

ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 677.027.4.047.42:677.042.2

DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_11_211

Л. С. Петрова, З. А. Константинова, А. А. Соловьёва,
Е. Л. Владимирцева, О. И. ОдинцоваПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СОРБЦИИ ИОНОВ СЕРЕБРА
ЦЕЛЛЮЛОЗНЫМИ И КЕРАТИНСОДЕРЖАЩИМИ ТЕКСТИЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ*Ключевые слова: ионы серебра, синтетические полиэлектролиты, антимикробная отделка, целлюлозные и шерстяные текстильные материалы, кинетика сорбции.*

В настоящей работе решается проблема выбора интенсификатора сорбции ионов серебра текстильными материалами из природных волокон для получения в результате изделий медицинского назначения. Проведенные исследования были нацелены на изучение процесса сорбции ионов серебра (Ag^+) натуральными текстильными материалами, такими как целлюлозные (лен, хлопок) и шерстяные волокна. Основной задачей является выбор интенсификатора сорбции Ag^+ волокнами для повышения эффективности их антимикробного действия, а также анализ воздействия различных препаратов на скорость и параметры этого процесса. В работе оценивается влияние структуры волокнистых материалов на процесс сорбции ионов серебра. Проводится серия экспериментов по модификации волокон синтетическими полиэлектролитами. Среди использованных полиэлектролитов были полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ) и Акремон ЛК 2 - тройной сополимер акриловой, метакриловой и малеиновой кислот, а также их соли. При выборе полиэлектролитов для эксперимента важным фактором был заряд, который они приобретали при растворении в воде: например, Акремон ЛК 2 является анионоактивным полиэлектролитом, а ВПК-402 обладает высоким катионным зарядом. Эксперименты по изучению кинетики сорбции ионов серебра проводились методом раствора ограниченного объема в статических условиях из водных растворов нитрата серебра при перемешивании и термостатировании. На основе полученных данных построены кинетические кривые сорбции и рассчитаны сорбционные показатели процесса. Результаты исследования показали, что при взаимодействии ионов серебра с неактивированными натуральными материалами максимальную сорбционную способность проявляет шерстяное волокно, за ним следуют хлопчатобумажные и льняные ткани. Это говорит о потенциале шерсти как эффективного сорбента для ионов серебра. Доказано интенсифицирующее действие анионного полиэлектролита на поглощение серебра всеми видами волокна. Обработанные препаратами серебра в сочетании с полиэлектролитами текстильные материалы обладают высокими антибактериальными характеристиками. Отделка отличается хорошей устойчивостью к мокрым обработкам. Показана целесообразность предварительной активации текстильных материалов катионным полиэлектролитом, что позволяет получать высококачественную антимикробную отделку текстильных материалов.

L. S. Petrova, Z. A. Konstantinova, A. A. Solov'yova,
E. L. Vladimirtseva, O. I. OdintsovaAPPLICATION OF POLYELECTROLYTES TO ENHANCE SORPTION OF SILVER IONS
BY CELLULOSIC AND KERATIN-CONTAINING TEXTILE MATERIALS*Keywords: silver ions, synthetic polyelectrolytes, antimicrobial finishing, cellulose and wool textile materials, sorption kinetics.*

This work solves the problem of choosing an intensifier for the sorption of silver ions by textile materials made from natural fibers to obtain medical products as a result. The conducted studies were aimed at studying the process of sorption of silver ions (Ag^+) by natural textile materials, such as cellulose (linen, cotton) and wool fibers. The purpose of the study was to identify the patterns and features of this process, taking into account the chemical structure and structural organization of materials. In addition, an important task was to determine the conditions under which the maximum sorption capacity of fibers with respect to silver ions can be achieved. One of the key aspects of the study was the analysis of the kinetics of sorption of silver ions by various textile materials. To increase the sorption activity of the materials, they were modified with synthetic polyelectrolytes. Among the polyelectrolytes used were polydiiallyldimethylammonium chloride (PDADMACH) and Acremon LK 2 - a ternary copolymer of acrylic, methacrylic and maleic acids, as well as their salts. When choosing polyelectrolytes for the experiment, an important factor was the charge that they acquired when dissolved in water: for example, Acremon LK 2 is an anionic polyelectrolyte, and VPK-402 has a high cationic charge. Experiments to study the kinetics of sorption of silver ions were carried out using a limited volume solution method under static conditions from aqueous solutions of silver nitrate with stirring and thermostating. Based on the data obtained, sorption kinetic curves were constructed and the sorption parameters of the process were calculated. The results of the study showed that when silver ions interact with non-activated natural materials, wool fiber exhibits the maximum sorption capacity, followed by cotton and linen fabrics. This indicates the potential of wool as an effective sorbent for silver ions. The intensifying effect of anionic polyelectrolyte on the absorption of silver by all types of fiber has been proven. Textile materials treated with silver preparations in combination with polyelectrolytes have high antibacterial characteristics. The finish has good resistance to wet treatments. The feasibility of preliminary activation of textile materials with a cationic polyelectrolyte has been shown, which allows obtaining high-quality antimicrobial finishing of textile materials.

Введение

В настоящее время разработка антимикробных тканей является одним из наиболее важных и наукоемких направлений научных исследований, открывающим широкое поле для разработки и практической реализации новых технологий. Наиболее распространенным вариантом получения антибактериальной отделки закономерно считается применение серебросодержащих препаратов (Ag). [1-3]. Серебро, как известный натуральный антисептик, обладает уникальной способностью подавлять большинство болезнетворных микроорганизмов, включая вирусы и грибки [3-5]. Его антибактериальные свойства способствуют созданию специфической защиты для человеческого организма, особенно важной в условиях сниженного иммунитета. Серебро уже давно применяется в медицине и бытовых товарах благодаря своим уникальным свойствам. Однако современные технологии позволяют интегрировать его в текстильные материалы, что открывает новые перспективы для создания функциональной одежды и других текстильных изделий. Эффективность антимикробного действия серебра или его соединений зависит от высвобождаемого биоактивного иона серебра (Ag⁺) и его воздействия на клеточные мембраны патогенных микроорганизмов [4-6]. Металлическое серебро и неорганические соединения серебра ионизируются в присутствии воды, биологических жидкостей или тканевого экссудата. Ион серебра проявляет биологическую активность и легко взаимодействует с белками, аминокислотами, анионами и рецепторами на поверхности клеток млекопитающих и эукариот. Существует теория, что чувствительность бактерий (и, возможно, грибов) к серебру обусловлена генетически и связана с уровнями внутриклеточного поглощения серебра и его способностью взаимодействовать и необратимо денатурировать ключевые ферментные системы. Серебро обладает низкой токсичностью для организма человека, и ожидается минимальный риск из-за клинического воздействия при вдыхании, приеме внутрь, нанесении на кожу или урологическим или гематогенным путем.

Одежда с антимикробной отделкой на основе серебра может помочь в борьбе с различными инфекциями и уменьшить риск заражения. Такие материалы особенно полезны для людей с ослабленным иммунитетом или работающих в условиях повышенного риска контакта с бактериями и вирусами. Благодаря инновационным технологиям, использование серебросодержащих препаратов в текстильных материалах становится более эффективным и долговечным, что открывает новые возможности для развития функциональной одежды, способной обеспечить не только комфорт и стиль, но и дополнительный уровень защищенности.

Таким образом, интеграция серебра в текстильные материалы представляет собой перспективное направление развития современной индустрии одежды и текстиля, обеспечивая новые возможности для создания продуктов, способствующих поддержанию здоровья и безопасности потребителей.

Для создания материалов и изделий с антисептическими свойствами существует целый ряд технологий, которые позволяют достигнуть этой цели. Один из основных методов заключается в интеграции частиц серебра в структуру волокон на этапе формования или прядения [7,8]. Кроме этого, существует иной подход, который заключается в обработке уже изготовленных изделий специальными составами, включающими различные антисептики и антибактериальные вещества, а также компоненты, позволяющие зафиксировать их на волокне. Такой метод также эффективен и позволяет создавать материалы с долгосрочной антисептической защитой [2,3, 6-10]. Первый способ находит широкое применение при выпуске синтетических волокон, модифицированных на стадии производства веществами или наночастицами, угнетающими развитие патогенной микрофлоры. С натуральными волокнами такой вариант не осуществим, поэтому используется в основном второй способ. Вместе с тем, несмотря на возрастающую популярность синтетического волокна, с нашей точки зрения перспективным является придание антибактериальных свойств изделиям из натуральных волокон. Известно, что такие материалы отличает высокая гидрофильность, воздухопроницаемость, они обладают не только приобретенной, но и природной бактерицидностью, которая может быть усилена в процессах заключительной отделки.

Благодаря специфике строения волокнообразующих полимеров, натуральные волокна обладают сравнительно высокой сорбционной активностью по отношению к водорастворимым веществам. Высокая смачивающая способность, большой внутренний объем определяют условия для эффективного поглощения растворенного в воде активного компонента. Эффективность сорбции также зависит от состояния поверхности волокна, ее микрорельефа, заряда, присутствия вспомогательных веществ, и, наконец, от капиллярных особенностей конкретного материала (ленты, пряжи, ткани, трикотажного полотна и др.) [10,11].

Вместе с тем, существуют способы увеличить уровень поглощения волокном препаратов и прочность их закрепления. В первую очередь это изменение заряда поверхности, сокращение толщины двойного электрического слоя (ДЭС), возникающего при помещении волокнистого материала в водную среду, для чего при отделке тканей применяются поверхностно-активные (ПАВ) и текстильно-вспомогательные вещества (ТВВ) [12].

Таким образом, задачей данного исследования является выбор интенсификатора сорбции ионов серебра текстильными материалами из природных волокон, а также анализ воздействия различных препаратов на скорость и параметры этого процесса. Для достижения поставленной цели проведены серии экспериментов с использованием различных типов натуральных волокнистых материалов, таких как хлопок, лен, шерсть и оценено влияние структуры волокнистых материалов на процесс сорбции ионов серебра (Ag⁺).

Методика эксперимента

В работе использованы целлюлозные и белковые текстильные материалы - отбеленные в условиях производства хлопчатобумажная ткань бязь, арт. 262 и льняное полотно, а также промытая шерстяная ровница.

Объектами исследования были нитрат серебра (AgNO_3), глюкоза квалификации «х.ч.». Для создания оболочек применялись синтетические полиэлектролиты:

– полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ), торговое название ВПК-402, также известный как катионный полиэлектролит (КПЭ) по техническому условию 2227-184-00203312-98, представляет собой вещество с молекулярной массой $\sim 3 \times 10^5$. Этот полимер выглядит как однородная жидкость от бесцветной до желтой. Важно отметить, что в ней содержится не менее 25% основного вещества, а содержание хлористого натрия не превышает 10%. Его вязкость составляет не менее $2 \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$, а уровень рН колеблется в пределах от 5 до 8. [10];

– Акремон LK 2 - тройной сополимер акриловой, метакриловой и малеиновой кислот и их солей, полностью нейтрализованный, молекулярная масса ≈ 40000 , используется при производстве лаков и красок.

Выбор полиэлектролитов для проведения эксперимента обусловлен рядом причин, важнейшими из которых является разноименность их зарядов. Выше уже отмечено, что ВПК-402 – катионный полиэлектролит [13]. В отличие от него Акремон LK 2 является анионоактивным препаратом. Кроме того, оба препарата хорошо растворяются в воде, устойчивы в широком диапазоне температур, практически не пахнут, малоопасны с экологической точки зрения.

Процесс подготовки целлюлозного текстильного материала включал в себя несколько этапов. Сначала образцы материала пропитывали растворами полиэлектролитов, где концентрация варьировалась от 1 до 10 г/л. После пропитки материалы отжимали до 100 % и подвергали воздействию горячего воздуха при температуре 110 градусов в течение 2-10 минут для закрепления свойств.

Шерстяной текстильный материал использовался в виде волокна, сформированного в неспрессованный холст. При модификации шерсти полиэлектролитом ее сначала высушивали до постоянной массы, а потом нагревали в растворе в присутствии Акремон LK 2 или ПДАДМАХ в соответствующих концентрациях. Изучение процесса сорбции ионов серебра осуществляли в статических условиях из водных растворов нитрата серебра при перемешивании и термостабилизации.

Исследование кинетики сорбции ионов серебра проводилось с использованием метода ограниченного объема раствора [14]. Для этого в пробирки помещали навески сорбентов массой 0,1 г и заливали их 10 мл водного раствора нитрата серебра с начальной концентрацией в диапазоне от $2,5 \times 10^{-4}$ до $3 \times 10^{-4} \text{ л}^{-1}$. Пробы выдерживали до установления равновесия между сорбентом и раствором. После этого раствор отделяли от сорбента путем фильтрования и определяли в нем текущую концентрацию ионов металлов

(C_t) с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Сатурн». Погрешность прибора «Сатурн» при измерении концентрации ионов металлов составляет 3 %. Также в эксперименте учитывалась общая погрешность, которая не превышала 10 % [15]. Для расчета сорбционной емкости материала в каждый момент времени t использовалась специальная формула. Этот параметр позволяет оценить способность материала удерживать ионы серебра в процессе сорбции.

Сорбционную емкость материала в каждый конкретный момент времени t рассчитывали по формуле:

$$C_{\text{сорб}} = \frac{(C_0 - C_t)}{m} * V,$$

где $C_{\text{сорб}}$ – сорбционная емкость, мг/г; C_0 – начальная концентрация ионов металла, мг/л; C – концентрация ионов металла в момент времени, мг/л; m – масса навески сорбента, г; V – объем раствора, л.

В условиях установившегося равновесия в системе определяли равновесную концентрацию ионов металла в растворе (C_e) и рассчитывали равновесную сорбционную емкость:

$$C_{\text{сорб.e}} = \frac{(C_0 - C_e)}{m} * V,$$

где $C_{\text{сорб.e}}$ – равновесная сорбционная емкость, мг/г; C_e – равновесная концентрация ионов металла, мг/л.

Степень извлечения α определяли следующим образом:

$$\alpha = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} * 100 \text{ \%}.$$

Коэффициент распределения K_D рассчитывали как отношение концентрации ионов металла в фазе полимера ($C_{\text{сорб}}$) к его содержанию в растворе [15]:

$$K_D = \frac{C_{\text{сорб}}}{C_e}.$$

Для проверки степени антибактериальной устойчивости образцов материалов был использован спектрофотометрический метод. Сначала материалы обрабатывались полиэлектролитами, после чего они погружались в раствор AgNO_3 (содержание 3 г/л) с добавлением безопасного для окружающей среды вещества - глюкозы (в диапазоне от 3 до 5 г/л). Затем образцы сушили и подвергали запариванию. В результате этой процедуры материалы приобретали характерный желтовато-оранжевый оттенок, после чего количество нанесенного состава на волокно контролировалось путем измерения интенсивности окраски. Для определения количества нанесенного состава использовался прибор модели YS 3010. На длине волны 420 нм измерялся коэффициент отражения, а затем по формуле Гуревича-Кубелки-Мунка (ГКМ) рассчитывалась функция K/S [16]:

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R - (1 - R_s)^2 / 2R_s,$$

где K - коэффициент поглощения света, колорированным волокном; S - коэффициент рассеяния этим

же волокном; R - спектральный коэффициент отражения колорированного материала; R_s - спектральный коэффициент отражения исходного материала.

Это позволяет точно оценить количество нанесенного состава на поверхность материала и контролировать процесс обработки.

Антибактериальную активность отделанных материалов оценивали методом «дисков». Были использованы следующие культуры: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, полученные в бактериологической лаборатории областного противотуберкулезного диспансера им. М. Б. Стоюнина (г. Иваново). [17-19]. В качестве основного тест-микроба выбрали культуры стафилококков, которые представляют собой грамположительные неподвижные аэробные или факультативные анаэробные кокки, принадлежащие к классу микробов.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1-3 представлены кривые изменения содержания ионов серебра на материалах в зависимости от времени сорбции.

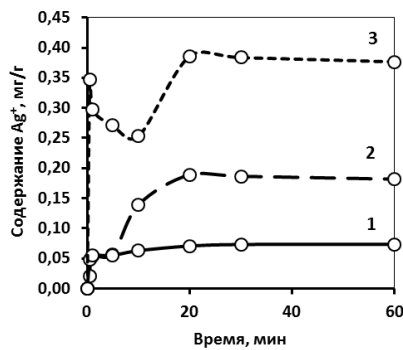


Рис. 1 – Сорбция ионов Ag^+ хлопчатобумажным текстильным материалом: 1 – исходный; 2 – с ПДАДМАХ; 3 – с Акремоном LK-2

Fig. 1 – Sorption of Ag^+ ions by cotton textile material: 1 - initial; 2 - with polydiallyldimethylammonium chloride (PDADMAH), PDADMAC; 3 - with Acremon LK-2

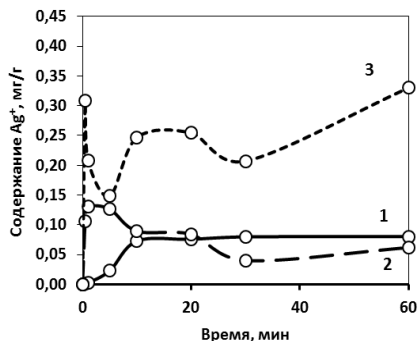


Рис. 2 – Сорбция ионов Ag^+ льняным текстильным материалом: 1 – исходный; 2 – с ПДАДМАХ; 3 – с Акремоном LK-2

Fig. 2 – Sorption of Ag^+ ions by linen textile material: 1 - initial; 2 - with PDADMAH; 3 - with Acremon LK-2

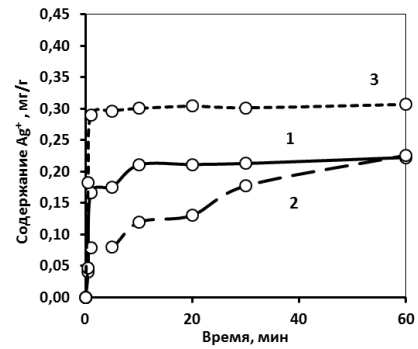


Рис. 3 – Сорбция ионов Ag^+ шерстяным текстильным материалом: 1 – исходный; 2 – с ПДАДМАХ; 3 – с Акремоном LK-2

Fig. 3 – Sorption of Ag^+ ions by woolen textile material: 1 - initial; 2 - with PDADMAH; 3 - with Acremon LK-2

Во всех экспериментах отмечается высокая скорость диффузии ионов серебра к поверхности материала и последующей сорбции - в первые 30 сек. происходит резкое увеличение содержания Ag^+ на волокне. Далее на необработанных полиэлектролитами волокон наблюдается постепенное увеличение количества сорбированного серебра до достижения состояния равновесия между раствором и волокном. Известно, что природный волокнистый материал обладает электрокинетическим зарядом и развитой удельной поверхностью, которые определяют его сорбционную активность по отношению к ионам металла. Экспериментально установлено, что в такой ситуации наибольшей сорбционной ёмкостью обладает шерстяная ровница. Можно предполагать, что в соответствии с современной теорией образования у поверхности волокон двойного электрического слоя (ДЭС), потенциальный барьер у шерстяного материала ниже, чем у целлюлозных волокон и легче преодолевается активными частицами. В общем случае у исходного волокна предел насыщения ионами серебра достигается через 10-20 минут.

У обработанных полиэлектролитами материалов наблюдается несколько иная картина. Присутствие полиэлектролита изменяет поверхностный заряд волокна и, следовательно, может влиять на скорость и величину поглощения частиц серебра, интенсифицируя или, наоборот, снижая уровень сорбции.

Так, количество ионов серебра на обработанных Акремоном LK-2 волокнистых материалах, увеличившись в первые 30-60 сек., в последующие 5-10 мин падает, тем не менее, превышая уровень исходного волокна. Впоследствии содержание Ag^+ возрастает до прежнего значения и даже несколько превышает его. Вероятнее всего падение обусловлено деформацией ДЭС при встраивании в него отрицательно заряженного полиэлектролита и образования «окон» и «каверн» для продвижения к поверхности ионов Ag^+ . В любом случае, присутствие как на целлюлозных, так и на белковых волокнах Акремона LK-2 заметно увеличивает их сорбционную ёмкость по отношению к ионам серебра.

В отличие от него, влияние на эффективность закрепления частиц серебра ПДАДМАХ неоднозначно. Для хлопчатобумажной ткани наблюдается заметное увеличение содержания Ag^+ , для льняного и шерстяного материалов оно, напротив, снижается. По нашему мнению, объяснение этому факту следует искать в структурных различиях между волокнистыми материалами. Так, известно, что даже после проведения многоуровневых подготовительных операций, льняное волокно содержит значительное количество сопутствующих веществ – пектиновых, гемицеллюлоз, лигнина – имеющих более аморфное и разветвленное строение, чем целлюлоза и соответственно эффективно взаимодействующих с положительно заряженными ионами [20-23]. Наличие ПДАДМАХ экранирует исходный заряд, снижая, таким образом, сорбционную активность льняного материала.

Что же касается шерстяного волокна, то после обработки катионным полиэлектролитом сорбция им ионов серебра в первый момент также снижается. Вероятно этот эффект связан с возможным конкурирующим действием положительно заряженного препарата. Однако вследствие амфотерного характера кератина, этот эффект постепенно нивелируется, и, в результате, количество сорбированного обработанным волокном Ag^+ сравнивается с исходным.

Полученные результаты доказывают влияние природы волокнистой матрицы и заряда полиэлектролита на скорость осаждения Ag^+ . В общем случае следует отметить однозначное интенсифицирующее действие Акремона LK-2 на поглощение серебра всеми видами волокна и ПДАДМАХ с хлопчатобумажным волокном.

С данными по содержанию ионов серебра на волокнистом материале хорошо коррелируют результаты оценки остаточного содержания Ag^+ в растворе. При анализе кинетических кривых изменения концентрации ионов серебра в растворе, обращает на себя внимание факт их плавного снижения (Рис. 4,5) в отличие от скачкообразного прироста их на волокне (Рис.1,3). Это также косвенно указывает на определяющую роль полиэлектролитов при активации волокнистого сорбента.

Установленные в ходе эксперимента закономерности были подтверждены при нанесении частиц серебра на текстильный материал. Процесс начинался с пропитки материала полиэлектролитом, за которой следовало плюсование раствором $AgNO_3$ (3 г/л) с добавлением экологически безопасного восстановителя – глюкозы в концентрации 3-5 г/л. После этого образцы либо сушили, либо подвергали запариванию или термообработке. В результате обработки материала, отметили изменение цвета образцов с желтого до оранжевого, что свидетельствовало о наличии нанесенных частиц серебра на поверхности текстиля. Это позволило оценить содержание серебра на волокне косвенным путем, основываясь на интенсивности окраски каждого образца. Полученные результаты были представлены в виде таблицы (Табл. 1).

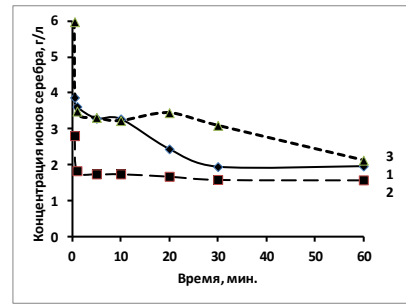


Рис. 4 – Влияние на относительное содержание ионов серебра в растворе времени выдержки в нем хлопчатобумажного текстильного материала: 1 – исходных; обработанных 2 - Акремоном LK-2; 3 - ВПК-402

Fig. 4 – Influence on the relative content of silver ions in the solution of the time of exposure in it of cotton textile material: 1 - initial; treated with 2 - Acremon LK-2; 3 - VPK-402

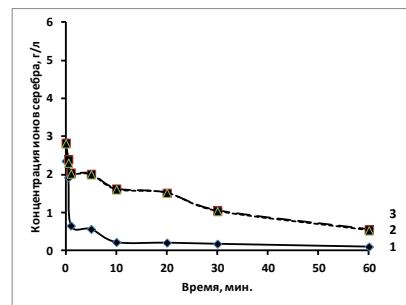


Рис. 5 – Влияние на относительное содержание ионов серебра в растворе времени выдержки в нем шерстяного текстильного материала: 1 – исходных; обработанных 2 - Акремоном LK-2; 3 - ВПК-402

Fig. 5 – Effect on the relative content of silver ions in the solution of the time of exposure of woollen textile material: 1 - initial; treated with 2 - Akremon LK-2; 3 - VPK-402

Для целлюлозных текстильных материалов проведены эксперименты с различными методами отделки, и наилучшие результаты в плане интенсивности окраски были достигнуты при использовании варианта IV. В данном варианте образец предварительно пропитывался раствором катионного полиэлектролита, затем обрабатывался препаратом серебра и подвергался запариванию. Однако, несмотря на интенсивность окраски, отделка в этом случае не обладала достаточной стойкостью к влажно-тепловым воздействиям. Поэтому для достижения лучших результатов рекомендуется использовать вариант I.

Шерстяное волокно приобретает отделку высокого качества при использовании технологического режима VI. Этот режим включает в себя предварительную пропитку образца анионным полиэлектролитом, что способствует ускоренному формированию прочного бактерицидного покрытия. Полученная отделка обладает уникальной устойчивостью на протяжении 5-7 циклов стирки, что является важным критерием при выборе материалов для текстильной промышленности.

Таблица 1 – Влияние состава пропиточной композиции на технические результаты отделки целлюлозных тканей**Table 1 – Effect of impregnation composition on technical results of finishing of cellulose fabrics**

Материал	Варианты обработки		Интенсивность окраски образца, K/S		Устойчивость эффекта к мокрым обработкам, балл	
			х/б ткань	льняная ткань	стирке №1	поту
целлюлозный материал	Акремон В1 -10г/л Сушка	I	3,4	3,5	5/5	5/5
	Акремон В1 (10г/л) Термообработка при 80°C	II	3,1	3,0	5/4	3/4
	Акремон В1 (10г/л) Термообработка при 100°C	III	3,2	3,3	5/4	4/4
	Акремон В1 (10г/л) Запаривание	IV	3,9	3,7	4/3	3/4
шерстяное волокно	Акремон В1 (5г/л), Сушка	V	0, 59		4/4	4/4
	Акремон В1 (5 г/л) Запаривание	VI	4,5		5/4	5/5
	Акремон В1 (5 г/л) Термообработка при 120°C	VII	3,2 (жесткий гриф)		4/4	4/4
	Акремон В1 (5 г/л) Термообработка при 100°C	VIII	2,8		4/4	4/3

Для практического подтверждения полученных результатов в работе были проведены исследования устойчивости выполненной по оптимальным режимам отделки к патогенным микроорганизмам различной бактериальной природы. Испытания антибактериальных свойств проводили по зонам ингибирования роста микробных культур вокруг образцов по методу «дисков». Для оценки применялись два вида стафилококков - коагулаза-отрицательный эпидермальный стафилококк *Staphylococcus epidermidis* и грамположительный золотистый стафилококк *Staphylococcus aureus*, а так же грамотрицательная палочковидная бактерия *Escherichia coli* [19, 20]. Культуры были предоставлены бактериологической лабораторией областного противотуберкулезного диспансера им. М. Б. Стоюнина (г. Иваново). Эти виды стафилококков и кишечная палочка являются одними из самых распространенных представителей микрофлоры, сопровождающих человека и способных вызывать ряд достаточно тяжелых заболеваний. (Табл.2).

Таблица 2 – Антибактериальные свойства обработанных по оптимальным режимам материалов**Table 2 – Antibacterial properties of materials treated according to optimal conditions**

	Зона подавления роста микроорганизмов, мм		
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Staphylococcus epidermidis</i>
Целлюлозный материал	8-10	10-12	2-3
Шерстяное волокно	7-9	8-10	3-5

Проведенные в работе эксперименты показали, что текстильные материалы, обработанные с использованием предложенной технологии, обладают повышенной антибактериальной активностью по отношению к *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* и неплохой к *Staphylococcus epidermidis*.

Таким образом, разработанные методы обработки материалов не только улучшают их характеристики, но также способствуют созданию более гигиеничных и безопасных изделий для конечных пользователей.

Выводы

В ходе проведенного исследования было установлено, что при поглощении ионов серебра неактивированными натуральными материалами, максимальный уровень сорбции ионов демонстрирует шерстяное волокно, далее соответственно хлопчатобумажная и льняная ткани.

Доказано интенсифицирующее действие анионного полиэлектролита на поглощение серебра всеми видами волокна. После обработки им степень извлечения ионов серебра из растворов, составляет: шерстью – 99%, льном – 57%, хлопком – 65%.

Обработанные препаратами серебра в сочетании с полиэлектролитами текстильные материалы обладают высокими антибактериальными характеристиками. Отделка отличается хорошей устойчивостью к мокрым обработкам.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2023-0008 с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671

Литература

1. О.А. Баранова, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов, Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, **23**, 1, 37-39(2014).
2. Л.С. Петрова, З.А. Яминзода, О.И. Одинцова, Е.Л. Владимирцева, А.А. Соловьёва, А.С. Смирнова, Российский химический журнал. **65**. 2. 67-82 (2021).
3. Ю.А. Букина, Е.А. Сергеева, Вестник Казанского технологического университета, **6**, 14, 170-172 (2012).
4. Э.Ш. Савадян, В.М. Мельникова, Г.П. Беликов, Антибиотики и химиотерапия, **34**, 11, 874-878 (1989).
5. Ю.А. Букина, Е.А. Сергеева, Вестник Казанского технологического университета, **6**, 7, 125-128 (2012).
6. O.L. Shanmugasundaram, Textile Review, **11**, 135-139 (2009).
7. Е.А. Панкова, И. Ш. Абдуллин, В. А. Усенко, Известия ВУЗов Технология легкой промышленности, **2**, 77-80 (2011).
8. А.А. Гребенкин, С.В. Зверлин, А.Е. Макаров, Вестник СанктПетербургского государственного университета технологии и дизайна, **3**, 40-42. (2010).
9. М. К. Халиуллина, Э. А. Гадельшина, Вестник Казанского технологического университета, **17**, 8, 87-91, (2014).
10. О.И. Одинцова, Е.Л. Владимирцева, О.В. Козлова, С.В. Смирнова, А.А. Липина, Л.С. Петрова, К.А. Ерзунов, З.А. Константинова, А.Р. Зимнуров, Ф.А. Быков, А.Г. Мельников, Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология, **66**, 7, 173-184, (2023).
11. В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Панматченко, Ю.В. Крыжановская, Технические свойства полимерных материалов, Профессия, Санкт-Петербург, 2003. 240 с.
12. К. Е. Перепелкин, Структура и свойства волокон, Химия, Москва, 1985. 208 с.
13. R. Tsekov., Ann. Univ. Sofia, Fac. Chem., Sofia University Press, Bulgaria. 2011, С.177-183.
14. Д.А. Топчиев, Ю.А. Малкандуев, Катионные полиэлектролиты: получение, свойства и применение, Академкнига, Москва, 2004. 232 с.
15. Ю.А. Кокотов, В.А. Пасечник, Равновесие и кинетика ионного обмена, Химия, Ленинград, 1970. 336 с.
16. С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров, Методы оптимизации эксперимента в химической технологии, Высшая школа, Москва, 1985. 327 с.
17. Справ.под ред. Г.Е. Кричевского, Методы исследования в текстильной химии, Легпромбытиздат, Москва, 1993. 401 с.
18. ГОСТ 9.060-75. ЕСЗКС. Ткани. Метод лабораторных испытаний на устойчивость к микробиологическому разрушению, Изд-во стандартов, Москва, 1975. 9 с.
19. ГОСТ 9.048-89. ЕСЗКС. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов, Изд-во стандартов, Москва, 1989. 22 с.
20. И. Я. Калонтаров, В. Л. Ливерант, Придание текстильным материалам биоцидных свойств и устойчивости к микроорганизмам, Дониш, Душанбе, 1981. 198с.
21. Ю. С. Оводов, Биоорганическая химия, **35**, 3, 293-310, (2009).
22. М. С. Дудкин, В. С. Громов, Н. А. Ведерников, Гемиллюлозы, Зинатне, Рига, 1991. 480 с.
23. M. A. O'Neill, D. Warrenfeltz, K. Kates, J. Biol. Chem., **271**, 22923-22930, (1996).

References

1. O.A. Baranova, S.D. Khizhnyak, P.M. Pakhomov, *Izvestiya vysshee obrazovaniya. Technology of light industry*, **23**, 1, 37-39(2014).
2. L. S. Petrova, Z. A. Yaminzoda, O. I. Odintsova, E. L. Vladimirtseva, A.A. Solovyova, A.S. Smirnova, *Russian Chemical Journal*. **65**. 2. 67-82 (2021).
3. Yu.A. Bukina, E.A. Sergeeva, *Herald of Kazan Technological University*, **6**, 14, 170-172 (2012).
4. E.Sh. Savadyan, V.M. Melnikova, G.P. Belikov, *Antibiotics and Chemotherapy*, **34**, 11, 874-878 (1989).
5. Y.A. Bukina, E.A. Sergeeva, *Herald of Kazan Technological University*, **6**, 7, 125-128 (2012).
6. O.L. Shanmugasundaram, *Textile Review*, **11**, 135-139 (2009).
7. E.A. Pankova, I.Sh. Abdullin, V.A. Usenko, *Izvestiya VUZov Tekhnologiya Slight Industry*, **2**, 77-80 (2011).
8. A. A. Grebenkin, S. V. Zverlin, A. E. Makarov, *Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design*, **3**, 40-42. (2010).
9. M. K. Khaliullina, E. A. Gadelshina, *Herald of Kazan Technological University*, **17**, 8, 87-91, (2014).
10. O. I. Odintsova, E. L. Vladimirtseva, O.V. Kozlova, S.V. Smirnova, A.A. Lipina, L.S. Petrova, K.A. Erzunov, Z.A. Konstantinova, A.R. Zimnurlov, F.A. Bykov, A.G. Melnikov, *Izvestiya vysshee obrazovaniyakh uchebovleniya. Series Chemistry and Chemical Technology*, **66**, 7, 173-184, (2023).
11. V.K. Kryzhanovskiy, V.V. Burlov, A.D. Panimatchenko, Y.V. Kryzhanovskaya, *Technical Properties of Polymeric Materials*, Profession, St. Petersburg, 2003. 240 p.
12. K.E. Perepelkin, *Structure and properties of fibres*, Chemistry, Moscow, 1985. 208 p.
13. R. Tsekov, *Ann. Univ. Sofia, Fac. Chem.*, Sofia University Press, Bulgaria. 2011, P.177-183.
14. D.A. Topchiev, Y.A. Malkanduev, *Cationic polyelectrolytes: preparation, properties and applications*, Akademkniga, Moscow, 2004. 232 p.
15. Y.A. Kokotov, V.A. Pasechnik, *Equilibrium and kinetics of ion exchange*, Chemistry, Leningrad, 1970. 336 p.
16. S.L. Ahnazarova, V.V. Kafarov, *Methods of Experimental Optimisation in Chemical Technology*, Vysshaya Shkola, Moscow, 1985. 327 p.
17. Sprav.ed. G.E. Krichevskiy, *Methods of research in textile chemistry*, Legprombytizdat, Moscow, 1993. 401 p.
18. GOST 9.060-75. ESZKS. *Fabrics. Method of laboratory tests for resistance to microbiological destruction*, Izd-vo standards, Moscow, 1975. 9 p.
19. GOST 9.048-89. ESZKS. *Technical articles. Methods of laboratory tests for resistance to mould fungi*, Izd vo Standards, Moscow, 1989. 22 p.
20. I. Y. Kalontarov, V. L. Liverant, *Giving textile materials biocidal properties and resistance to microorganisms*, Donish, Dushanbe, 1981.
21. Y. S. Ovodov, *Bioorganic Chemistry*, **35**, 3, 293-310, (2009).
22. M. S. Dudkin, V. S. Gromov, N. A. Vedernikov, *Hemicelluloses*, Zinatne, Riga, 1991. 480 p.
23. M. A. O'Neill, D. Warrenfeltz, K. Kates, *J. Biol. Chem.*, **271**, 22923-22930, (1996).

© Л. С. Петрова – канд. техн. наук, Старший преподаватель кафедры Химической технологии волокнистых материалов (ХТВМ), Ивановский государственный химико-технологический университет (ИГХТУ), Иваново, Россия, milafck@gmail.com; З. А. Константинова – аспирант кафедры ХТВМ, ИГХТУ, miss.askhabova@mail.ru; А. А. Соловьёва – аспирант кафедры ХТВМ, ИГХТУ, mironova.anna05@mail.ru; Е. Л. Владимирцева – д-р.техн. наук, профессор кафедры ХТВМ, ИГХТУ, e-mail: elvladimirtseva@mail.ru; О. И. Одинцова – д-р.техн. наук, зав. кафедры ХТВМ, ИГХТУ, odolga@yandex.ru.

© L. S. Petrova – PhD (Technical Sci.), Senior Lecturer of the Department of Chemical Technology of Fibrous Materials (ChTFM), Ivanovo State Chemical and Technological University (ISChTU), Ivanovo, Russia, milafck@gmail.com; Z. A. Konstantinova – PhD-student of the ChTFM department, ISChTU, miss.askhabova@mail.ru; A. A. Solov'yova – PhD student of the ChTFM department, ISChTU, mironova.anna05@mail.ru; E. L. Vladimirtseva – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor of the ChTFM department of ChTFM, ISChTU, e-mail: elvladimirtseva@mail.ru; O. I. Odintsova – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Head of the ChTFM department, ISChTU, odolga@yandex.ru.

Все статьи номера поступили в редакцию журнала в период с 15.10.24 по 10.11.24.