

УДК 677.02.001.5

**ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП
В МОЛЕКУЛАХ ПРЯМЫХ КРАСИТЕЛЕЙ
НА ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С ИОНАМИ И НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА**

**INFLUENCE OF STRUCTURE OF FUNCTIONAL GROUPS
IN DIRECT DYE MOLECULES
ON THE PROCESS OF INTERACTION
WITH IONS AND NANOSIZED SILVER PARTICLES**

*С.Г. АЛЕКСЕЕВ, К.И. КОБРАКОВ, Д.Н. КУЗНЕЦОВ, О.В. КОВАЛЬЧУКОВА,
М.А. РЯБОВ, В.С. СЕЛЕЗНЕВ, Г.С. СТАНКЕВИЧ, Н.М. ШАРПАР*

*S.G. ALEKSEEV, K.I. KOBRAKOV, D.N. KUZNETSOV, O.V. KOVALCHUKOVA,
M.A. RYABOV, V.S. SELEZNEV, G.S. STANKEVICH, N.M. SHARPAR*

**(Российский государственный университет
имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
Российский университет дружбы народов)**

**(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Peoples' Friendship University of Russia)**

E-mail: occd@mail.ru

Приведены результаты исследования методом спектрофотометрического титрования взаимодействия ионов и наноразмерных частиц серебра с рядом прямых красителей, содержащих в молекулах различные по электронным и стерическим эффектам группы. Найдены закономерности взаимодействия, обусловленные влиянием строения функциональных групп. Сделанные заключения подтверждены квантово-химическими расчетами.

The results of a study by spectrophotometric titration of the interaction of ions and nanosized particles of silver with a number of direct dyes containing groups with different electronic and steric effects in the molecules are presented. The patterns of interaction due to the influence of the structure of functional groups are found. The conclusions made are confirmed by quantum chemical calculations.

Ключевые слова: комплексообразование, хелатирующая группа, спектрофотометрическое титрование, ионы серебра, наноразмерная частица, квантово-химические расчеты.

Keywords: complexation, chelating group, spectrophotometric titration, silver ions, nanoscale particle, quantum-chemical calculations.

Текстильные изделия различного назначения (обмундирование для армии, силовых структур и МЧС, спортивная и туристическая одежда, медицинский текстиль, бытовой текстиль), обладающие устойчивыми биозащитными свойствами, являются одним из наиболее востребованных видов текстиля, и работы по повышению биоцидного эффекта и его устойчивости к воздействию разнообразных физико-химических факторов продолжают развиваться.

Общепризнано, что наиболее эффективным и безопасным методом придания текстильным материалам антивирусных и фунгицидных свойств является их модифицирование наноразмерными частицами серебра [1...9].

Ранее нами проведена серия исследований с целью разработки теоретических и технологических основ эффективного метода получения биоцидных текстильных материалов, включающая синтез модельных красителей, содержащих выраженные хелатирующие группы, изучение взаимодействия синтезированных соединений с ионами и наноразмерными частицами серебра в растворах и на наномодифицированном материале, определение устойчивости биоцидного эффекта к стиркам и другим видам физико-химического воздействия [10...12].

Следует отметить, что при проведении исследований мы исходили из рабочей гипотезы о взаимодействии ионов и наноразмерных частиц серебра как с функциональными группами волокнообразующего полимера, так и с функциональными группами красителей, использующихся при колорировании текстильного материала, рассматривая эти взаимодействия как факторы, обуславливающие высокий уровень прочности закрепления ионов и наночастиц на материале [13...16].

Проведенные исследования были выполнены в основном на кислотных красите-

лях, в то время как данные об аналогичных взаимодействиях в ряду прямых красителей в литературе отсутствуют.

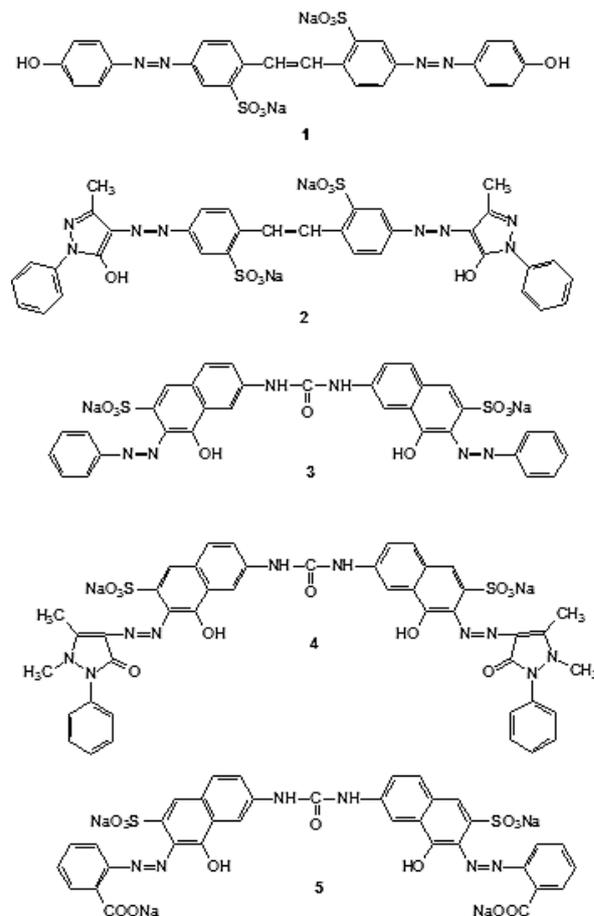


Рис. 1

В настоящей работе использованы модельные прямые азокрасители 1...5 (рис. 1), отличающиеся количеством, строением и взаимным расположением хелатирующих групп.

Краситель 1 (Бриллиантовый желтый CI №24890) не содержит выраженных хелатирующих группировок. Краситель 2 (Прямой ярко-оранжевый CI № 29150) и 3 способны к бис(бидентатно-хелатной) координации с участием атомов азота азо-групп и гидроксильных групп в α -положении пиролонового (2) или нафталинового (3) фраг-

ментов. Красители 4 и 5 (Прямой коричневый 112 CI № 29166) содержат два триден-татно-хелатных фрагмента в случае Z-расположения электронодонорных заместителей (гидроксильной и карбоксильной групп) относительно азогрупп или два биден-татно-хелатных фрагмента в случае их E-расположения.

Спектральные характеристики (электронные спектры поглощения) и значения R_f (бутанол : вода : 25%-ный водный аммиак - 1:1:1) описываемых соединений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Соединение Характеристика	1	2	3	4	5
λ_{max} , нм	400,6	461,2	496,0; 517,4	496,1; 534,9	486,0; 512,0
$\lg \epsilon$	4,27	4,54	4,49; 4,47	4,18; 4,01	4,33; 4,29
R_f	0,16	0,15	0,68	0,85	0,09

Основной метод изучения комплексных соединений заключается в выделении комплексов в твердом состоянии (выращивании кристаллов) и исследовании их структуры и состава различными физико-химическими методами (ИК-, ЯМР-спектроскопия, рентгеноструктурный анализ и пр.). Если затруднительно выделение комплексов, как в случае взаимодействия ионов серебра с красителями 1...5, применяется метод спектрофотометрического титрования в растворах, который и был использован в данной работе. Он основан на анализе изменения характера кривых поглощения при постепенном добавлении раствора соли металла к раствору красителя [17]. Комплек-

сообразование приводит к возможности новых электронных переходов в молекуле красителя, что, как правило, сопровождается изменением интенсивности и положения длинноволновых полос поглощения красителя. Появление изобестических точек говорит о наличии равновесных форм в растворе. Спектрофотометрическое титрование проводили в водных растворах при концентрации красителя 10^{-5} моль/л в кварцевых кюветах толщиной 1 см на спектрофотометре Cary 50.

Изменения в электронных спектрах поглощения (ЭСП) при добавлении раствора нитрата серебра к растворам прямых красителей 1...5 приведены на рис. 2.

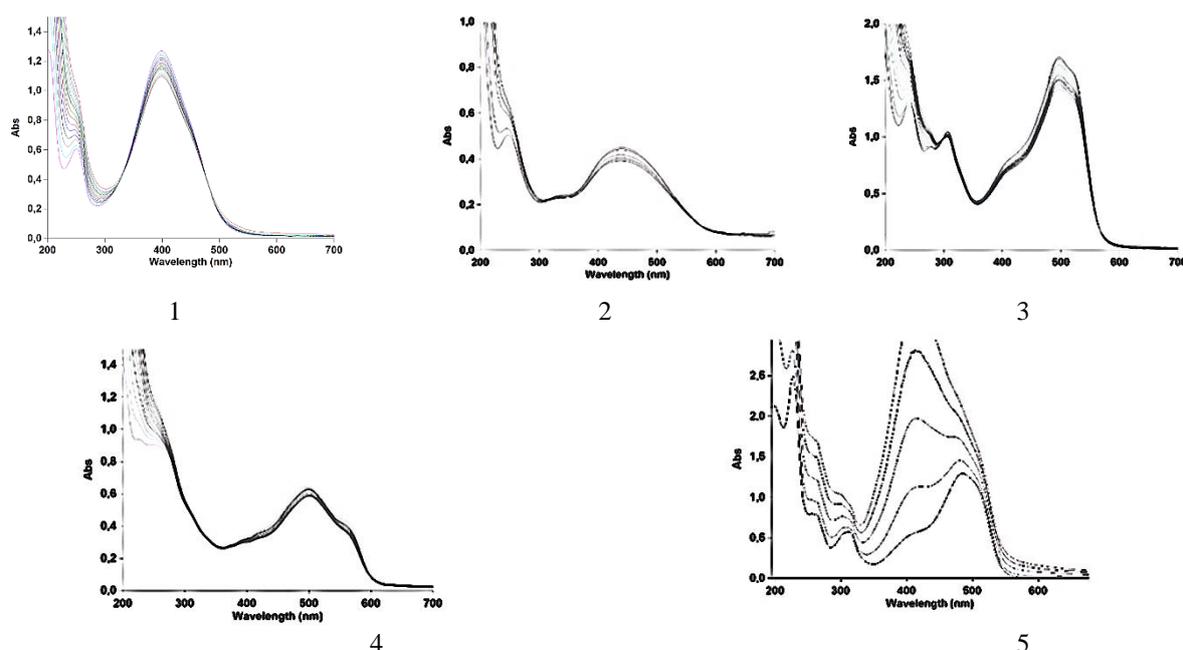


Рис. 2

Можно видеть, что, изменения характера ЭСП не наблюдается в случае соединений 1 и 4. Это может быть связано как с отсутствием возможности хелатообразования в случае 1, так и различного рода стерическими препятствиями в случае 4.

В ЭСП красителя 3 отмечаются незначительные изменения спектральных характеристик, однако заметно появление изобестических точек. Вероятно, процессы комплексообразования с катионами серебра не приводят к значительному смещению электронной плотности с молекулы красителя на катион металла. В результате электронная структура молекулы красителя практически не меняется и изменения в электронных спектрах незначительны.

При добавлении катионов Ag^+ к растворам красителей 2 и 5 наблюдаются изменения в электронных спектрах поглощения лигандов, а именно: происходит гипсохромное смещение длинноволновых полос по-

лощения красителей. Подобные смещения длинноволновых полос поглощения отмечались ранее для других металлокомплексов азосоединений [18], [19]. Большую величину сдвига в случае соединения 5 можно объяснить таутомерными и конформационными превращениями органической молекулы в процессе комплексообразования.

Для исследования взаимодействия красителей 1...5 с препаратом, содержащим наноразмерные частицы серебра (наномодифицирующий препарат – НМП), был использован гидрозо́ль с содержанием серебра 0,3%, полученный по методике, описанной в [20]. В связи с наложением полос поглощения в электронных спектрах поглощения органических красителей и раствора НМП мы использовали раствор НМП, разбавленный до концентрации 0,0085% и обесцвеченный раствором пероксида водорода. Результаты спектрофотометрического титрования представлены на рис. 3.

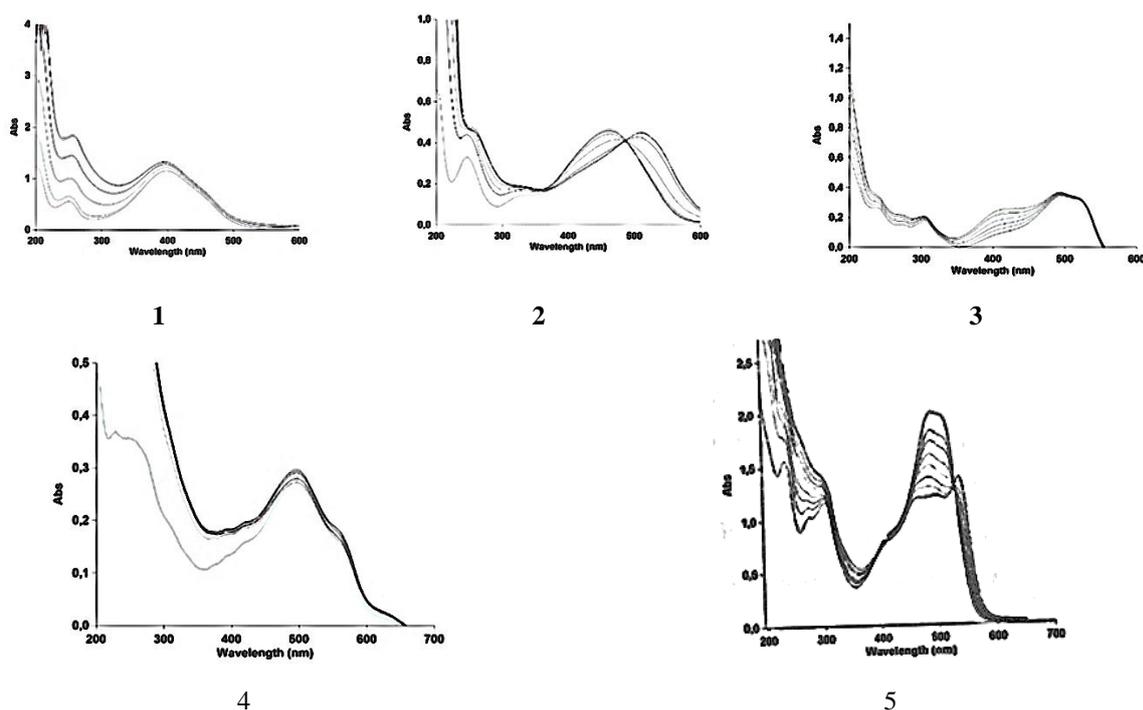


Рис. 3

Добавление обесцвеченного раствора, содержащего наночастицы серебра, к растворам красителей 1, 2 и 5 приводит к некоторому уменьшению интенсивности полос поглощения в видимой области спектра и

увеличению интенсивности полос в ультрафиолетовой части спектра. Появление изобестических точек при титровании соединений 2 и 5 указывает на существование в растворах равновесия двух форм.

Так как длинноволновые полосы поглощения соединений обычно связаны с электронными переходами с несвязывающих орбиталей гетероатомов, можно считать, что происходит взаимодействие красителя с наночастицами, которое в незначительной степени изменяет электронную структуру органических красителей. Вероятно, в процессе взаимодействия не происходит значительного переноса электронной плотности между комплексообразователем и органическим красителем. Этот факт можно объяснить или образованием координационных связей большой степени ионности, или тем, что взаимодействие красителя происходит не с металлическими наночастицами, находящимися в состоянии микрокапсулирования, а с молекулами стабилизатора.

Низкая концентрация наночастиц в растворе (0,0085% по массе, что примерно соответствует $8,6 \cdot 10^{-6}$ моль/л по сравнению с концентрацией красителей 10^{-5} моль/л) не позволила достичь насыщения в процессе спектрофотометрического титрования и рассчитать соотношение краситель : наночастица в образующемся комплексе.

Добавление раствора наноразмерного серебра к соединениям 3 и 4 (рис. 3) не вызывает изменений в электронном спектре поглощения красителя, что может указывать на то, что в данном случае не наблюдается взаимодействия наноразмерных частиц серебра с растворами красителей 3 и 4.

Максимальные изменения спектральных характеристик и появление изобестических точек наблюдается у красителей 2 и 5, что указывает, на наш взгляд, на выраженное взаимодействие красителей с наночастицами серебра.

Для подтверждения влияния пространственных факторов на процесс взаимодействия прямых азокрасителей с наноразмерными частицами серебра проведено квантово-химическое моделирование структуры красителя 5, который по данным спектрофотометрического титрования наиболее активно взаимодействует с наноразмерными частицами серебра и красителя 3, где такого взаимодействия не выявлено. Полученные результаты оптимизации геометрии и рассчитанных теплот образования представлены на рис. 4...8 (рис. 4 – строение молекулы красителя 3 (гидразоформа, плоская структура с цисрасположенными сульфогруппами) по результатам расчета методом DFT B3LYP/def-2-SV(P). Теплота образования + 0,13 ккал/моль; рис. 5 – строение молекулы красителя 3 (гидразоформа, плоская структура с трансрасположенными сульфогруппами) по результатам расчета методом DFT B3LYP/def-2-SV(P). Теплота образования – 0,13 ккал/моль; рис. 6 – строение молекулы красителя 3 (гидразоформа, неплоская структура с трансрасположенными сульфогруппами) по результатам расчета методом DFT B3LYP/def-2-SV(P). Теплота образования + 1,33 ккал/моль; рис. 7 – строение молекулы красителя 3 (азоформа, плоская структура с трансрасположенными сульфогруппами) по результатам расчета методом DFT B3LYP/def-2-SV(P). Теплота образования + 10,42 ккал/моль; рис. 8 – строение молекулы красителя 5 (гидразоформа, плоская структура с трансрасположенными сульфогруппами) по результатам расчета методом DFT B3LYP/def-2-SV(P)).

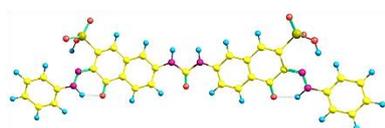


Рис. 4

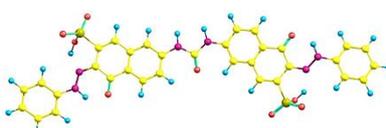


Рис. 5

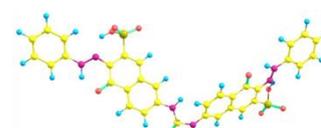


Рис. 6

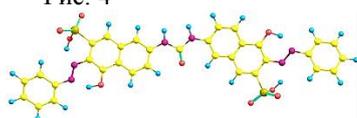


Рис. 7



Рис. 8

Из полученных результатов очевидно, что наиболее устойчивыми формами красителей являются плоские гидразоформы с трансрасположением сульфогрупп. Рассчи-

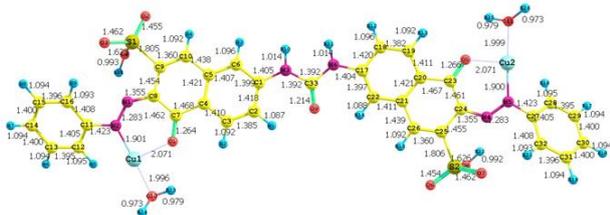


Рис. 9

Для красителей 3 и 5 в их наиболее устойчивых таутомерных и конформерных формах также проведена оптимизация строения комплексов одновалентной меди (рис. 9 – строение комплекса красителя 3 с одновалентной медью по результатам расчета методом DFT B3LYP/def-2-SV(P) и соответствующие межатомные расстояния и рис. 10 – строение комплекса красителя 5 с одновалентной медью по результатам расчета методом DFT B3LYP/def-2-SV(P) и соответствующие межатомные расстояния). Провести подобные расчеты для комплексов с одновалентным серебром не представилось возможным в связи с ограничениями выбранной расчетной модели, однако близкие химические и координационные свойства, а также размеры катионов (1,13 Å для катиона серебра и 0,98 Å в случае одновалентной меди) позволяют считать комплексные соединения с одновалентной медью хорошими моделями соответствующих соединений серебра.

Как отмечалось выше, размеры изолированных катионов одновалентных меди и серебра лежат в пределах 0,98...1,13 Å, в то время как размер наночастиц серебра, стабилизированных желатином, которые использовались в настоящей работе, составляет 20...40 Å. По-видимому, различие в координирующей способности красителей 3 и 5 связано с тем, что в случае красителя 5 возможна сорбция наночастиц за счет хелатирующего взаимодействия с гидроксильной группой нафталинового фрагмента и ионизированной карбоксильной группой фенильного фрагмента молекулы, находящиеся друг от друга на расстоянии девяти

тантные расстояния между атомами кислорода гидроксильных групп нафталинового и карбоксифенильного фрагментов составляют 4 Å.

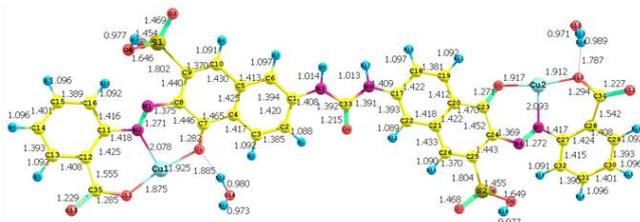


Рис. 10

сопряженных связей. В результате размер хелатирующей полости достигает значительных величин и достаточен для взаимодействия с наночастицей достаточных размеров. Подобное взаимодействие происходит, вероятно, в случае взаимодействия наночастиц с молекулой 2, в которой в роли хелатирующих фрагментов выступают гидроксильная и сульфогруппы. В случае с красителем 3 размер хелатирующей полости определяется расстоянием между атомом азота азогруппы и гидроксильной или сульфогруппой соседнего нафталинового фрагмента молекулы, которое значительно меньше. Размер полости, таким образом, оказывается меньше размера наночастицы, и взаимодействия между ними не происходит. Аналогично не происходит взаимодействия наночастиц серебра с красителем 1, в котором отсутствует возможность образования хелатного цикла. Не совсем понятно отсутствие изменения в спектре соединения 4 при титровании его раствором, содержащим наночастицы серебра (рис. 3). Вероятно, это может быть связано не с отсутствием взаимодействия, а со значительной устойчивостью π-электронной системы пиролоновых фрагментов молекулы, что приводит к сохранению электронных спектров поглощения.

С учетом вышеизложенного можно предположить, что пространственно затрудненные хелатирующие группы в молекуле красителя играют определенную роль во взаимодействии красителя с наночастицами серебра и способны дополнительно сорбировать их при обработке текстильного материала нанопрепаратом. По-видимо-

му, в данном случае речь идет не о комплексообразовании, а о взаимодействии наночастицы, окруженной желатиновой оболочкой, с пространственно доступными хелатирующими группами.

ВЫВОДЫ

Результаты, приведенные в работе, свидетельствуют об общности химизма взаимодействия функциональных хелатирующих групп красителя с наноразмерными частицами серебра, как в ряду кислотных, так и прямых красителей. В то же время на процесс взаимодействия, а следовательно, и на процесс закрепления наночастиц серебра на волокне, заметное влияние оказывают такие факторы, как химическая структура молекулы красителя, природа хелатирующих групп, строение стабилизатора гидрозолей серебра, что необходимо учитывать при оптимизации технологии получения наномодифицированных текстильных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Калонтаров И.Я., Ливерант В.Л.* Придание текстильным материалам биоцидных свойств и устойчивости к микроорганизмам. – Душанбе: Дониш, 1981.

2. *Козинда З.Ю., Горбачева И.Н., Суворова Е.Г., Сухова Л.М.* Методы получения текстильных материалов со специальными свойствами (антимикробными и огнезащитными). – М.: Легпромбытиздат, 1988.

3. *Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Дмитриева А.Д.* Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2015, № 2. С. 67...70.

4. *Петрова Л.С., Липина А.А., Зайцева А.О., Одинцова О.Н.* Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №6. С.105...109.

5. *Dasjjerdi R., Montazer M., Stasavan S.* A novel technique for producing durable multifunctional textiles using nanocomposite coating // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – V. 81, 2010. P. 32...41.

6. *Rai M., Yadav A., Gade A.* Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials // Biotechnol. Adv. – V. 27. 2009. P. 76...83.

7. *Dallas P., Sharma V.K., Zboril R.* Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: Classification, synthetic paths, applications, and

perspectives // Advances in Colloid and Interface Science. –V. 166, 2011. P. 119...135.

8. *Ki H., Kim J., Kwon S., Yeong S.* A study on multifunctional wool textiles treated with nano-sized silver // J. Mater. Sci. –V. 42, 2007. P. 8020...8024.

9. *Emam H. E., Mantan A. P., Sirok B., Duelli H., Redl B., Pipal A., Bechtold T.* Treatments to impact antimicrobial activity to clothing and household cellulosic textiles : Why “nano”-silver? // Journal of Cleaner Production. –V. 39, 2013. P. 17...23.

10. *Ковальчукова О.В., Кобраков К.И., Родионов В.И., Станкевич Г.С., Цегельник О.А.* Разработка технологии получения инновационных текстильных материалов модификацией наноразмерными частицами металлов // Тез. докл. IV Всероссийск. конф. по химической технологии: Химическая технология. – М., 2012. Т. 3. С. 272.

11. *Кобраков К.И., Родионов В.И., Ручкина А.Г., Кузнецов Д.Н., Станкевич Г.С., Золина Л.И., Ковальчукова О.В.* Синтез гетарилсодержащих бисазокрасителей и исследование их взаимодействия с ионами и наноразмерными частицами металлов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2013, № 4. С.33...37.

12. *Кобраков К.И., Ковальчукова О.В., Кузнецов Д.Н., Родионов В.И., Станкевич Г.С.* Спектрофотометрическое изучение взаимодействия некоторых азокрасителей, содержащих хелатирующие группы, с ионами и наноразмерными частицами серебра // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 3. С. 82...87.

13. *Аршакуни А.А., Губин С.П.* Природные биоволокна как полифункциональные биолиганды для металлсодержащих наночастиц // Координационная химия. – 2010, № 4. С. 251...255.

14. *Аршакуни А.А., Губин С.П.* Наноматериалы на основе природных белковых волокон // Неорганические материалы. – 2010. № 7. С. 818...826.

15. *Кобраков К.И., Дмитриева М.Б., Золина Л.И., Родионов В.И., Ручкина А.Г., Серенко О.А., Станкевич Г.С.* Получение наномодифицированных биоцидных текстильных материалов и исследование устойчивости их фунгицидных свойств к мокрым обработкам // Бутлеровские сообщения. – 2014, № 2. С. 53...59.

16. *Кобраков К.И., Закусин С.Г., Золина Л.И., Станкевич Г.С., Кузнецов Д.Н.* Наномодифицированные текстильные материалы с биоцидными свойствами: разработка и опытно-промышленная апробация технологии изготовления // Химическая технология. – 2016, № 7. С. 322...327.

17. *Бек М., Надьнал И.* Исследование комплексообразования новейшими методами. – М.: Мир, 1989.

18. *Зайцев Б.Е., Никифоров Е.В., Рябов М.А., Шибан Г.В.* Влияние pH среды на электронные спектры поглощения и структуру 3-метил-1-фенил-4-фенилазо-5-пиразолона // Химия гетероциклических соединений. – 1991, № 10. С.1331...1336.

19. *Khalifa H. Issa Y.M.* Spectrophotometric Studies on Chromotrope 2R, Chromotrope 2B, Arsenazo

(I) and Aresnazo (III) in Aqueous Solutions // Egypt. J. Chem. – V.17, 1974. P. 581...591.

20. Пат. 2456995 Российская федерация, С1, МПК А61К33/38, А61L15/46, F01T59/00, D82B3/00 Способ получения гидрофильных текстильных материалов с антимикробными свойствами / Л.И. Золина, О.Н. Баранова, В.Ю. Мишаков, В.Д. Баранов – 2011116905/15; заявл. 28.04.2011; опубл. 27.07.2012.

REFERENCES

1. Kalontarov I.Ya., Liverant V.L. Pridanie tekstil'nym materialam biotsidnykh svoystv i ustoychivosti k mikroorganizmam. – Dushanbe: Donish, 1981.

2. Kozinda Z.Yu., Gorbacheva I.N., Suvorova E.G., Sukhova L.M. Metody polucheniya tekstil'nykh materialov so spetsial'nymi svoystvami (antimikrobnymi i ogneshchitnymi). – M.: Legprombytizdat, 1988.

3. Kuz'menko V.A., Odintsova O.I., Dmitrieva A.D. Sintez i ispol'zovanie nanochastits serebra dlya pridaniya tekstil'nym materialam bakteritsidnykh svoystv // Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2015, № 2. S. 67...70.

4. Petrova L.S., Lipina A.A., Zaytseva A.O., Odintsova O.N. Ispol'zovanie nanochastits serebra dlya pridaniya tekstil'nym materialam bakteritsidnykh svoystv // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №6. S. 105...109.

5. Dastjerdi R., Montazer M., Stasavan S. A novel technique for producing durable multifunctional textiles using nanocomposite coating // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – V. 81, 2010. P. 32...41.

6. Rai M., Yadav A., Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials // Biotechnol. Adv. – V. 27, 2009. P. 76...83.

7. Dallas P., Sharma V.K., Zboril R. Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: Classification, synthetic paths, applications, and perspectives // Advances in Colloid and Interface Science. – V. 166, 2011. P. 119...135.

8. Ki H., Kim J., Kwon S., Yeong S. A study on multifunctional wool textiles treated with nano-sized silver // J. Mater. Sci. – V. 42, 2007. P. 8020...8024.

9. Emam H. E., Mantan A. P., Sirok B., Duelli H., Redl B., Pipal A., Bechtold T. Treatments to impact antimicrobial activity to clothing and household cellulosic textiles: Why “nano”-silver? // Journal of Cleaner Production. – V. 39, 2013. P. 17...23.

10. Koval'chukova O.V., Kobrakov K.I., Rodinov V.I., Stankevich G.S., Tsegel'nik O.A. Razrabotka tekhnologii polucheniya innovatsionnykh tekstil'nykh materialov modifikatsiy nanorazmernymi chastitsami metallov // Tez. dokl. IV Vserossiysk. konf. po khimicheskoy tekhnologii: Khimicheskaya tekhnologiya. – M., 2012. T. 3. S. 272.

11. Kobrakov K.I., Rodionov V.I., Ruchkina A.G., Kuznetsov D.N., Stankevich G.S., Zolina L.I., Koval'chukova O.V. Sintez getarilsoderzhashchikh bisazokrasi-teley i issledovanie ikh vzaimodeystviya s ionami i nanorazmernymi chastitsami metallov // Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2013, № 4. S.33...37.

12. Kobrakov K.I., Koval'chukova O.V., Kuznetsov D.N., Rodionov V.I., Stankevich G.S. Spektrofotometricheskoe izuchenie vzaimodeystviya nekotorykh azokrasi-teley, soderzhashchikh khelatiruyushchie grup-py, s ionami i nanorazmernymi chastitsami serebra // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, № 3. S. 82...87.

13. Arshakuni A.A., Gubin S.P. Prirodnye biovolokna kak polifunksional'nye bioligandy dlya metall-soderzhashchikh nanochastits // Koordinatsionnaya khimiya. – 2010, № 4. S. 251...255.

14. Arshakuni A.A., Gubin S.P. Nanomaterialy na osnove prirodnykh belkovykh volokon // Neorganicheskie materialy. – 2010. № 7. S. 818...826.

15. Kobrakov K.I., Dmitrieva M.B., Zolina L.I., Rodionov V.I., Ruchkina A.G., Serenko O.A., Stankevich G.S. Poluchenie nanomodifitsirovannykh biotsidnykh tekstil'nykh materialov i issledovanie ustoychivosti ikh fungitsidnykh svoystv k mokrym obrabotkam // Butlerovskie soobshcheniya. – 2014, № 2. S. 53...59.

16. Kobrakov K.I., Zakuskin S.G., Zolina L.I., Stankevich G.S., Kuznetsov D.N. Nanomodifitsirovannye tekstil'nye materialy s biotsidnymi svoystvami: razrabotka i opytно-promyshlennaya aprobatsiya tekhnologii izgotovleniya // Khimicheskaya tekhnologiya. – 2016, № 7. S. 322...327.

17. Bek M., Nad'pal I. Issledovanie kompleksobrazovaniya noveyshimi metodami. – M.: Mir, 1989.

18. Zaytsev B.E., Nikiforov E.V., Ryabov M.A., Sheban G.V. Vliyanie rN sredy na elektronnye spektry pogloshcheniya i strukturu 3-metil-1-fenil-4-fenilazo-5-pirazolona // Khimiya geterotsiklicheskiy soedineniy. – 1991, № 10. S. 1331...1336.

19. Khalifa H. Issa Y.M. Spectrophotometric Studies on Chromotrope 2R, Chromotrope 2B, Arsena-zo (I) and Aresnazo (III) in Aqueous Solutions // Egypt. J. Chem. – V.17, 1974. P. 581...591.

20. Пат. 2456995 Rossiyskaya federatsiya, S1, МПК А61К33/38, А61L15/46, F01T59/00, D82B3/00 Способ polucheniya gidrofil'nykh tekstil'nykh materialov s antimikrobnymi svoystvami / L.I. Zolina, O.N. Baranova, V.Yu. Mishakov, V.D. Baranov – 2011116905/15; заявл. 28.04.2011; опубл. 27.07.2012.

Рекомендована кафедрой органической химии РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 01.04.19.