

УДК 677.027.46

Антимикробные свойства хлопчатобумажной ткани, окрашенной субстантивным красителем стильбенового ряда

С. А. Ефанов¹ ✉, А. Н. Филиппова¹, Е. В. Грехнёва¹, Т. Н. Кудрявцева¹,
Л. Г. Климова²

¹ Курский государственный университет
ул. Радищева 33, г. Курск 305000, Российская Федерация

² Курский государственный медицинский университет
ул. К. Маркса 3, г. Курск 305000, Российская Федерация

✉ e-mail: efanoff.sergey2016@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Изучение возможности придания хлопчатобумажной ткани антимикробного эффекта на стадии крашения субстантивными красителями как альтернатива существующим методам заключительной отделки.

Методы. Синтез субстантивного стильбенового дисазокрасителя, содержащего фрагмент салициловой кислоты, по реакциям диазотирования и азосочетания, подтверждение структуры красителя методами инфракрасной спектроскопии и жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием; экспериментальное крашение хлопчатобумажной ткани полученным красителем; проверка полученных образцов ткани на антимикробную активность по отношению к восьми тест-штаммам микроорганизмов.

Результаты. Диазотированием 4,4'-диаминотильбен-2,2'-дисульфокислоты и последующим сочетанием полученного диазосоединения с салициловой кислотой получен субстантивный краситель 5,5'-{[(E-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(диазен-2,1-диил)]бис-2-салициловая кислота. Получены образцы хлопчатобумажной ткани, окрашенной синтезированным дисазокрасителем. Проведенные исследования показали, что для образца ткани, обработанного 5,5'-{[(E-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(диазен-2,1-диил)]бис-2-салициловой кислотой по технологии крашения субстантивными красителями, наблюдается отсутствие роста колоний патогенных микроорганизмов в пределах границ фрагмента ткани, находящегося в контакте с предварительно засеянной питательной средой. Проведена обработка окрашенных образцов ткани растворами солей цинка и меди, наличие ионов металла, зафиксированное на окрашенной ткани, подтверждено атомно-эмиссионным анализом. Установлено, что последующая обработка окрашенной ткани солями цинка и меди не сопровождается значительным изменением окраски и не приводит к увеличению антимикробной активности получаемого материала.

Заключение. Проведенные исследования показали потенциальную возможность придания целлюлозной ткани антимикробного эффекта в рамках технологического режима крашения полученным субстантивным красителем. Установлено, что обработка окрашенной ткани солями цинка и меди не приводит к значительным изменениям окраски и не увеличивает наблюдаемый антимикробный эффект.

Ключевые слова: субстантивные красители; салициловая кислота; бактериостатическая ткань.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Антимикробные свойства хлопчатобумажной ткани, окрашенной субстантивным красителем стильбенового ряда / С. А. Ефанов, А. Н. Филиппова, Е. В. Грехнёва, Т. Н. Кудрявцева, Л. Г. Климова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 3. С. 157–170.

Поступила в редакцию 27.07.2021

Подписана в печать 27.08.2021

Опубликована 27.09.2021

Antimicrobial Properties of Cotton Fabric-Ni, Dyed with Substantive Dye Stilbeno-Vogo Range

Sergey A. Efanov¹ ✉, Anastasia N. Filippova¹, Elena V. Grekhneva¹,
Tatiana N. Kudryavtseva¹, Lyudmila G. Klimova²

¹ Kursk State University
33 Radishcheva str., Kursk 35000, Russian Federation

² Kursk State Medical University
3 K. Marx str., Kursk 305041, Russian Federation

✉ e-mail: efanoff.sergey2016@yandex.ru

Abstract

Purpose of the study. Study of the possibility of imparting an antimicrobial effect to cotton-based fabric at the stage of dyeing with substantive dyes as an alternative to the existing methods of finishing.

Methods. Synthesis of a substantial stilbene disazo dye containing a fragment of salicylic acid by diazotization and azo coupling reactions, confirmation of the dye structure by infrared spectroscopy and liquid chromatography with mass spectrometric detection; experimental dyeing of cotton fabric with the obtained dye; checking the obtained fabric samples for antimicrobial activity in relation to eight test strains of microorganisms.

Results. Diazotization of 4,4'-diaminostilbene-2,2'-disulfonic acid and subsequent coupling of the obtained diazo compound with salicylic acid gave the substantive dye 5,5' - {[(E-ethene-1,2-diyl) bis (3-sulfo-4,1-phenylene) bis (diazene-2,1-diyl)]} bis-2-salicylic acid. Samples of cotton fabric dyed with synthesized disazo dye were obtained. Studies have shown that for a fabric sample treated with 5,5' - {[(E-ethene-1,2-diyl) bis (3-sulfo-4,1-phenylene) bis (diazene-2,1-diyl)]} bis-2-salicylic acid using the technology of dyeing with substantive dyes, there is no growth of colonies of pathogenic microorganisms within the boundaries of a fabric fragment in contact with a pre-seeded nutrient medium. The dyed fabric samples were treated with solutions of zinc and copper salts, the presence of metal ions recorded on the dyed fabric was confirmed by atomic emission analysis. It was found that the subsequent treatment of the dyed fabric with zinc and copper salts is not accompanied by a significant change in color and does not lead to an increase in the antimicrobial activity of the material obtained.

Conclusion. The studies have shown the potential for imparting an antimicrobial effect to cellulose fabric within the technological regime of dyeing with the obtained substantive dye. It was found that the treatment of dyed fabric with zinc and copper salts does not lead to significant changes in color and does not increase the observed antimicrobial effect.

Keywords: substant dyes; salicylic acid; bacteriostatic fabric.

Conflict of interest: The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Efanov S. A., Filippova A. N., Grekhneva E. V., Kudryavtseva T. N., Klimova L. G. Antimicrobial Properties of Cotton Fabric-Ni, Dyed with Substantive Dye Stilbeno-Vogo Range. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2021; 11(3): 157–170. (In Russ.)

Received 27.07.2021

Accepted 27.08.2021

Published 27.09.2021

Введение

В настоящее время на рынке широко представлены ткани различного волокнистого состава с антибактериальным эффектом. Как правило, антибактериальный эффект придается в процессе заключительной отделки готовых тканей путем пропитки растворами определенных антисептиков либо модификацией наночастицами серебра. Имеются также ткани, содержащие в структуре серебряные нити. Изготовление таких тканей сопровождается дополнительными технологическими и сырьевыми затратами [1–13].

Известен целый ряд азосоединений, проявляющих антимикробную и иные виды биологической активности [14–18].

Представляется интересным изучение возможности придания ткани аналогичного эффекта непосредственно на стадии крашения путем применения красителей, проявляющих антисептическую активность, или фиксации протравных красителей солями биологически активных металлов.

Известно, что азокрасители на основе 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислоты имеют глубокую и интенсивную окраску, отличаются устойчивостью к свету и высоким сродством к хлопку. Ткань, окрашенная продуктами сочетания диазотированной 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислоты ароматическими фенолами, обладает бактерицидной активностью [19–20]. Однако такие кра-

сители обладают невысокой устойчивостью к свету и мокрым обработкам, что делает их малопригодными в практическом плане.

Известно, что для повышения устойчивости к свету некоторые субстантивные красители обрабатывают солями меди, при этом образуются внутрикомплексные соединения различного состава. Образование комплексных соединений повышает светостойкость на 3–4 балла (по восьмибалльной шкале) и устойчивость к мокрым обработкам на 1–2 балла (по пятибалльной шкале).

Один из субстантивных красителей с прогнозируемой антисептической активностью и способный образовывать на волокне комплексы с ионами металлов может быть получен азосочетанием салициловой кислоты с диазотированной 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислотой.

Материалы и методы

Синтез 5,5'-{[(Е-этен-1,2-диил) бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(диазен-2,1-диил)]}бис-2-салициловой кислоты осуществляли по известной методике азосочетания диазотированной 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислоты с салициловой кислотой.

В стакане емкостью 50 мл готовили раствор карбоната натрия 0,28 г (0,0027 моль) в воде (5 мл), в котором растворяли 1 г (0,0027 моль) 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислоты. После ее растворе-

ния к смеси прибавляли 1,65 мл (0,0135 моль) 35%-ной соляной кислоты. Полученную дисперсию охлаждали льдом и диазотировали 0,37 г. (0,0054 моль) нитритом натрия, который добавляли порционно в виде 20%-ного водного раствора. Полученную суспензию диазосоединения порционно добавляли к щелочному раствору 0,74 г (0,0054 моль) салициловой кислоты. Реакцию азосочетания вели при $\text{pH} = 8,5 \dots 9,0$ и температуре не выше 16°C в течение 60 минут.

Для выделения продукта реакцию смесь нагревали до кипения при постоянном перемешивании и нейтрализовали соляной кислотой до $\text{pH} \sim 3$ (контроль по бумаге Конго).

Выпавший осадок отделяли фильтрованием, очищали последовательной промывкой 0,1 н. раствором соляной кислоты, небольшим количеством ацетона и сушили на воздухе.

Для подтверждения чистоты и структуры соединения применяли метод инфракрасной спектроскопии и жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием.

Инфракрасные спектры регистрировали на спектрометре ИК-Фурье спектрометр ФСМ 1201 фирмы «Мониторинг», в таблетке с KBr в интервале волновых чисел $400 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$.

Жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим и УФ-детектированием выполнялась с применением системы ACQUITY UPLC H-Class с УФ/масс-детекторами ACQUITY SQD

компании Waters. Градиентное элюирование в системе осуществляли водным раствором бикарбоната аммония 10 mM ($\text{pH} 8,4$)/ацетонитрил. Ионизация происходила в электроспрее с детектированием тока положительных ионов.

Крашение хлопчатобумажной ткани осуществляли по методу прямого крашения из водных растворов. Модуль ванны 50, концентрация красителя 0,02% от веса ткани, количество хлорида натрия 2% от веса ткани. Температурный режим обработки в границах стандартных технологических режимов крашения субстантивными красителями, при этом для обеспечения полноты выбираемости красителя время выдержки на остывающей ванне было увеличено до 24 часов. Окрашенную ткань промывали без использования моющих средств до чистых промывных вод.

Обработку окрашенных образцов ткани солями меди и цинка проводили в следующих условиях:

- необходимое количество солей рассчитывали в зависимости от веса обрабатываемой ткани из расчета количественной выбираемости красителя;
- модуль ванны 25;
- подъем температуры от 25 до 100°C $10 \dots 15$ минут;
- выдержка при температуре кипения ванны 5 минут;
- выдержка на остывающей ванне 20 минут;
- промывка до чистых промывных вод без использования моющих средств.

Количество ионов металла, зафиксированное на окрашенной ткани, определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре с индуктивно связанной плазмой модели iCAP 7400 Duo. Исследованию подвергали зольный остаток навески ткани, который количественно растворяли в смеси соляной и азотной кислот 3:1

Условия регистрации спектра:

- мощность, подводимая к плазме, 1 кВт;
- вспомогательный поток 0,4 л/мин;
- распылительный поток 0,6 л/мин;
- охлаждающий поток 11 л/мин;
- ввод образца – распылительный, обзор плазмы коаксиальный через две щели, способ калибровки – концентрация.

Окрашенная ткань, обработанная после окраски солями меди и цинка, была исследована на антимикробную активность по отношению к восьми тест-штаммам микроорганизмов.

В качестве отрицательного контроля использовали необработанную ткань. В качестве свободных образцов сравнения использовали ткань с иммобилизованными коммерческими красителями бриллиантовым зеленым и метиленовым синим, используемыми как антисептики в медицинской практике. Указанные коммерческие красители иммобилизовали на ткани в концентрации 0,02% от веса ткани путем пропит-

ки водно-спиртовым раствором красителей и высушиванием.

Для исследования на антимикробную активность использовали диски из ткани диаметром 10,0 мм, которые после стерилизации помещали на поверхность стерильной агаровой среды, предварительно засеянной соответствующим микроорганизмом. Зону задержки роста (при наличии) определяли от центра диска с точностью до 0,1 мм¹. Эксперимент проводили в пяти повторностях. Статистическую обработку результатов проводили по методике² с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office 2016. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Для продукта синтеза по схеме, приведенной на рисунке 1, установлено:

Выход: 93%.

ИК-спектр (KBr), $\nu(\text{см}^{-1})$: 3435 (O-H); 1660 (C=O); 1588-1484 (C=C_{ар}); 1185 (S=O). [21]

¹ ОФС.1.2.4.0010.15. Определение антимикробной активности антибиотиков методом диффузии в агар / Минздрав России. Взамен ст. ГФ XII, ч. 1, ОФС 42-0068-07. М., 2015.

² ОФС.1.1.0014.15. Статистическая обработка результатов определения специфической фармакологической активности лекарственных средств биологическими методами / Минздрав России. Взамен ст. ГФ XI, вып. 1. М., 2015.

Масс-спектр $[M+H]^+$, (m/z 669); вычислено для $C_{28}H_{20}N_4O_{12}S_2$ – 668.

Хроматограммы выделенного продукта, подтверждающие его чистоту и

полученные в режиме детектирования тока положительных ионов (верхняя) и в режиме УФ-детектирования (нижняя), приведены на рисунке 2.

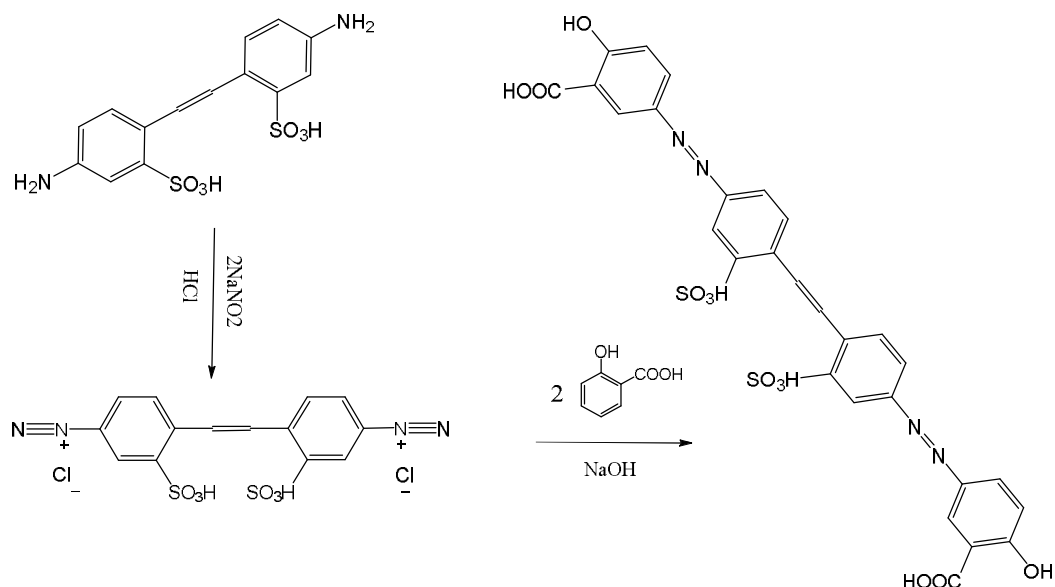


Рис. 1. Схема синтеза 5,5'-[[*(E*-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(дiazен-2,1-диил)]]бис-2-салициловой кислоты

Fig. 1. Synthesis scheme 5,5'-[[*(E*-ethene-1,2-diyl) bis (3-sulfo-4,1-phenylene) bis (diazene-2,1-diyl)]] bis-2-salicylic acid

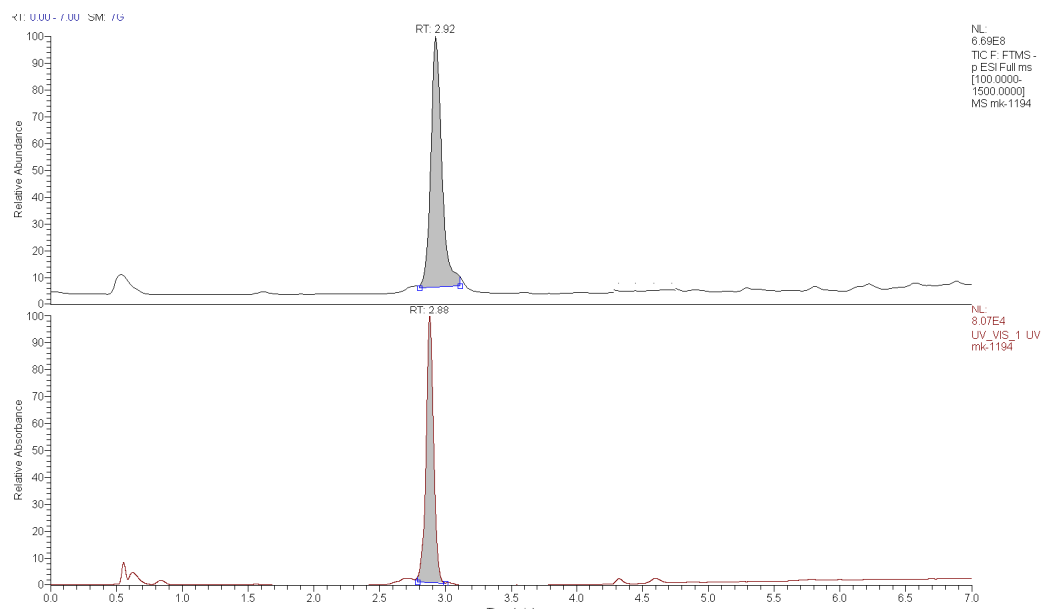


Рис 2. Хроматограммы 5,5'-[[*(E*-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(дiazен-2,1-диил)]]бис-2-салициловой кислоты

Fig 2. Chromatograms of isolated 5,5'-[[*(E*-ethene-1,2-diyl) bis (3-sulfo-4,1-phenylene) bis (diazene-2,1-diyl)]] bis-2-salicylic acid

В описанных условиях хлопчатобумажная ткань окрашивается в ярко-желтый цвет, при этом краситель выбирается до визуально бесцветного красильного раствора. Обработка окрашенной ткани солью цинка не приводит к изменению цвета, что согласуется с теоретическими представлениями о структуре цинковых комплексов, в образовании которых не участвуют хромофорные группы красителя.

Аналогичная структура описывается для медных комплексов, однако при обработке ткани солью меди наблюдается незначительное изменение окраски. Данный факт, очевидно, обусловлен самостоятельной окраской образуемого комплекса, что подтверждается изменением окраски водного раствора красителя при добавлении раствора сульфата меди (II).

Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой в составе зольного остатка обработанной ткани установлено наличие соединений меди и цинка. Среднее мольное соотношение металл-краситель при условии практически полной выбираемости красителя составляет: для меди – 1,07, для цинка – 1,78, что указывает на образование комплексов переменного состава с участием функциональных групп целлюлозы волокна. Данный факт согласуется с классическими представлениями о механизме закрепления окраски солями металлов.

Среднее значение диаметра (мм) зоны задержки роста тест-штаммов микроорганизмов фрагментами ткани представлены в таблице.

Таблица. Среднее значение диаметра (мм) зоны задержки роста тест-штаммов микроорганизмов фрагментами ткани

Table. Average value of the diameter (mm) of the zone of growth inhibition of test strains of microorganisms by fabric fragments

	E. coli	Ps. aeruginosa	Pr.vulgaris	S. aureus	B.subtilis	Candida albicans
0	0					
1	10,0					
2						
3						
МС	10,5	10,5	10,0	12,0	25,0	21,5
БЗ	10,0	10,0	10,0	10,0	14,0	16,5

Примечание. 0 – неокрашенная ткань; 1 – окрашенная ткань без обработки; 2 – фиксация солью цинка; 3 – фиксация солью меди; «МС» – ткань, обработанная метиленовым синим; «БЗ» – ткань, обработанная бриллиантовым зеленым.

Для ткани, окрашенной 5,5'-{[(Е-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(дiazен-2,1-диил)]} бис-2-салициловой кислотой по технологии крашения субстантивными красителями, наблюдается отсутствие роста колоний патогенных микроорганизмов в пределах границ фрагмента ткани, находящегося в контакте с предварительно засеянной питательной средой.

В аналогичных условиях для ткани, содержащих иммобилизованные в идентичных концентрациях красители метиленовый синий и бриллиантовый зеленый, наблюдаются зоны задержки роста микроорганизмов за пределами границ ткани. Данный факт, вероятно, обусловлен возможностью диффузии красителей в питательную среду ввиду невысокой прочности их фиксации на хлопчатобумажной ткани.

В то же время для соединения 5,5'-{[(Е-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(дiazен-2,1-диил)]} бис-2-салициловой кислоты следует ожидать прочной фиксации на целлюлозном субстрате, что обуславливает проявление антимикробных свойств непосредственно в зоне контакта питательной среды с образцами ткани. Обработка окрашенной ткани солями меди и цинка в исследованных условиях не

приводит к увеличению антибактериальной активности.

Выводы

Проведенные исследования показали потенциальную возможность придания целлюлозной ткани антимикробной активности в рамках технологического режима крашения субстантивными красителями. Для ткани, окрашенной 5,5'-{[(Е-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(дiazен-2,1-диил)]} бис-2-салициловой кислотой, наблюдается отсутствие роста колоний патогенных микроорганизмов в пределах границ фрагмента ткани, находящегося в контакте с предварительно засеянной питательной средой.

Закрепление окраски 5,5'-{[(Е-этен-1,2-диил)бис(3-сульфо-4,1-фенилен)бис(дiazен-2,1-диил)]} бис-2-салициловой кислоты водорастворимыми солями меди, проводимое по традиционной технологии, не приводит к увеличению наблюдаемой антимикробной активности. Очевидно, что наблюдаемый эффект обусловлен непосредственно использованным красителем, что указывает на актуальность дальнейших исследований антимикробной активности субстантивных красителей стильбенового ряда.

Список литературы

1. Shanmugasundaram O. L. Application of nanotechnology to textile finishing - A review // Textile Review. 2009. No. 11. P. 135–139.

2. Exposure of engineered nanoparticles to human lung epithelial cells: influence of chemical composition and catalytic activity on oxidative stress / L. K. Limbach, P. Wick, P. Manser, R. N. Grass, A. Bruinink, W. J. Stark // *Environ. Sci. Technol.* 2007. Vol. 41. No. 11. P. 4158–4163.

3. Mechanically robust and antimicrobial cotton fibers loaded with silver nanoparticles: synthesized via chinese Holly plant leaves / Naseeb Ullah, Sohail Yasin, Zamir Abro, Lin Liu, Qufu Wei // *International Journal of Textile Science* 2014. No. 3(1A). P. 1–5.

4. Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles / Chao-Hua Xue, Jia Chen, Wei Yin, Shun-Tian Jia, Jian-Zhong Ma. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433211016436> (дата обращения: 05.06.2021).

5. Polyethylenimine complexes with silver ions in aqueous solutions as precursors for synthesis of monodisperse silver iodide particles / O. A. Krotikova, A. S. Ozerin, F. S. Radchenko, I. F. Novakov // *Polymer Science, Series A.* 2017. Vol. 59, No. 3. P. 288–294. <http://doi.org/10.1134/s096654x17030105>.

6. Малышева К. А., Петрова Л. С. Исследование кинетики сорбции ионов серебра натуральными текстильными материалами // *Фундаментальные науки – специалисту нового века: материалы Всероссийской школы-конференции*. Иваново: Иван. гос. хим.-техн. ун-т, 2017. С. 148.

7. Петрова Л.С., Малышева К. А. Антибактериальная отделка шерстяных текстильных материалов // *Молодые ученые – развитию текстильно–промышленного кластера (ПОИСК – 2016): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов с международным участием*. Ч. 1. Иваново: Иван. гос. хим.-техн. ун-т, 2017. Ч. 1. С. 83–84.

8. Модификация поверхности керотинсодержащих волокнистых материалов наночастицами серебра / Л. С. Одинцова, К. А. Малышева, А. С. Антонова, Ю. В. Носкова // *Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК – 2016): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов с международным участием*. Ч. 1. Иваново: Иван. гос. хим.-техн. ун-т, 2016. С. 78–79.

9. Получение наночастиц серебра в растворе и на белковых волокнах / Л. С. Одинцова, К. А. Малышева, А. С. Антонова, Ю. В. Носкова // *XIX Всероссийская конференция молодых ученых – химиков: тезисы докладов*. Н. Новгород: Нижегород. гос. ун-т, 2016. С. 328–329.

10. Петрова Л. С., Шарнина Л. В. Разработка препарата для биоцидной отделки текстильных материалов из натуральных волокон // *Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Текстильная химия:*

традиции и новации» (Мельниковские чтения). Иваново: Иванов. гос. хим.-техн. ун-т, 2017. С. 49–50.

11. Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств / А. Д. Дмитриева, В. А. Кузьменко, Л. С. Одинцова, О. И. Одинцова // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2015. Т. 58, № 8. С. 67–70.

12. Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств / Л. С. Петрова, А. А. Липина, А. О. Зайцева, О. И. Одинцова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. Т. 378, № 6. С. 81–85.

13. Разработка инновационных технологий отделки текстильных материалов / О. И. Одинцова, О. В. Козлова, Л. С. Петрова, Е. Г. Полушин // Интеграция науки и практики как механизм развития отечественных наукоемких технологий производства: сборник научных статей по материалам VII Всероссийской научно-практической конференции. Новочеркасск: Лик, 2018. С. 46–53.

14. Chandrashekhara J. P., Chandrakant A. N. The Azo Derivatives of Salicylic Acid // Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 2015. Vol. 33, is. 2, no. 51. P. 248–256.

15. Structure modification of an active azo-compound as a route to new antimicrobial compounds / S. Concilio, L. Sessa, A. M. Petrone, A. Porta, R. Diana, P. Iannelli, S. Piotta // Molecules. 2017. Vol. 22. P. 875–887.

16. Synthesis and characterization of novel bioactive azo compounds fused with benzothiazole and their versatile biological applications / S. Prakasha, G. Somiya, N. Elavarasan, K. Subashini, S. Kanaga, R. Dhandapani., M. Sivanandam, P. Kumaradhas, C. Thirunavukkarasu, V. Sujatha // Journal of Molecular Structure. 2021. Vol. 1224, is. 10. P. 129016. <http://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020129016>.

17. Inspiration from old dyes: Tris(stilbene) compounds as potent gram-positive antibacterial agents / R. A. Boulos, N. Y. T. Man, N. A. Lengkeek, K. A. Hammer, N. F. Foster, N. A. Stemberger, S. G. Stewart // Chemistry - A European Journal. 2013. No. 19(52). P. 17980–17988. <http://doi.org/10.1002/chem.201303119>.

18. Synthesis and antimicrobial activity of (E) stilbene derivatives / S. Albert, R. Horbach, H. B. Deising, B. Siewert, R. Csuk // Bioorganic & Medicinal Chemistry. 2011. Vol. 19(17). P. 5155–5166. <http://doi.org/10.1016/j.bmc.2011.07.015>.

19. Субстантивные дисазокрасители стильбенового ряда как чувствительный элемент оптического датчика уровня pH / С. А. Ефанов, Т. Н. Кудрявцева, Л. В. Атрёпьева, И. Б. Кометиани // Молекулярные и биологические аспекты химии, фармацевтики и фармакологии: сборник тезисов докладов Шестой междисциплинарной конференции, (Нижний Новгород, 27–30 сентября 2020 г.) / под ред. К. В. Кудрявцева и Е. М. Паниной. М.: Перо, 2020. С. 166.

20. Бактериостатические свойства целлюлозных волокон с иммобилизованными индикаторными дисазокрасителями стильбенового ряда / С. А. Ефанов, Т. Н. Кудрявцева, Л. В. Атрепьева, Л. Г. Климова // Молекулярные и биологические аспекты химии, фармацевтики и фармакологии: сборник тезисов докладов Шестой междисциплинарной конференции (Нижний Новгород, 27–30 сентября 2020 г.) / под ред. К. В. Кудрявцева и Е. М. Паниной. М.: Перо, 2020. С. 167.

21. Преч Э. Определение строения органических соединений. М.: Мир: БИНОМ, 2006. 438 с.

References

1. Shanmugasundaram O. L. Application of nanotechnology to textile finishing - A review. *Textile Review*, 2009, no. 11, pp. 135–139.

2. Limbach L. K., Wick P., Manser P., Grass R.N., Bruinink A., Stark W. J. Exposure of engineered nanoparticles to human lung epithelial cells: influence of chemical composition and catalytic activity on oxidative Stress. *Environ. Sci. Technol.*, 2007, vol. 41, no. 11, pp. 4158–4163.

3. Naseeb Ullah, Sohail Yasin, Zamir Abro, Lin Liu, Qufu Wei Mechanically robust and antimicrobial cotton fibers loaded with silver nanoparticles: synthesized via chinese Holly plant leaves. *International Journal of Textile Science*, 2014, no. 3 (1A), pp. 1–5.

4. Chao-Hua Xue, Jia Chen, Wei Yin, Shun-Tian Jia, Jian-Zhong Ma Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433211016436> (Access 05.06.2021).

5. Krotikova O. A., Ozerin A. S., Radchenko F. S., Novakov I. F. Polyethylenimine complexes with silver ions in aqueous solutions as precursors for synthesis of monodisperse silver iodide particles. *Polymer Science. Series A*, 2017, vol. 59, no. 3, pp. 288–294. <http://doi.org/10.1134/s096654x17030105>.

6. Malysheva K. A., Petrov L. S. [Investigation of the kinetics of sorption of silver ions by natural textile materials]. *Fundamental'nye nauki – spetsialistu novogo veka. Materialy Vserossiiskoi shkoly-konferentsii* [Fundamental Sciences - for a specialist of the new century. Materials of School-conferences]. Ivanovo, Ivanovo St. Univ. of Chemistry and Technology Publ., 2017. P. 148.

7. Petrova L. S., Malysheva K. A. [Antibacterial finishing of wool textile materials]. *Molodye uchenye – razvitiyu tekstil'nopromyshlennogo klastera (POISK – 2017). Sbornik materialov mezhvuzovskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii aspirantov i studentov s mezhdunarodnym uchastiem* [Young scientists - the development of the textile and industrial cluster (POISK – 2017)". Collection of materials of the interuniversity scientific and tech-

nical conference of postgraduates and students with international participation). Ivanovo, Ivanovo St. Univ. of Chemistry and Technology Publ. Ivanovo, 2017, pt. 1, pp. 83–84.

8. Odintsova L. S., Malysheva K. A., Antonova A. S., Noskov Yu. V. [Modification of the surface of kerotin-containing fibrous materials with silver nanoparticles]. *Molodye uchenye – razvitiyu tekstil'no-promyshlennogo klastera (POISK). Sbornik materialov mezhvuzovskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii aspirantov i studentov s mezhdunarodnym uchastiem* [Young scientists - the development of the textile and industrial cluster (POISK-2016). Collection of materials of the interuniversity scientific and technical conference of postgraduates and students with international participation). Ivanovo, Ivanovo St. Univ. of Chemistry and Technology Publ., Ivanovo, 2017, pt. 1, 2016, pp. 78–79.

9. Odintsova L. S., Malysheva K. A., Antonova A. S., Noskov Yu. V. [Obtaining silver nanoparticles in solution and on protein fibers]. *XIX Vserossiiskaya konferentsiya molodykh uchenykh – khimikov. Tezisy dokladov* [XIX All-Russian Conference of Young Scientists – Chemists. Abstracts. report]. Nizhny Novgorod, Lobachevsky Univ. Publ., 2016, pp. 328–329.

10. Petrova L. S., Charnina L. V. [Development of a preparation for biocidal finishing of textile materials from natural]. *Tezisy dokladov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Tekstil'naya khimiya: traditsii i novatsii" (Mel'nikovskie chteniya)* [Abstracts report All-Russian scientific and practical conference with international participation "Textile chemistry: traditions and innovations" (Melnikov readings)]. Ivanovo, Ivanovo St. Univ. of Chemistry and Technology Publ., 2017, pp. 49–50.

11. Dmitrieva A. D., Kuzmenko V. A., Odintsova L. S., Odintsova O. I. Sintez i ispol'zovanie nanochastits serebra dlya pridaniya tekstil'nym materialam bakteritsidnykh svoystv [Synthesis and use of silver nanoparticles for imparting bactericidal properties to textile materials]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = Proceedings of Higher Educational Institutions. Chemistry and Chemical Technology*, 2015, vol. 58, no. 8, pp. 67–70.

12. Petrova L. S., Lipina A. A., Zaitseva A. O., Odintsova O. I. Ispol'zovanie nanochastits serebra dlya pridaniya tekstil'nym materialam bakteritsidnykh svoystv [The use of silver nanoparticles for imparting bactericidal properties to textile materials]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya Tekstil'noi promyshlennosti = Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*, 2018, vol. 378, no. 6, pp. 81–85.

13. Odintsova O. I., Kozlova O. V., Petrova L. S., Polushin E. G. [Development of innovative technologies for finishing textile materials]. *Integratsiya nauki i praktiki kak mekha-nizm razvitiya otechestvennykh naukoemkikh tekhnologii proizvodstva. Sbornik nauchnykh statei po materialam VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Integration of science and practice as a mechanism for the development of domestic high-tech production technologies. Collection of scientific articles based on the materials of the VII All-

Russian scientific-practical conference]. Kamensk-Shakhtinsky, Novocherkassk, Lik Publ., 2018, pp. 46–53.

14. Chandrashekhar J. P., Chandrakant A. N. The azo derivatives of salicylic acid. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 2015, vol. 33, is. 2, no. 51, pp. 248–256;

15. Concilio S., Sessa L., Petrone AM, Porta A., Diana R., Iannelli P., Piotto S. Structure modification of an active azo-compound as a route to new antimicrobial. *Molecules*, 2017, vol. 22, pp. 875–887.

16. Prakasha S., Somiya G., Elavarasan N., Subashini K., Kanaga S., Dhandapani R., Sivanandam M, Kumaradhas P., Thirunavukkarasu C., Sujatha V. Synthesis and characterization of novel bioactive azo compounds fused with benzothiazole and their versatile biological applications. *Journal of Molecular Structure*, 2021, vol. 1224(10), pp. 12906. <http://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020129016>.

17. Boulos R.A., Man N. Y. T, Lengkeek N. A., Hammer K. A., Foster N. F., Stemberger, N. A., Stewart S. G. Inspiration from Old Dyes: Tris (stilbene) compounds as potent gram-positive antibacterial agents. *Chemistry - A European Journal*, 2013, vol. 19 (52), pp. 17980–17988. <http://doi.org/10.1002/chem.201303119>.

18. Albert S., Horbach R., Deising H. B., Siewert B., Csuk R. Synthesis and antimicrobial activity of (E) stilbene derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2011, vol. 19 (17), pp. 5155–5166. <http://doi.org/10.1016/j.bmc.2011.07.015>.

19. Efanov S. A., Kudryavtseva T. N., Atrepieva L. V., Kometiani I. B. [Substantial disazo dyes of the stilbene series as a sensitive element of the optical pH level sensor]. *Molekulyarnye i biologicheskie aspekty khimii, farmatsevtiki i farmakologii. Sbornik tezisov dokladov Shestoi mezhdistsiplinarnoi konferentsii* [Molecular and Biological Aspects of Chemistry, Pharmaceuticals and Pharmacology. Collection of abstracts of the Sixth interdisciplinary conference]; ed. by K. V. Kudryavtsev and E. M. Panina. Moscow, Pero Publ, 2020, pp. 166.

20. Efanov S. A., Kudryavtseva T. N., Atrepieva L. V., Klimova L. G. [Molecular and Biological Aspects of Chemistry, Pharmaceuticals and Pharmacology]. *Molekulyarnye i Biologicheskie aspekty khimii, farmatsevtiki i farmakologii. Sbornik tezisov dokladov Shestoi mezhdistsiplinarnoi konferentsii* [Molecular and Biological Aspects of Chemistry, Pharmaceuticals and Pharmacology. Collection of abstracts of the Sixth interdisciplinary conference]; ed. by K. V. Kudryavtsev and E. M. Panina. Moscow, Pero Publ, 2020, pp. 167.

21. Prech E. Opredelenie stroeniya organicheskikh soedinenii [Determination of the structure of organic compounds]. Moscow, Mir Publ., BINOM Publ., 2006. 438 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Ефанов Сергей Анатольевич, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории органического синтеза, Курский государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: efnoff.sergey2016@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5971-0654

Sergey A. Efanov, Senior Researcher at the Research Laboratory of Organic Synthesis, Kursk State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: efanoff.sergey2016@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5971-0654

Филиппова Анастасия Николаевна, магистрант кафедры химии, Курский государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: Anasfili1998@yandex.ru

Anastasia N. Filippova, Undergraduate of the Faculty of Natural Geography, Department of Chemistry, Kursk State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: Anasfili1998@yandex.ru

Грехнёва Елена Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры химии, Курский государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: labos@kursksu.ru, ORCID: 0000-0003-1744-6917

Elena V. Grekhnyova, Cand. of Sci. (Chemistry), Senior Lecturer of Chemistry Department, Kursk State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: labos@kursksu.ru, ORCID: 0000-0003-1744-6917

Кудрявцева Татьяна Николаевна, кандидат химических наук, руководитель научно-исследовательской лаборатории органического синтеза, Курский государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: labos@kursksu.ru, ORCID: 0000-0003-1009-3004, Researcher ID: T-2964-2019

Tatiana N. Kudryavtseva, Cand. of Sci. (Chemistry), Senior Staff Scientist, Leader of Research Laboratory of Organic Synthesis, Kursk State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: labos@kursksu.ru, ORCID: 0000-0003-1009-3004, Researcher ID: T-2964-2019

Людмила Григорьевна Климова, кандидат медицинских наук, доцент кафедры микробиологии, Курский государственный медицинский университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: labos@kursksu.ru, ORCID: 0000-0001-7171-7744

Lyudmila G. Klimova, Cand. of Sci. (Medicine), Senior Lecturer of Microbiology Department, Kursk State Medical University, Kursk, Russian Federation, e-mail: labos@kursksu.ru, ORCID: 0000-0001-7171-7744