

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ ШЕРСТЯНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОБЗОР)

А.А. Соловьева, Е.Л. Владимирцева, С.В. Смирнова

Кафедра химической технологии волокнистых материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет (ИГХТУ), пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: mironova.anna05@mail.ru, elvladimirtseva@mail.ru, smirnovasv1961@mail.ru

Проведен анализ научно-технической литературы, в которой представлены возможные варианты модификации шерстяного текстильного материала, как традиционные, так и современные, с целью придания ему улучшенных потребительских свойств. Оценивается эффективность как химической модификации, так и физического воздействия на поверхность и фибриллярную структуру шерсти. В качестве химической модификации рассматривается действие кислот, щелочей, окислителей, а так же нанесение полимерных композиций с образованием сетчатых поверхностных и пространственных структур. Физическая модификация связывается в первую очередь с воздействием на волокнистый материал источников высокой энергии: электрохимических, радиационных, плазменных и лазерных. Эти методы модификации текстильных материалов считаются наиболее эффективными и экономичными для улучшения их механических и физических характеристик. Как традиционные, так и современные методы обработки шерсти показывают, что химическая технология отделки текстильных материалов постоянно развивается. Но развитие направлено не только на улучшение качества волокна (например, прочности, мягкости, износостойкости), но и на экологичность производства. Современные тенденции демонстрируют сокращение использования химических веществ и технологий, наносящих вред окружающей среде. Поиск путей применения инновационного оборудования, нетрадиционных процессов, направленных на экологизацию отделки текстильных материалов, представляет один из главных факторов стимулирующих развитие текстильной отрасли как у нас в стране, так и за рубежом. Представлены российские и зарубежные литературные источники, как за последнее десятилетие, так и классические труды, заложившие научную основу под теорию и практику модификации шерстяных материалов.

Ключевые слова: шерстяное волокно, текстильный материал, химическая модификация, физическая модификация

EFFECTIVE TECHNOLOGIES FOR MODIFYING WOOL TEXTILE MATERIALS (REVIEW)

A.A. Solovyova, E.L. Vladimirtseva, S.V. Smirnova

Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemistry Technology (ISUCT), Sheremetevsky Ave., 7, Ivanovo, 153000, Russian Federation

E-mail: mironova.anna05@mail.ru, elvladimirtseva@mail.ru, smirnovasv1961@mail.ru

The article analyzes scientific and technical literature, which presents possible options for modifying wool textile material, both traditional and modern, in order to impart improved consumer properties to it. The effectiveness of both chemical modification and physical impact on the surface and fibrillar structure of wool is assessed. The effect of acids, alkalis, oxidizers, as well as the application of polymer compositions with the formation of mesh surface and spatial structures are considered as chemical modification. Physical modification is associated primarily with the impact of high-energy energy sources on the fibrous material: electrochemical, radiation, plasma and laser. These methods of modifying textile materials are considered the most effective and cost-effective for improving their mechanical and physical characteristics. Both traditional and modern

methods of wool processing show that chemical technology for finishing textile materials is constantly evolving. But the development is aimed not only at improving the quality of the fiber (for example, strength, softness, wear resistance), but also at the environmental friendliness of production. Modern trends demonstrate a reduction in the use of chemicals and technologies that are harmful to the environment. The search for ways to use innovative equipment, non-traditional processes aimed at greening the finishing of textile materials, is one of the main factors stimulating the development of the textile industry both in our country and abroad. Russian and foreign literary sources are presented, both for the last decade, and classical works that laid the scientific basis for the theory and practice of the presented topic.

Keywords: wool fiber, textile material, chemical modification, physical modification

Для цитирования:

Соловьева А.А., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В. Эффективные технологии модификации шерстяных текстильных материалов (обзор). *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 4. С. 23–29. DOI: 10.6060/rcj.2025694.3.

For citation:

Solovyova A.A., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V. Effective technologies for modifying wool textile materials (review). *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 23–29. DOI: 10.6060/rcj.2025694.3.

ВВЕДЕНИЕ

Шерстяное волокно представляет собой уникальный продукт, данный человечеству природой. С потребительской точки зрения волокно обладает уникальными свойствами: шерстяные материалы прочны и эластичны, пропускают воздух и воду и вместе с тем сохраняют тепло. Изделия из шерсти прочны и комфортны в носке. Кроме того, что немаловажно в настоящий момент с точки зрения осознанного природопользования, шерстяные материалы представляют собой возобновляемый ресурс, например, у овец полное руно стригут 1–2 раза в 1 г. Шерстяное волокно биоразлагаемое, и поэтому нет проблем с утилизацией использованных изделий. Шерсть – практически единственное натуральное волокно, кроме льняного, которое массово производится и перерабатывается в Российской Федерации.

При этом следует отметить, что хотя природные шерстяные волокна, обладают целым комплексом положительных свойств, они имеют ряд недостатков, а именно склонность к усадке, неустойчивость к истиранию, пилингуемость, аллергия, подвержены разрушающему воздействию микроорганизмов, портятся от долгого пребывания на свету.

Добиться устранения недостатков и улучшения технологических и эксплуатационных характеристик изделий из шерсти возможно за счет модификации шерстяного волокна. Модификация представляет собой направленное изменение поверхности волокна и позволяет в определенной степени

улучшить его технологические показатели, повышая потребительские свойства выпускаемых текстильных материалов [1].

В настоящее время можно выделить три основных вида модификации: химическая, физическая и биомодификация (ферментативная).

Обзор посвящен химической модификации, как наиболее распространенной. К ней относятся все виды отделки, при которых на шерстяное волокно воздействуют каким-либо химическим веществом, которое изменяет его характеристики: обработка предконденсатами термореактивных смол, хлорирование газообразным хлором и различными водными растворами хлорсодержащих соединений, нанесение синтетических полимеров или олигомеров и т.д.

ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ШЕРСТЯНЫХ ВОЛОКОН

Цели химической модификации очень разнообразны, в первую очередь они касаются придания новых функциональных характеристик. Можно выделить внутренние реакции, связанные с химическим строением шерстяного волокна и со структурными особенностями.

Как положительные, так и отрицательные качества шерсти определяются их химическим, гистологическим и морфологическим строением.

Основным веществом, формирующим структуру волокна шерсти, является белок кератин, состоящий из аминокислот. Различное содержание аминокислот в шерстяном волокне обуславливает его химические а, следовательно, и технологические свойства [2–4].

Одним из основных вариантов химической модификации, обусловленным аминокислотным составом кератина является использование кислотных реагентов для коррекции его свойств [5, 6].

Волокна шерсти могут быть химически модифицированы при реакции с янтарным и глутаровым ангидридами для корректировки аминокислотного состава [7]. При этом с повышением температуры (65–80 °C) и времени (1–2 ч) реакции происходит увеличение массы и содержания ацилов в аминокислотной цепи, достигая 18,9% (158,9 моль/10⁵ г) и 23% (163,9 моль/10⁵ г) для сукцинированной и глутарированной шерсти, соответственно.

При кислотном гидролизе наблюдались изменения в аминокислотном составе ацилированной шерсти, а именно уменьшение количества основных аминокислотных остатков и образование орнитина. Степень молекулярной ориентации при этом несколько снижается, особенно при большом увеличении массы, одновременно меняются вязкодеформационные характеристики.

Другим не менее распространенным вариантом химической модификации является воздействие на шерсть окислителей. Например, озона (O₃), представляющего собой аллотропную форму кислорода. Положительным свойством модификации озоном является то, что он воздействует преимущественно на края кутикулы, и окислительная деструкция ограничивается поверхностью волокна, не влияя на объемные свойства и способность к восприятию красителя. Недостаток – низкая устойчивость озона к разложению, поэтому его приходится вырабатывать на месте [8], и плохая растворимость газообразного O₃ в воде, и поэтому для усиления переноса озона в воду используются разбрызгиватели [9].

Основной технологической характеристикой, придаваемой шерсти при обработке озоном, независимо от вида и способа нанесения окислителя, является устойчивость к усадке [10–13].

Также для защиты от усадки применяется обработка хлором. Ключевыми преимуществами ее являются низкие затраты, высокая скорость производства, а саму обработку можно проводить в непрерывном режиме, что делает процесс энергоэффективным. Тем не менее, поскольку хлорирование практически полностью разрушает защитный поверхностный слой волокна, прочностные свойства шерсти значительно снижаются. Кроме того, обработки на основе хлора опасны с экологической точки зрения [14, 15].

Большое количество исследований посвящено антибактериальной отделке шерстяных материалов. Для решения этой задачи используются различные вещества: частицы металлов, полиэлектролиты, полимерные композиции, алюмосиликаты и пр.

Часто применяется серебро, которое является известным натуральным антисептиком и обладает ярко выраженной способностью подавлять большинство болезнетворных микроорганизмов, включая вирусы и грибки [16–19]. В работе [20] придание антибактериального эффекта достигалось за счет нанесения на шерстяные текстильные материалы биоактивных веществ, заключенных в полиэлектролитные оболочки. Объектами исследования были ионы серебра (Ag⁺) и синтетические разноименно заряженные полиэлектролиты: полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ), Акремон LK-2. Результаты показали, что добавление анионного полиэлектролита существенно интенсифицирует поглощение ионов серебра, поскольку полиэлектролит модифицирует поверхность волокон, улучшая их доступность, а также создавая дополнительные активные центры для связывания Ag⁺. В результате шерстяное волокно приобретает отделку высокого качества, что способствует ускоренному формированию прочного бактерицидного покрытия. Полученная отделка обладает устойчивостью на протяжении 5–7 циклов стирки.

Показана возможность модификации шерстяных волокон наночастицами серебра восстановленного в растворе поливинилового спирта с использованием глюкозы, этиленгликоля, глицерина, а также УФ-излучения [21].

Интересным вариантом антибактериальной модификации шерсти является поверхностная прививка полимеров – достаточно известный метод повышения совместимости натуральных полимеров с синтетическими. Данный способ позволяет сохранить все положительные качества натуральных волокон (гидрофильность, воздухопроницаемость) и при этом придать им новые необходимые характеристики: повысить прочностные свойства, увеличить адгезию к синтетическим веществам, устойчивость к пожелтению, отталкивание масла и воды, а также прочность волокон к истиранию, стабильность размеров [22–26]. Введение полимеров во внутреннюю структуру так же может изменить свойства шерсти: прочность на разрыв, устойчивость к истиранию, усадку, гигроскопичность, долговечность, устойчивость к бактериям, химиче-

ским веществам и пиллингу, а также термическую стабильность [27, 28]. В процессе также участвуют разнообразные химические вещества, такие как щелочные агенты, силаны, изоцианаты, перекисные соединения и др. [29, 30]. Цель процесса прививки – придать шерстяному волокну дополнительные свойства, не ухудшая имеющихся характеристик, и таким образом, разнообразить и расширить сферу его применения [31].

Также для модификации шерсти широко используются синтетические полимерные покрытия. В основном их задачей является скрепление чешуек кутикулы, что придает шерстяным материалам устойчивость к усадке. Для получения полимерных покрытий на шерстяном волокне в качестве объектов исследования был использован широкий ассортимент образующих поперечные сшивки полимерных смол, таких как полибутадиев [32], полиуретан, содержащий свободные изоцианатные группы (Synthappret LKF) [33], полиуретан с бисульфитным аддуктом. (Synthappret BAP) [34], простой полиэфир с концами из соли Бунте (Ланкролан SHR3) [35], полииолы [36], полиамиды [37], полидиметилсилоксандиолы в сочетании с аминофункциональным силановым сшивающим агентом [38], диакрилаты [39]. В работе [40] использовали полиглицидиловый эфир глицерина (GPE) для сшивания эпикутикулы шерстяного волокна в шерстяных нитях. Также в качестве покрытия для чешуек шерстяного волокна изучена возможность применения химически активного алифатического диизоцианата, и показано, что комбинированная обработка дилауратом дибутилола (DBTL), катализируемым гексаметилендиаминдиизоцианатом (HMDI) и триэтилентетрамином (TETA), обеспечивает высокую устойчивость к усадке [41].

Следует отметить, что этот способ модификации не всегда приводит к ожидаемым результатам. Так, в исследовании [32] установлено, что хотя шерстяные ткани, покрытые бисульфитным аддуктным веществом Синтапрет БАП при 3,0%, приобретают превосходную устойчивость к усадке, однако их остальные эксплуатационные свойства значительно ухудшаются. Не дало положительных результатов и использования смолы Hercosett для покрытия шерстяных чешуек [42].

Многими авторами отмечается, что хотя синтетические полимеры дают положительные результаты при придании шерстяным волокнам противоусадочных свойств, однако чтобы сохранить у него такие природные качества, как экологичность, эластичность и гриф, требуется другой подход. С

этой целью исследователи рассматривают применение для модификации шерсти природные биополимеры. В первую очередь для этого используют хитозан – природный биополимер, который по строению молекулы является полисахаридом и имеет химическую формулу -бета-(1,4)-2-(амино)-2-дезоксид-Д-глико-пираноза. В водном растворе при $\text{pH} < 6,5$ существует его протонированная форма (NH_3^+), и ведет он себя как катионный полиэлектролит, способный взаимодействовать с отрицательно заряженными молекулами. Таким образом, хитозан в кислом состоянии ($\text{pH} 5$) может образовывать химические связи и сшивки с белковым волокном, но не имеет прочного сцепления с кератином [43, 44]. Сорбированный хитозан увеличивает гидрофильность и скорость окрашивания шерсти, повышает интенсивность и устойчивость окраски, устойчивость к усадке [45–47]. Хитозан, присутствующий на поверхности шерстяного волокна, легко взаимодействует с красителем, благодаря чему увеличивает скорость и сокращает время окрашивания [47–49].

Гидрофобность хитозанового покрытия возрастает за счет включения длинноцепочечных N-ацильных групп, что улучшает антиваляльное поведение лучше, чем само покрытие хитозана. В работе [50, 51] авторы пришли к выводу, что отделка хитозаном шерстяных тканей увеличивает жесткость изгиба, а величина изменений зависит от молекулярной массы хитозана и условий процесса.

Биополимеры могут повышать стойкость шерстяных волокон к термоусадке [52–54]. Они взаимодействуют с аминогруппами шерстяного волокна с образованием ионных связей.

Показано влияние покрытия хитозаном на устойчивость шерстяных волокон к усадке [55–57]. Была использована одноступенчатая обработка с применением простого и модифицированного хлоридом циануровой кислоты хитозана, а также двухступенчатая обработка хитозаном с последующей сшивкой лимонной кислотой или полиуретаном [57, 58].

Проведено сравнение эффективности применения нанохитозана, низкомолекулярного хитозана и обычного хитозана в процессе отделки шерстяных текстильных материалов [59]. Обнаружено, что шерстяная ткань, обработанная нанохитозаном, показала лучшую термостойкость и антибактериальные свойства по сравнению с шерстяной тканью, обработанной либо низкомолекулярным хитозаном, либо обычным хитозаном.

Интересна работа по приданию шерсти противоусадочных свойств с применением перьевого кератина, экстрагированного протеазой, сшитого с помощью полиглицидилового эфира глицерина [60]. Обработанная им шерстяная ткань, продемонстрировала отличные свойства против сваливания и усадки. Аналогичные исследования, проведенные Кардамоном и Мартином, касаются использования гидролизата кератина для покрытия чешуек шерстяного волокна, с трансклутаминазой в качестве сшивающего агента. Установлено, что гидролизат кератина или трансклутаминаза сами по себе не только повышают прочность на растяжение, но и устойчивость к усадке [61]. Однако комбинированная обработка гидролизатом кератина и трансклутаминазой позволяет максимально повысить прочность шерстяной ткани при растяжении и устойчивость к усадке, чем любая из них по отдельности.

ВЫВОДЫ

Большинство вариантов химических воздействий на шерстяное волокно в первую очередь затрагивают поверхностные слои волокна и реже глубинную структуру кератина. В основном процессы касаются сглаживания чешуйчатого слоя с це-

лью снижения свойлачиваемости и придания противоусадочных свойств шерстяным текстильным материалам. Главная цель модификации шерсти – это придание ей новых полезных свойств без ущерба для ее природных преимуществ (например, гигроскопичности, теплоизоляции).

Анализ представленной в научно-технической литературе информации показывает, что химическая технология отделки текстиля постоянно развивается. Но развитие способов модификации текстильных материалов направлено не только на улучшение качества волокна (например, прочности, мягкости, износостойкости), но и на экологичность производства. Поиск путей применения инновационного оборудования, нетрадиционных процессов, направленных на экологизацию отделки текстильных материалов, представляет один из главных факторов, стимулирующих развитие текстильной отрасли как у нас в стране, так и за рубежом.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2023-0008.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Асаулюк Т.С., Семешко О.Я., Сарибеккова Ю.Г. // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2017. Т. 4. № 1(88). С. 50-55. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108269.
2. Barani H., Haji A. // *J. Mol. Struct.* 2015. V. 1079. P. 35-40. DOI: 10.1016/j.molstruc.2014.09.041.
3. Пехташева Е.Л., Неверов А.Н., Заиков Г.Е. // *Вестник КНУТУ*. 2012. Т. 15. № 8. С. 178-191.
4. Pekhtasheva E.L., Neverov A.N., Zaikov G.E. // *Bul. of KNTU*. 2012. V. 15. N 8. P. 178-191. (in Russian).
5. Новорядовская Т.С., Садова С.Ф. Химия и химическая технология шерсти. М.: Легпромбытиздат. 1986. С. 2000.
6. Novoradovskaya T.S., Sadova S.F. Chemistry and chemical technology of wool. M.: Legprombytizdat. 1986. P. 2000. (in Russian).
7. Аммайяппан Л. // *Азиатский журнал текстиля*. 2013. Т. 3. С. 15-28. DOI: 10.3923/ajt.2013.15.28.
8. Гинтибидзе Н.Г., Тхелидзе Н.Н. // *Вестник НПА*. 2015. №2. С. 32-40.
9. Gintibidze N.G., Tkheldize N.N. // *Bulletin of the NPA*. 2015. N 2. P. 32-40. (in Russian).
10. Freddi G., Innocenti R., Arai T. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 89. N 5. P. 1390-1396. DOI:10.1002/APP.12271.
11. Summerfelt S.T. // *Aquacult Eng.* 2003. V. 28. P. 21-36. DOI: 10.1016/S0144-8609(02)00069-9.
12. Hassan M.M., Hawkyard C.J. // *Woodhead Publishing Limited*. 2007. P. 149-190. DOI: 10.1533/9781845693091.149.
13. Karakawa T., Umehara R., Ichimura H. // *J. Sen'I Gakkai-shi*. 2002. V. 58. N 4. P. 135-142. DOI:10.2115/fiber.58.135.
14. Ning F., Wang J., Yu W. // *Appl. Mech. Mater.* 2012. P. 152-154. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.852.
15. Kobayashi T., Arisawa M., Ngoc N.L. // *J. Adhesion Sci. Technol.* 2011. V. 25. P. 1849-1859. DOI: 10.1163/0169-42410x525740.

REFERENCES

1. Asauluk T.S., Semeshko O.Ya., Saribekova Yu.G. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 4. N 1(88). P. 50-55. (in Russian). DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108269.
2. Barani H., Haji A. // *J. Mol. Struct.* 2015. V. 1079. P. 35-40. DOI: 10.1016/j.molstruc.2014.09.041.
3. Pekhtasheva E.L., Neverov A.N., Zaikov G.E. // *Bul. of KNTU*. 2012. V. 15. N 8. P. 178-191. (in Russian).
4. Novoradovskaya T.S., Sadova S.F. Chemistry and chemical technology of wool. M.: Legprombytizdat. 1986. P. 2000. (in Russian).
5. Ammayappan L. // *Asian Textile Journal*. 2013. V. 3. P. 15-28. (in Russian). DOI: 10.3923/ajt.2013.15.28.
6. Gintibidze N.G., Tkheldize N.N. // *Bulletin of the NPA*. 2015. N 2. P. 32-40. (in Russian).
7. Freddi G., Innocenti R., Arai T. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 89. N 5. P. 1390-1396. DOI:10.1002/APP.12271.
8. Summerfelt S.T. // *Aquacult Eng.* 2003. V. 28. P. 21-36. DOI: 10.1016/S0144-8609(02)00069-9.
9. Hassan M.M., Hawkyard C.J. // *Woodhead Publishing Limited*. 2007. P. 149-190. DOI: 10.1533/9781845693091.149.
10. Karakawa T., Umehara R., Ichimura H. // *J. Sen'I Gakkai-shi*. 2002. V. 58. N 4. P. 135-142. DOI:10.2115/fiber.58.135.
11. Ning F., Wang J., Yu W. // *Appl. Mech. Mater.* 2012. P. 152-154. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.852.
12. Kobayashi T., Arisawa M., Ngoc N.L. // *J. Adhesion Sci. Technol.* 2011. V. 25. P. 1849-1859. DOI: 10.1163/0169-42410x525740.

11. Ning F., Wang J., Yu W. // *Appl. Mech. Mater.* 2012. P. 152-154. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.852.
12. Kobayashi T., Arisawa M., Ngoc N.L. // *J. Adhesion Sci. Technol.* 2011. V. 25. P. 1849-1859. DOI: 10.1163/016942410x525740.
13. Choinsard L., Bigan M., Blondeau D. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 89. P. 535-547. DOI: 10.1002/app.12173.
14. Dychdala G.R. // *Philadelphia (PA): Lea and Febiger.* 1977. P. 167-195.
15. Amy G., Bull R., Craun G.F. Disinfectants and disinfectant by-products. Geneva: World Health Organization. 2000. P. 529.
16. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. // *Вестник КНИТУ.* 2012. Т. 15. № 14. С. 170-172. DOI:10.17816/rcf194405-411.
17. Чурсин В.И., Борисов А.А. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 2. С. 88-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6477.
18. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю. // *Рос. хим. ж.* 2024. Т. 68. № 2. С. 3-12. DOI: 10.6060/rcj.2024682.1.
19. Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Смирнова С.В., Липина А.А., Петрова Л.С., Ерзунов К.А., Константинова З.А., Зимнуров А.Р., Быков Ф.А., Мельников А.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
20. Петрова Л.С., Константинова З.А., Соловьева А.А. // *Вестник технологического университета.* 2024. Т. 27. № 11. С. 211-217. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_11_211.
21. Буринская А.А., Измеров Е.П., Киселёва А.М. // *Изв. вузов. Технол. лег. пром.* 2012. Т. 17. № 3. С. 44-47.
22. Shavandi A., Azam Ali M. // *Progress in Organic Coatings.* 2019. V. 130. P. 182-199. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2019.01.054.
23. Monier M., Nawar N., Abdel-Latif D.A. // *J. Hazard. Mater.* 2010. V. 184. N 1. P. 118-125. DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.08.013.
24. Bingshe X., Mei N., Liqiao W. // *J. of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.* 2007. V. 188. N 1. P. 98-105. DOI:10.1016/j.jphotochem.2006.11.025.
25. Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2024. Т. 68. № 4. С. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
26. Yu J., Pang Z., Zhang J. // *Colloids Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2018. V. 548. P. 117-124. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.03.065.
27. Canal C., Gaboriau F., Villeger S. // *Int. J. Pharm.* 2009. V. 367. P. 155-161. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2008.09.038.
28. Wang X., Zhao Y., Li W., Wang H. // *Appl. Surf. Sci.* 2015. V. 342. P. 101-105. DOI:10.1016/j.apsusc.2015.03.027.
29. Ranjbar-Mohammadi M., Arami M., Bahrami H. // *Colloids Surf. B.* 2010. V. 76. N 2. P. 397-403. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2009.11.014.
30. Arai K., Hagiwara K. // *Int. J. Biol. Macromol.* 1980. V. 2. N 6. P. 355-360. DOI: 10.1016/0141-8130(80)90017-3.
31. Wang S., Hou W., Wei L. // *Surf. Coat. Technol.* 2007. V. 202. N 3. P. 460-465. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2007.06.012.
32. Guise G.B. // *Text. Res. J.* 1977. V. 47. P. 163-171. DOI: 10.1177/004051757704700302.
33. Stapleton I.W. // *Text. Res. J.* 1978. V. 48. P. 445-452. DOI: 10.1111/j.1746-1561.1978.tb05644.x
34. Cook J.R., Fleischfresser B.E. // *Text. Res. J.* 1985. V. 55. P. 607-614. DOI: 10.1177/004051758505501007.
35. Lewis D.M. // *Text. Res. J.* 1982. V. 52. P. 580-586. DOI: 10.1177/004051758205200905.
36. Brown T.D., Rushforth M. // *Text. Res. J.* 1976. V. 46. P. 170-184. DOI: 10.1177/004051757604600304.
37. Whitfield R.E., Miller L.A., Wasley W.L. // *Text. Res. J.* 1961. V. 31. P. 704-712. DOI: 10.1177/004051756103100805.
38. Guise G.B., Jones F.W. // *Text. Res. J.* 1983. V. 53. P. 445-452. DOI: 10.1177/004051758305300710.
13. Choinsard L., Bigan M., Blondeau D. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 89. P. 535-547. DOI: 10.1002/app.12173.
14. Dychdala G.R. // *Philadelphia (PA): Lea and Febiger.* 1977. P. 167-195.
15. Amy G., Bull R., Craun G.F. Disinfectants and disinfectant by-products. Geneva: World Health Organization. 2000. P. 529.
16. Bukina Yu.A., Sergeeva E.A. // *Bull. of KNTU.* 2012. V. 15. N 14. P. 170-172. (in Russian). DOI:10.17816/RCF194405-411.
17. Chursin V.I., Borisov A.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2022. V. 65. N 2. P. 88-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6477.
18. Dymnikova N.S., Erohina E.V., Kusnetsov O.Yu. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 2. P. 3-12. DOI: 10.6060/rcj.2024682.1.
19. Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Kozlova O.V., Smirnova S.V., Lipina A.A., Petrova L.S., Erzunov K.A., Konstantinova Z.A., Zimnurov A.R., Bykov F.A., Melnikov A.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2023. V. 66. N 7. P. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
20. Petrova L.S., Konstantinova Z.A., Solovyova A.A. // *Bull. of the Technological University.* 2024. V. 27. N 11. P. 211-217. (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_11_211.
21. Burinskaya A.A., Izmerovoy E.P., Kiseleva A.M. // *Technol. of light industry.* 2012. V. 17. N 3. P. 44-47. (in Russian).
22. Shavandi A., Azam Ali M. // *Progress in Organic Coatings.* 2019. V. 130. P. 182-199. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2019.01.054.
23. Monier M., Nawar N., Abdel-Latif D.A. // *J. Hazard. Mater.* 2010. V. 184. N 1. P. 118-125. DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.08.013.
24. Bingshe X., Mei N., Liqiao W. // *J. of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.* 2007. V. 188. N 1. P. 98-105. DOI:10.1016/j.jphotochem.2006.11.025.
25. Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 4. P. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
26. Yu J., Pang Z., Zhang J. // *Colloids Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2018. V. 548. P. 117-124. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.03.065.
27. Canal C., Gaboriau F., Villeger S. // *Int. J. Pharm.* 2009. V. 367. P. 155-161. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2008.09.038.
28. Wang X., Zhao Y., Li W., Wang H. // *Appl. Surf. Sci.* 2015. V. 342. P. 101-105. DOI:10.1016/j.apsusc.2015.03.027.
29. Ranjbar-Mohammadi M., Arami M., Bahrami H. // *Colloids Surf. B.* 2010. V. 76. N 2. P. 397-403. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2009.11.014.
30. Arai K., Hagiwara K. // *Int. J. Biol. Macromol.* 1980. V. 2. N 6. P. 355-360. DOI: 10.1016/0141-8130(80)90017-3.
31. Wang S., Hou W., Wei L. // *Surf. Coat. Technol.* 2007. V. 202. N 3. P. 460-465. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2007.06.012.
32. Guise G.B. // *Text. Res. J.* 1977. V. 47. P. 163-171. DOI: 10.1177/004051757704700302.
33. Stapleton I.W. // *Text. Res. J.* 1978. V. 48. P. 445-452. DOI: 10.1111/j.1746-1561.1978.tb05644.x
34. Cook J.R., Fleischfresser B.E. // *Text. Res. J.* 1985. V. 55. P. 607-614. DOI: 10.1177/004051758505501007.
35. Lewis D.M. // *Text. Res. J.* 1982. V. 52. P. 580-586. DOI: 10.1177/004051758205200905.
36. Brown T.D., Rushforth M. // *Text. Res. J.* 1976. V. 46. P. 170-184. DOI: 10.1177/004051757604600304.
37. Whitfield R.E., Miller L.A., Wasley W.L. // *Text. Res. J.* 1961. V. 31. P. 704-712. DOI: 10.1177/004051756103100805.
38. Guise G.B., Jones F.W. // *Text. Res. J.* 1983. V. 53. P. 445-452. DOI: 10.1177/004051758305300710.

35. Lewis D.M. // *Text. Res. J.* 1982. V. 52. P. 580-586. DOI: 10.1177/004051758205200905.
36. Brown T.D., Rushforth M. // *Text. Res. J.* 1976. V. 46. P. 170-184. DOI: 10.1177/004051757604600304.
37. Whitfield R.E., Miller L.A., Wasley W.L. // *Text. Res. J.* 1961. V. 31. P. 704-712. DOI: 10.1177/004051756103100805.
38. Guise G.B., Jones F.W. // *Text. Res. J.* 1983. V. 53. P. 445-452. DOI: 10.1177/004051758305300710.
39. Yu D., Cai J.Y., Church J.S., Wang L. // *Int. J. Biologic Macromol.* 2015. V. 78. P. 32-38. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.03.051.
40. Umehara R., Shibata Y., Ito H., Sakamoto M., Miyamoto T. // *Text. Res. J.* 1991. V. 61. P. 89-93. DOI: 10.1177/004051759106100206.
41. Pardo C.E., Foster R.E. // *Text. Res. J.* 1980. V. 50. P. 152-161. DOI: 10.1177/004051758005000303.
42. Domínguez J.G., Erra P., De La Maza A. // *J. Text. Inst.* 1980. V. 71. P. 165-168. DOI: 10.1080/00405008008631542.
43. Poovi G., Iekshmi U.M.D., Narayanan N., Reddy P.N. // *Res. J. Nanosci. Nanotechnol.* 2011. V. 1. P. 12-24. DOI: 10.3923/rjnn.2011.12.24.
44. Ahmad M.B., Shameli K., Darroudi M. // *Res. J. Biol. Sci.* 2009. V. 4. P. 1156-1161.
45. Pascual E., Julia M.R. // *J. Biotechnol.* 2001. V. 89. P. 289-296. DOI:10.1016/S0168-1656(01)00311-X.
46. Ammayappan L., Moses J.J., Raja A.S.M. // *Manmade Text. India.* 2010. V. 53. N 2. P. 47-51.
47. Jovancic J., Jovic D., Molina R. // *Text. Res. J.* 2001. V. 71. P. 948-953. DOI: 10.1177/004051750107101103.
48. Jovic D., Vilchez S., Topalovic T. // *J. Applied Polym. Sci.* 2005. V. 97. N 6. P. 2204-2214. DOI: 10.1002/app.21866.
49. Jamil S.M., Ali M.W., Ripin A., Ahmad A. // *J. Applied Sci.* 2010. V. 10. N 21. P. 2725-2728. DOI: 10.3923/jas.2010.2725.2728.
50. Roberts G.A.F., Wood F.A. // *J. Biotechnol.* 2001. V. 89. P. 297-304. DOI:10.1016/S0168-1656(01)00316-9.
51. Jeong, Y.J., Cha S.Y., Yu W.T., Park W.H. // *Text. Res. J.* 2002. V. 72. N 1. P. 71-76.
52. Hesse A., Thomas H., Höcker H. // *Text. Res. J.* 1995. V. 65. P. 371-378. DOI: 10.1177/004051759506500701.
53. Zhang Q.F., Yang W.F., Qiao Y.L., Shen X.X. // *Adv. Mater. Res.* 2011. V. 331. P. 283-286. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.331.283.
54. Smith E., Shen J. // *J. Biotechnol.* 2011. V. 156. P. 134-140. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2011.08.012.
55. Shih C.-Y., Huang K.-S. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 88. N 9. P. 2356-2363. DOI: 10.1002/app.11802.
56. Hsieh S.H., Huang Z.K., Huang Z.Z., Tseng Z.S. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2004. V. 94. P. 1999-2007. DOI: 10.1002/app.21104.
57. Hsieh S.H., Zhang F.R., Li H.S. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2006. V. 100. P. 4311-4319. DOI: 10.1002/app.23830.
58. Zargarkazemi A., Sadeghi-Kiakhani M., Arami M., Bahrami S.H. // *J. Text. Inst.* 2015. V. 106. P. 80-89. DOI: 10.1080/00405000.2014.906097.
59. Yang H.C., Wang W.H., Huang K.S., Hon M.H. // *Carbohydr Polym.* 2010. V. 79. P. 176-179. DOI: 10.1016/j.carbpol.2009.07.045.
60. Eslahi N., Moshggo S., Azar S.K. // *J. Indus. Text.* 2015. V. 44. N 6. P. 835-848. DOI:10.1177/1528083713516666.
61. Cardamone J.M., Martin J.J. // *Macromol. Symp.* 2008. V. 272. N 1. P. 161-166. DOI:10.1002/masy.200851224.
39. Yu D., Cai J.Y., Church J.S., Wang L. // *Int. J. Biologic Macromol.* 2015. V. 78. P. 32-38. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.03.051.
40. Umehara R., Shibata Y., Ito H., Sakamoto M., Miyamoto T. // *Text. Res. J.* 1991. V. 61. P. 89-93. DOI: 10.1177/004051759106100206.
41. Pardo C.E., Foster R.E. // *Text. Res. J.* 1980. V. 50. P. 152-161. DOI: 10.1177/004051758005000303.
42. Domínguez J.G., Erra P., De La Maza A. // *J. Text. Inst.* 1980. V. 71. P. 165-168. DOI: 10.1080/00405008008631542.
43. Poovi G., Iekshmi U.M.D., Narayanan N., Reddy P.N. // *Res. J. Nanosci. Nanotechnol.* 2011. V. 1. P. 12-24. DOI: 10.3923/rjnn.2011.12.24.
44. Ahmad M.B., Shameli K., Darroudi M. // *Res. J. Biol. Sci.* 2009. V. 4. P. 1156-1161.
45. Pascual E., Julia M.R. // *J. Biotechnol.* 2001. V. 89. P. 289-296. DOI:10.1016/S0168-1656(01)00311-X.
46. Ammayappan L., Moses J.J., Raja A.S.M. // *Manmade Text. India.* 2010. V. 53. N 2. P. 47-51.
47. Jovancic J., Jovic D., Molina R. // *Text. Res. J.* 2001. V. 71. P. 948-953. DOI: 10.1177/004051750107101103.
48. Jovic D., Vilchez S., Topalovic T. // *J. Applied Polym. Sci.* 2005. V. 97. N 6. P. 2204-2214. DOI: 10.1002/app.21866.
49. Jamil S.M., Ali M.W., Ripin A., Ahmad A. // *J. Applied Sci.* 2010. V. 10. N 21. P. 2725-2728. DOI: 10.3923/jas.2010.2725.2728.
50. Roberts G.A.F., Wood F.A. // *J. Biotechnol.* 2001. V. 89. P. 297-304. DOI:10.1016/S0168-1656(01)00316-9.
51. Jeong, Y.J., Cha S.Y., Yu W.T., Park W.H. // *Text. Res. J.* 2002. V. 72. N 1. P. 71-76.
52. Hesse A., Thomas H., Höcker H. // *Text. Res. J.* 1995. V. 65. P. 371-378. DOI: 10.1177/004051759506500701.
53. Zhang Q.F., Yang W.F., Qiao Y.L., Shen X.X. // *Adv. Mater. Res.* 2011. V. 331. P. 283-286. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.331.283.
54. Smith E., Shen J. // *J. Biotechnol.* 2011. V. 156. P. 134-140. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2011.08.012.
55. Shih C.-Y., Huang K.-S. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 88. N 9. P. 2356-2363. DOI: 10.1002/app.11802.
56. Hsieh S.H., Huang Z.K., Huang Z.Z., Tseng Z.S. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2004. V. 94. P. 1999-2007. DOI: 10.1002/app.21104.
57. Hsieh S.H., Zhang F.R., Li H.S. // *J. Appl. Polym. Sci.* 2006. V. 100. P. 4311-4319. DOI: 10.1002/app.23830.
58. Zargarkazemi A., Sadeghi-Kiakhani M., Arami M., Bahrami S.H. // *J. Text. Inst.* 2015. V. 106. P. 80-89. DOI: 10.1080/00405000.2014.906097.
59. Yang H.C., Wang W.H., Huang K.S., Hon M.H. // *Carbohydr Polym.* 2010. V. 79. P. 176-179. DOI: 10.1016/j.carbpol.2009.07.045.
60. Eslahi N., Moshggo S., Azar S.K. // *J. Indus. Text.* 2015. V. 44. N 6. P. 835-848. DOI:10.1177/1528083713516666.
61. Cardamone J.M., Martin J.J. // *Macromol. Symp.* 2008. V. 272. N 1. P. 161-166. DOI:10.1002/masy.200851224.

Поступила в редакцию (Received) 09.07.2025
 Принята к опубликованию (Accepted) 18.09.2025