for modified finishes.

Keywords: silver nanoparticles, antibacterial textile materials, wound dressings, biocompatible polymers, sodium alginate, green technologies, application technology

For citation: Khlystova T. S., Fidorovskaya Yu. S., Petrova L. S. Development of technology for obtaining antibacterial textile materials for treatment and preventive purposes. *Technologies & Quality*. 2023. No 1(59). P. 40–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-1-59-40-45>.

Современные стратегии лечения острых и хронических ран (ожоги, диабетические язвы) основаны на использовании раневых повязок на биополимерной основе, обеспечивающих высокую скорость заживления, которые могут препятствовать инфицированию и формируют оптимальные сроки восстановления функций.

Перевязочные материалы для инфицированных ран составляют важнейший сегмент индустрии ухода за ранами. Являясь передовым классом биологически активных перевязочных материалов для ран, природные полимерные волокнистые материалы, содержащие антибактериальные агенты в биосовместимых «депо», например наночастицы серебра (AgNP) или его ионы (Ag⁺), имеют значительный потенциал для замены своих классических аналогов. Для AgNP характерно сочетание уникальных оптических и каталитических свойств, развитая поверхность частиц, высокая емкость двойного электрического слоя, антибактериальная активность и вирулицидность, определяющие широкие области практического применения [1, 2]. При этом необходимо учитывать растущую устойчивость бактерий к широкому спектру антибиотиков, в этом случае такие биогибридные волокнистые повязки для ран могут превосходить классические системы направленной доставки лекарств [3, 4].

Значимым способом создания перевязочных материалов, включающих наночастицы серебра, является технология текстильной печати, которая позволяет обеспечить важные свойства и задать параметры медицинскому изделию посредством равномерного распределения полимерной композиции с активными компонента-

ми, в данном случае – наночастицами серебра. Кроме того, крайне важно учитывать и технологические особенности разрабатываемой полимерной композиции. Гидрогель на основе альгината натрия выступает как загуститель в текстильной печати, обладает необходимыми реологическими свойствами и, как основа для лечебной композиции, позволяет включать в его структуру необходимые лекарственные препараты, т. е. выступать в качестве депо для лекарств. Кроме того, данный полимер имеет уникальный микроэлементный состав, который обеспечивает гемостатические и регенерационные свойства, что является крайне важным в рамках применения ранозаживляющего изделия.

В процессе получения лечебной текстильной аппликации особое внимание уделяется выбору текстильного материала. Он должен отвечать всем необходимым требованиям, а именно иметь разрешение на применение в медицине, обладать свойствами паро- и воздухопроницаемости, быть гипоаллергенным и атравматичным. Также важным параметром среди прочих для текстильного полотна является влагоемкость. Она обеспечивает необходимую длительность высвобождения активных компонентов и препаратов из аппликации в раневую поверхность, а также способствует сорбции раневого отделяемого. Были рассмотрены следующие полотна: полотно трикотажное ПФ-2, нетканое холстопршивное, нетканое из вискозного волокна и полотно нетканое льносодержащее. Для выбора необходимого материала был проведен ряд экспериментов. Данные представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Сравнительные данные текстильных материалов (ТМ)

Текстильный материал	Состав	Смачиваемость, с	Поверхностная плотность, г/м ²	Влагоемкость, %	рН водной вытяжки из полотна	рН водной вытяжки текстильного изделия с композицией из альгината натрия
1. Трикотажное полотно полифункциональное ПФ-2	65 % хлопко-вискозная пряжа 35 % полиэфирное волокно	14,0	190	420	7,5	7,9
2. Полотно нетканое холстопршивное безниточное	100 % хлопковискозная пряжа	6,0	140	1530	7,1	7,4
3. Полотно нетканое из вискозного волокна	100 % вискозное волокно	3,0	90	1250	7,0	7,2
4. Полотно нетканое льносодержащее	50 % лен, 50 % полиэфирное волокно	40,0	50	1210	7,5	7,7

Значения рН зависят в большей степени от этапов предварительной обработки и подготовки (беление и т. д.) в рамках производства непосредственно полотна. Данные по анализу рН как водной вытяжки самого полотна, так и полотен с нанесенной композицией из альгината натрия демонстрируют отсутствие негативного влияния на раневую поверхность. В качестве основы для получения лечебных аппликаций выбрано полотно холстопршивное безниточное, имеющее трикотажный застил, обеспечивающий необходимый объем, влагоемкость. Существует вероятность, что полотно нетканое из вискозного волокна ввиду структурных особенностей может оставлять части волокон в ране, а это негативно отразится на процессе заживления.

Таким образом, материалом для получения лечебных аппликаций выбрано полотно холстопршивное безниточное, отвечающее всем необходимым требованиям.

Существуют многочисленные способы синтеза наночастиц серебра в растворе [5] при использовании восстановителей различной химической природы [6]. В данном случае используется природный восстановитель – альгинат натрия, что позволяет отнести технологию к «зеленой», природоподобной. При введении в полимерный гидрогель на основе альгината соли нитрата серебра происходит переход из ионной формы в форму наночастиц. Полученная композиция имеет повышенные антимикробные свойства и минимальное использование исходного препарата серебра. С помощью тест-подложек экспериментально установлено необходимое количество нитрата серебра для обеспечения антимикробного эффекта, а именно 0,05 %. Анти-

микробное воздействие формируется за счет разрушения мембраны репликационной системы, вследствие чего клетка погибает.

При разработке технологии уделялось внимание влиянию такого фактора, как рН. Хроническое течение раневого процесса формирует показатель рН 5,0, и смещение рН в слабощелочную сторону посредством воздействия на рану лечебного изделия будет способствовать регенерации тканей [7]. Кроме того, введение щелочного агента в среду альгината натрия способствует формированию наночастиц [8]. Приготовление лечебной полимерной композиции выглядит следующим образом: в гидрогель альгината натрия в концентрации, необходимой для получения композиции и осуществления технологии текстильной печати (6...7 %), вводят щелочной агент 10 мл 0,1 М раствор карбоната натрия, перемешивают в течение 30 мин, далее вводят нитрат серебра в количестве 0,05 %, перемешивают и настаивают до характерного потемнения, что свидетельствует о формировании наночастиц. Для увеличения атравматичности лечебного изделия в композицию вводится 2 % глицерина, который способствует упругости полимерной композиции. Далее полученная композиция наносится на текстильный материал посредством осуществления технологии текстильной печати через сетчатый шаблон (размер 20 меш), с числом проходов ракля, равным 6, что обеспечивает равномерное нанесение необходимого количества лечебной композиции. Поскольку готовое изделие должно быть стерильным, гамма-стерилизация является обязательным технологическим этапом. Доза стерилизации 15 кГр. Общий вид технологического процесса представлен на рис. 1.

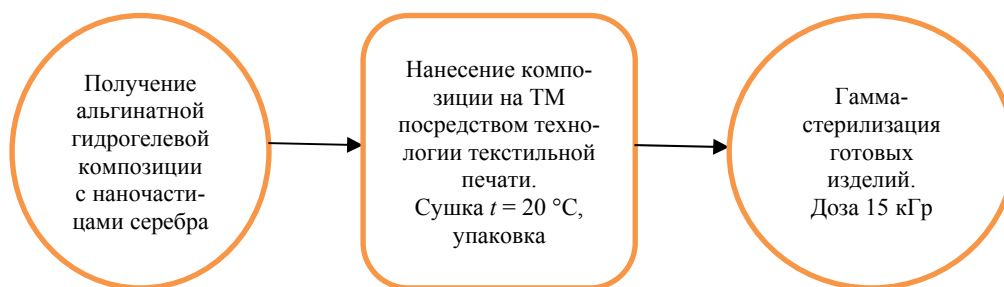


Рис. 1. Технологическая схема производства текстильных аппликаций

Разработанная технология позволяет получать текстильные аппликации с нанесенным полимерным слоем на основе альгината натрия и наночастицами серебра, распределенными как в ТМ, так и в слое альгината, как в «депо» [9]. За счет длительности десорбции обеспечивается пролонгация действия наночастиц серебра, ми-

нимизируется количество серебра, сохраняются хорошие антимикробные свойства. Данная технология позволяет достигать своевременного высвобождения активных компонентов во внешнюю среду (кожа, рана и т. д.), а также за счет свойств ТМ добиваться сорбции, например, раневого отделяемого. Особенность технологии

получения защитных материалов с антимикробными свойствами для медицинского применения в качестве перевязочных средств – это отсутствие технологического этапа промывки и наличие операции гамма-стерилизации. Отсутствие промывки позволяет сохранить альгинат на поверхности изделия и использовать его за счет свойств (гемостатических, регенерационных и др.) как «пролекарство».

Пандемия COVID-19, угрожающая здоровью людей во всем мире в течение последних трех лет, выявила недостаток отечественных технологий по созданию тканей с антибактериальной и вирулицидной пропиткой, необходимых для пошива постельного белья стационаров, масок и комбинезонов врачей, прежде всего инфекционных отделений. Барьерные текстильные материалы можно получать посредством пропитки готовыми гидрозолями серебра [10, 11] или осуществлять синтез наночастиц на текстильном материале. В первом случае недостатком, который в настоящее время не удалось нивелировать, служит неравномерность получаемой окраски текстильных материалов. В связи с этим были опробованы следующие различные варианты построения технологической схемы:

- пропитка разработанным составом, запаривание, фиксация;
- пропитка разработанным составом, сушка, запаривание.

Базовый состав включал нитрат серебра, полиэлектролит для стабилизации состава – поливинилпирролидон (Полидон А), хитозан водорастворимый, полиакрилат (Акремон) или полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ), а также зеленый восстановитель – глюкозу. Пропитку осуществляли при комнатной температуре и при кипении, степень отжима образца составляла 100 %, сушку конвективную проводили при 90 °С в течение 5...7 мин, фиксацию при 140 °С в течение 4 мин, запаривание – в среде насыщенного водяного пара в течение 5 мин. Антимикробную активность образцов определяли диско-диффузионным методом. Показано, что максимально устойчивый эффект получен при использовании в составе полидиаллилдиметиламмоний хлорида и хитозана, которые, судя по полученным данным, способствуют эффективной сорбции наночастиц в целлюлозное волокно и фиксации на волокнистом материале (табл. 2).

На рис. 2 представлена оптимальная технологическая схема антибактериальной отделки целлюлозных материалов.

Обработанные по предлагаемой технологии ткани, обладающие высокой антибактериальной активностью, рекомендуется применять для пошива постельного белья и одежды врачей инфекционных отделений больниц.

Таблица 2

Влияние концентраций компонентов композиции на результаты антибактериальной отделки целлюлозной ткани

Состав композиции, г/л	Технология обработки	Зона задержки роста, мм (Staphylo-coccus aureus)	Интенсивность окраски образца, К/S, при длине волны 510 нм	Устойчивость эффекта к стирке № 1, балл
ПДАДМАХ – 10 г/л, глюкоза – 4,5 г/л, нитрат серебра – 3 г/л	Пропитка при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, запаривание, фиксация	11,0	3,5	5/4
ПДАДМАХ – 10 г/л, глюкоза – 4,5 г/л, нитрат серебра – 3 г/л	Пропитка при $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, сушка, запаривание	10,0	3,0	5/3
Хитозан, 2 % – 10 г/л, глюкоза – 4,5 г/л, нитрат серебра – 3 г/л	Пропитка при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, запаривание, фиксация	10,1	3,3	5/5
Поливинилпирролидон – 10 г/л, глюкоза – 4,5 г/л, нитрат серебра – 3 г/л	Пропитка при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, запаривание, фиксация	10,1	3,4	5/4–5

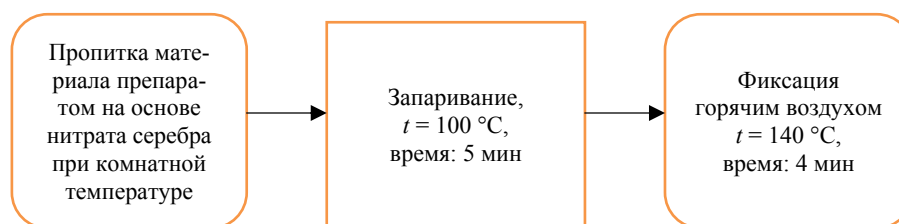


Рис. 2. Технологическая схема получения текстильных материалов с антибактериальными свойствами

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Henglein A. Small-particle research: physicochemical properties of extremely small colloidal metal and semiconductor particles // *Chemical Reviews*. 1989. Vol. 89. P. 1861–1873.
2. Dastjerdi R., Montazer M. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties // *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 2010. Vol. 79, no 1. P. 5–18.
3. Synthesis of Metal Nanoparticles in Metal. Phenolic Networks: Catalytic and Antimicrobial Applications of Coated Textiles / G. Yun, S. Pan, Ting-Yi Wang, J. Guo, Joseph J. Richardson, F. Caruso // *Advanced healthcare materials*. 2018. Vol. 7, no 5. P. 1700–1712.
4. Perkass N., Perelshtein I., Gedanken A. Coating textiles with antibacterial nanoparticles using the sonochemical technique // *Journal of Machine Construction and Maintenance. Problemy Eksploatacji*. 2018. Vol. 4. P. 15–26.
5. Перспективные способы антибактериальной отделки текстильных материалов / Л. С. Петрова, З. А. Яминзода, О. И. Одинцова, Е. Л. Владимирцева, А. А. Соловьева, А. С. Смирнова // *Российский химический журнал*. 2021. Т. 65, № 2. С. 67–82.
6. Влияние типа восстановителя на свойства синтезированных наночастиц серебра / Л. С. Петрова, К. А. Малышева, О. И. Одинцова, Е. Л. Владимирцева // *Наука и технический прогресс в современном обществе : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. Т. 2. Северный Чарльстон : CreateSpace, 2016. С. 98–101.*
7. Влияние кислотности на динамику репаративных процессов в мягких тканях / А. А. Андреев, А. А. Глухов, А. П. Остроушко, А. Р. Карапатьян, А. О. Чуян // *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2017. Т. 10, № 1. С. 64–71.
8. Исследование возможности снижения микробной обсемененности композиции на основе альгината натрия / Т. С. Быркина, Д. Р. Гафурова, Н. Д. Олтаржевская, Г. Е. Кричевский // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 1. С. 341–345.
9. Разработка композиционного материала на полимерной основе с комплексным действием для лечения ран / Ю. С. Фидоровская, Г. Е. Кричевский, Е. О. Медушева, Н. Д. Олтаржевская, М. А. Коровина // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2021. № 6. С. 153–160.
10. Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств / Л. С. Петрова, А. А. Липина, А. О. Зайцева, О. И. Одинцова // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 6. С. 81–85.
11. Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств / А. Д. Дмитриева, В. А. Кузьменко, Л. С. Одинцова (Л. С. Петрова), О. И. Одинцова // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58, № 8. С. 67–70.

REFERENCES

1. Henglein A. Small-particle research: physicochemical properties of extremely small colloidal metal and semiconductor particles. *Chemical Reviews*. 1989;89:1861–1873.
2. Dastjerdi R., Montazer M. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 2010;79.1:5–18.
3. Yun G., Pan S., Wang Ting-Yi, Guo J., Richardson Joseph J., Caruso F. Synthesis of Metal Nanoparticles in Metal. Phenolic Networks: Catalytic and Antimicrobial Applications of Coated Textiles. *Advanced healthcare materials*. 2018;7,5:1700–1712.
4. Perkass N., Perelshtein I., Gedanken A. Coating textiles with antibacterial nanoparticles using the sonochemical technique. *Journal of Machine Construction and Maintenance. Problemy Eksploatacji*. 2018;4:15–26.
5. Petrova L. S., Yaminzoda Z. A., Odintsova O. I., Vladimirtseva E. L., Solovieva A. A., Smirnova A. S. Perspective methods of antibacterial finishing of textile materials. *Russian Chemical Journal [Russian Journal of General Chemistry]*. 2021;65,2:67–82. (In Russ.)
6. Petrova L. S., Malysheva K. A., Odintsova O. I., Vladimirtseva E. L. Use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. *Nauka i tekhnicheskij progress v sovremennom obshchestve : materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii : v 3 t. T. 2* [Science and technological progress in modern society : in 3 vol. Vol. 2]. North Charleston, CreateSpace, 2016, pp. 98–101. (In Russ.)

7. Andreev A. A., Glukhov A. A., Ostroushko A. P., Karapityan A. R., Chuyan A. O. Influence of acidity on the dynamics of reparative processes in soft tissues. *Vestnik eksperimental'noy i klinicheskoy khirurgii*. [Bulletin of Experimental and Clinical Surgery]. 2017;10.1:64–71. (In Russ.)
8. Byrkina T. S., Gafurova D. R., Oltarzhevskaya N. D., Krichevsky G. E. Study of the possibility of reducing the microbial contamination of the composition based on sodium alginate. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2018;1:341–345. (In Russ.)
9. Fidorovskaya Yu. S., Krichevsky G. E., Medusheva E. O., Oltarzhevskaya N. D., Korovina M. A. Development of a polymer-based composite material with a complex effect for the treatment of wounds. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2021;6:153–160. (In Russ.)
10. Petrova L. S., Lipina A. A., Zaitsev A. O., Odintsova O. I. Use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2018;6:81–85. (In Russ.)
11. Dmitrieva A. D., Kuzmenko V. A., Odintsova L. S. (Petrova L. S.), Odintsova O. I. Synthesis and use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and chemical technology]. 2015;58.8:67–70. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 31.01.2023

Принята к публикации 18.02.2023