

ОТДЕЛКА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МИКРОКАПСУЛАМИ И НАНОЧАСТИЦАМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

О.И. Одинцова, Е.Л. Владимирцева, О.В. Козлова, С.В. Смирнова, А.А. Липина, Л.С. Петрова,
К.А. Ерзунов, З.А. Константинова, А.Р. Зимнуров, Ф.А. Быков, А.Г. Мельников

Ольга Ивановна Одинцова (ORCID 0000-0001-5002-2601)*, Елена Львовна Владимирцева (ORCID 0000-0003-2389-0192), Ольга Витальевна Козлова (ORCID 0000-0002-49062-5981), Светлана Викторовна Смирнова (ORCID 0000-0002-9896-9631), Анна Андреевна Липина (ORCID 0000-0002-1259-9351), Людмила Сергеевна Петрова (ORCID 0000-0003-2563-4774), Константин Андреевич Ерзунов (ORCID 0000-0002-5632-1394), Заира Асхабовна Константинова (ORCID 0000-0002-6682-9765), Анвар Русланович Зимнуров (ORCID 0009-0002-9952-7672), Федор Андреевич Быков (ORCID 0000-0003-3339-9276), Алексей Георгиевич Мельников (ORCID 0000-0001-7943-4343)

Кафедра химической технологии волокнистых материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, просп. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: odolga@yandex.ru*, elvladimirtseva@mail.ru, ovk-56@mail.ru, prohorova.a94@yandex.ru, milafck@gmail.com, erzunovk@mail.ru, miss.askhabova@mail.ru, ppppeer@mail.ru, baiii1@mail.ru, original-raccoon@gmail.com

Обобщены результаты исследований, направленные на создание новых функциональных текстильных материалов посредством использования микрокапсулированных ТВВ (текстильных вспомогательных веществ) и наночастиц металлов, оксидов металлов и неметаллов, а также глин природного происхождения. Приведены разработанные методы синтеза оболочек капсул различной архитектуры, включающие природные и синтетические полиэлектролиты. Описаны технологии капсулирования функциональных препаратов для ароматической, репеллентной и антибактериальной отделки текстильных материалов. Приведено описание фомирования микрокапсул на основе высокоактивного репеллентного препарата – альфа-циперметрина. Разработан антимикробный препарат, содержащий наночастицы серебра, даны рекомендации по его использованию. Получение наночастиц серебра основано на восстановлении металлического серебра из нитрата серебра с помощью таких восстановителей, как глюкоза, глиоксаль и дитионит натрия в различных концентрациях. Размеры синтезированных частиц варьируются от 145 до 2 нм. Получены модифицирующие составы на основе синтетических полиэлектролитов и новых комплексных соединений с прогнозируемой пролонгируемой устойчивостью, функциональными веществами и макроциклами (циклодекстринами (ЦД) и краун-эфирами). Представлена методика синтеза и прочного закрепления на целлюлозном волокне при внедрении ионов серебра в полость β -циклодекстрина биоактивных Ag-содержащих препаратов с частицами нанометрового размера. Приведены методики получения наноразмерных частиц оксида цинка. В качестве прекурсоров использовали ацетат цинка и хлорид цинка. Размеры полученных наночастиц составляют 70-90 нм. Описаны технологические основы получения на текстильных материалах полифункциональных покрытий методами пропитки и печати с использованием полимеров. Полученные покрытия проявляют повышенные антибактериальные и самоочищающиеся свойства. Показана полифункциональность действия фторированного алюмосиликата в процессах текстильной химии.

Ключевые слова: наночастицы серебра, микрокапсулы, полиэлектролиты, циклодекстрин, функциональные вещества, акарицидно-репеллентные вещества, пептиды, алюмосиликат

Для цитирования:

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. Отделка текстильных материалов микрокапсулами и наночастицами функциональных веществ. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 173–184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.

For citation:

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. Finishing textile materials with microcapsules and nanoparticles of functional substances. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 173–184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607. 6844j.

**FINISHING TEXTILE MATERIALS WITH MICROCAPSULES
AND NANOPARTICLES OF FUNCTIONAL SUBSTANCES**

**O.I. Odintsova, E.L. Vladimirtseva, O.V. Kozlova, S.V. Smirnova, A.A. Lipina, L.S. Petrova,
K.A. Erzunov, Z.A. Konstantinova, A.R. Zimnurov, F.A. Bykov, A.G. Melnikov**

Olga I. Odintsova (ORCID 0000-0001-5002-2601)*, Elena L. Vladimirtseva (ORCID 0000-0003-2389-0192), Olga V. Kozlova (ORCID 0000-0002-49062-5981), Svetlana V. Smirnova (ORCID 0000-0002-9896-9631), Anna A. Lipina (ORCID 0000-0002-1259-9351), Lyudmila S. Petrova (ORCID 0000-0003-2563-4774), Konstantin A. Erzunov (ORCID 0000-0002-5632-1394), Zaira A. Konstantinova (ORCID 0000-0002-6682-9765), Anvar R. Zimnurov (ORCID 0009-0002-9952-7672), Fedor A. Bykov (ORCID 0000-0003-3339-9276), Alexey G. Melnikov (ORCID 0000-0001-7943-4343)

Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: odolga@yandex.ru *, elvladimirtseva@mail.ru, ovk-56@mail.ru, prohorova.a94@yandex.ru, milafck@gmail.com, erzunovk@mail.ru, miss.askhabova@mail.ru, ppppeer@mail.ru, baiii1@mail.ru., original-raccoon@gmail.com

The results of studies aimed at the creation of new functional textile materials through the use of microencapsulated TE (textile excipients) and metal nanoparticles, metal and non-metal oxides, as well as clays of natural origin were summarized. The developed methods for the synthesis of capsule shells of various architectures, including natural and synthetic polyelectrolytes, were presented. The technologies for encapsulation of functional preparations for aromatic, repellent and antibacterial finishing of textile materials were described. A description of the formation of microcapsules based on a highly active repellent drug - alpha-cypermethrin is given. An antimicrobial preparation containing silver nanoparticles has been developed, and recommendations for its use have been given. The production of silver nanoparticles were based on the reduction of metallic silver from silver nitrate using reducing agents such as glucose, glyoxal, and sodium dithionite in various concentrations. The sizes of synthesized particles vary from 145 to 2 nm. Modifying compositions based on synthetic polyelectrolytes and new complex compounds with predictable prolonged stability, functional substances and macrocycles (cyclodextrins (CD) and crown ethers) have been obtained. A technique was presented for the synthesis and strong fixation on cellulose fiber by introducing silver ions into the cavity of β -cyclodextrin of bioactive Ag-containing preparations with nanometer-sized particles. Methods for obtaining nanosized particles of zinc oxide were presented. Zinc acetate and zinc chloride were used as precursors. The sizes of the obtained nanoparticles are 70-90 nm. The technological bases for obtaining polyfunctional coatings on textile materials by impregnation and printing methods using polymers were described. The resulting coatings exhibit enhanced antibacterial and self-cleaning properties. The polyfunctionality of the action of fluorinated aluminosilicate in the processes of textile chemistry was shown.

Key words: silver nanoparticles, microcapsules, polyelectrolytes, cyclodextrin, functional substances, acaricide-repellent substances, peptides, aluminosilicate

ВВЕДЕНИЕ

Придание текстильным материалам функциональных свойств различного характера, а так-

же улучшение физико-механических характеристик тканей [1] является одной из основных задач химико-текстильного производства. На ранних этапах развития текстильной химии с этой целью

были разработаны отделочные композиции на основе предконденсатов терморезактивных смол, полисахаридов и их модификаций [2, 3]. Значимый вклад в развитие технологий отделочного производства внесли Морыганов Павел Васильевич, Мельников Борис Николаевич и их ученики [4-10].

Продолжая развивать теоретические и практические принципы создания функциональных текстильных материалов, предложено использовать текстильные вспомогательные (ТВВ) и биологически активные вещества (БАВ) в капсулированном виде, а также наночастицы металлов и их оксидов [11-17].

Синтез и применение наночастиц серебра в отделке целлюлозных тканей

Препараты на основе частиц серебра являются наиболее перспективными для антибактериальной отделки текстильных материалов. В настоящий момент ведутся исследования по совершенствованию методик синтеза гидрозолей серебра [18]. Изучен процесс восстановления серебра в водных растворах в присутствии восстановителей, традиционно используемых в красильно-отделочных технологических процессах, таких как дитионит натрия, двуокись тиомочевины, оксалат натрия, также более экологически безопасных – глюкозы, аскорбиновой кислоты, диальдегида щавелевой кислоты (глиоксаль) [19].

На основе анализа спектральных данных выбраны концентрации восстановителя (рис. 1) и эффективного стабилизатора (рис. 2.) на примере систем наносеребро-глюкоза-стабилизатор. Подобраны оптимальные концентрации восстановителя (глюкозы) – $0,0241$ моль/дм³ и стабилизатора - акремона LK-2 – $0,05 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³.

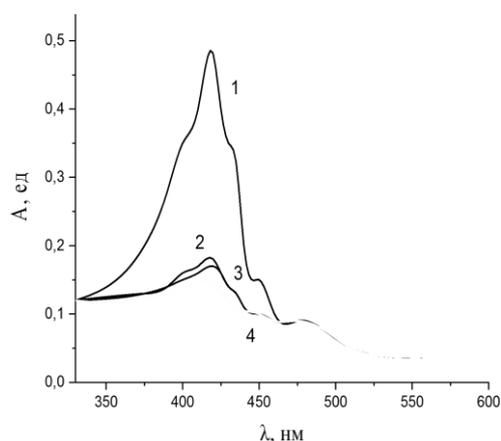


Рис. 1. Спектры оптического поглощения гидрозолей серебра при концентрации глюкозы: 1-0,0094, 2-0,017, 3-0,024, 4-0,035 моль/дм³

Fig. 1. Absorption spectra of silver hydrosols at glucose concentration: 1-0.0094, 2-0.017, 3-0.024, 4-0.035 mol/dm³

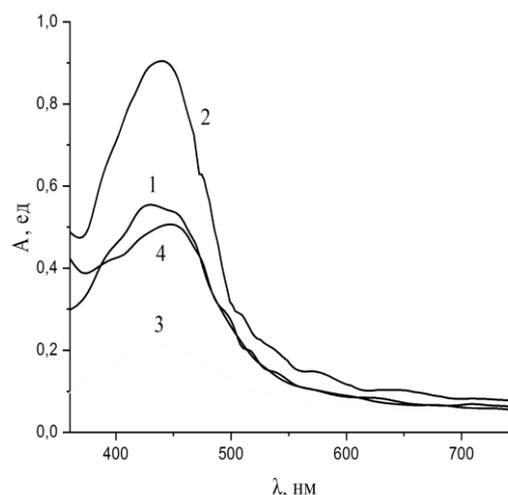


Рис. 2. Спектры оптического поглощения гидрозолей серебра при использовании различных стабилизаторов: 1- акремон В-1; 2- полидон А; 3- акремон LK-2; 4-акремон Д-1

Fig. 2. Absorption spectra of silver hydrosols using various stabilizers: 1 - acremon B-1; 2 - acremon LK-2; 3- polydon A; 4- acremon D-1

Выявлено, что антибактериальные свойства гидрозолей серебра, полученных восстановлением нитрата серебра глюкозой, несколько ниже, чем у гидрозолей, полученных с использованием в качестве восстановителя глиоксаль [20].

Таблица 1

Влияние типа восстановителя на размер синтезированных наночастиц серебра

Table 1. Influence of the type of reductant on the size of the synthesized silver nanoparticles

№	Наименование восстановителя	Средний размер частиц, нм	Цвет гидрозоля серебра
1	Дитионит натрия	120-145	Оливковый
2	Глюкоза	15-25	Оранжево-желтый
3	Глиоксаль	10-2	Коричневый

С целью увеличения активности гидрозолей серебра по отношению к микроорганизмам в качестве стабилизаторов опробованы катионные полиэлектролиты, которые обладают невысокой антибактериальной активностью. На основании результатов спектрофотометрического анализа показаны высокие стабилизирующие свойства полигуанидина, что позволяет наиболее полно провести восстановление нитрата серебра. Размер синтезированных наночастиц серебра, полученных при использовании системы глиоксаль-полигуанидин, определенный методом динамического рассеяния света, находится в диапазоне от 2 до 9 нм, однородность частиц составляет 93-100% [21].

Таблица 2

Влияние концентрации восстановителя- глиоксала на размер синтезированных наночастиц серебра
Table 2. Effect of the concentration of reducing agent Glyoxal on the size of synthesized silver nanoparticles

№	Состав	C, моль/дм ³	Размер частиц/ содержание в составе
1	AgNO ₃ Глиоксаль Полигуанидин NH ₄ OH	0,81·10 ⁻⁶ 0,3 4,5·10 ⁻³ 0,03	2 нм – 96 %
2	AgNO ₃ Глиоксаль Полигуанидин NH ₄ OH	0,81·10 ⁻⁶ 0,3 6,6·10 ⁻³ 0,03	4 нм - 99%
3	AgNO ₃ Глиоксаль Полигуанидин NH ₄ OH	0,81·10 ⁻⁶ 0,3 9,5·10 ⁻³ 0,03	6 нм – 93 %
4	AgNO ₃ Глиоксаль Полигуанидин NH ₄ OH	0,81·10 ⁻⁶ 0,3 15,5·10 ⁻³ 0,03	9 нм – 100 %

Результаты исследования позволили выбрать оптимальный состав разрабатываемого препарата, который обеспечил зону задержки роста бактерий обработанного целлюлозного текстильного материала 14-19 мм по отношению к *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, 3-7 мм по отношению к *Candida albicans* [22]. Разработана технология применения предлагаемого препарата, прошедшая успешные испытания на опытно-промышленном участке ООО «Объединение «Специальный текстиль», г. Шуя.

Микрокапсулирование, как способ создания инновационных текстильных вспомогательных веществ и материалов

Из широкого спектра методов синтеза капсул наиболее приемлемыми с практической точки зрения для модификации текстильных материалов являются два способа: метод наноэмульсии для маслорастворимых веществ и синтез микрокапсул с использованием темплатов, где для формирования полиэлектролитной оболочки используются микрочастицы карбоната кальция [23].

Для разработки капсулированных акарицидно-репеллентных вспомогательных веществ был выбран метод наноэмульсии [24, 25].

На начальной стадии формирования эмульсии происходит зарождение сферических

мицелл поверхностно-активных веществ, которые в дальнейшем образуют более сложные структуры. При введении в систему противоположно заряженного катионного полиэлектролита (КПЭ) наблюдается электростатическое взаимодействие между КПЭ и анионным ПАВ, что приводит к образованию полимер - коллоидного комплекса, и соответственно, стабилизирует рассматриваемую систему. Дальнейшее введение в композицию противоположно заряженного анионного полиэлектролита (АПЭ) дополнительно упрочняет оболочку получаемых микрокапсул, способствуя пролонгированному высвобождению активного вещества в течение длительного времени. Полученные микрокапсулы равномерно распределены в системе, формируемая оболочка является проницаемой, позволяя впоследствии высвободиться активному веществу – альфа-циперметрину (АЦП). Возможно дополнительное наслаивание полиэлектролитов и создание оболочки капсулы различной толщины и проницаемости.

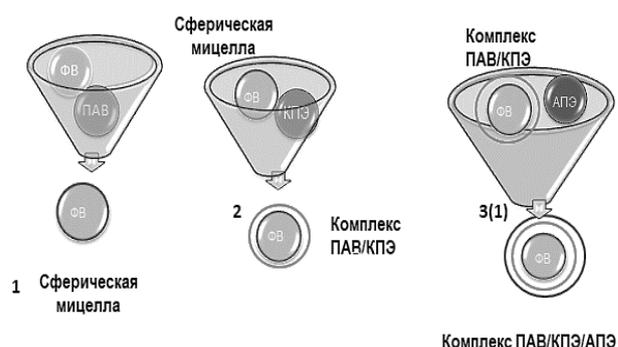


Рис. 3. Схема образования микрокапсул: 1-мицелла ПАВ с функциональным веществом (ФВ); 2-первая стадия формирования микрокапсулы с ФВ; 3-вторая стадия формирования микрокапсулы с ФВ, оболочка включает 2 слоя противоположно заряженных ПЭ (метод layer-by-layer)

Выбрана система эффективных эмульгаторов наноэмульсии, включающая анионный Карбоксипав и неионогенный Неонол АФ 9/10 [26-28]. Оценка физико-коллоидных свойств натуральных масел, оксиэтилированных подсолнечного и рапсового (ОРМ) масел с введенным в состав альфа-циперметрином, показала, что высокой растворимостью АЦП и оптимальной вязкостью характеризуется система на основе ОРМ [29].

В результате послойного синтеза противоположно заряженных слоев полиэлектролитов полидиаллилдиметиламмоний хлорида (ПДАДМАХ)

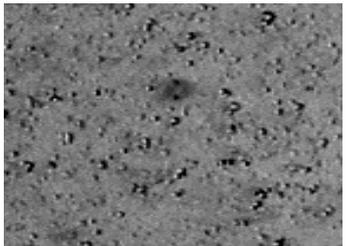
и акремона ЛК-2 при температуре 20 °С получены достаточно устойчивые во времени дисперсии со сформированными в них бислойнными микрокапсулами, размеры которых остаются практически неизменными в течение месяца (табл. 3).

Получены капсулы с различной толщиной оболочки, от би- до гексаслойных. В ядро капсулы вводили маслорастворимый краситель Судан красный IV, моделируя процесс выделения активного вещества из капсулы. Исследованы параметры, характеризующие скорость выделения краси-

теля из капсулы в зависимости от концентрации катионного полиэлектролита (КПЭ), применяемого для формирования ее оболочки [30-32]. Увеличение концентрации КПЭ в процессе синтеза капсулы приводит к образованию более плотной, менее проницаемой для функционального вещества оболочки капсулы. Установлено, что, варьируя концентрационные параметры полиэлектролитов в процессе синтеза оболочки капсулы, можно регулировать скорость выделения функционального вещества (рис. 4, 5).

Таблица 3

Состав и размеры капсул, синтезируемых при 20 °С, через 4 нед. после синтеза
Table 3. Composition and dimensions of capsules synthesized at 20 °С, 4 weeks after synthesis

Состав слоев микрокапсулы	Фотографии исследуемой системы	Средние размеры частиц, нм	Процентное соотношение, %
Состав 3: ОРМ с АЦП, Карбоксилав, Неонол- АФ 9/10, ПДАДМАХ		91 116 после синтеза	85 15
		114 9	98 2
Состав 4: ОРМ с АЦП, Карбоксилав, Неонол АФ 9/10, ПДАД- МАХ, Акремон ЛК-2		124 после синтеза	100,0
		125 89	98 2

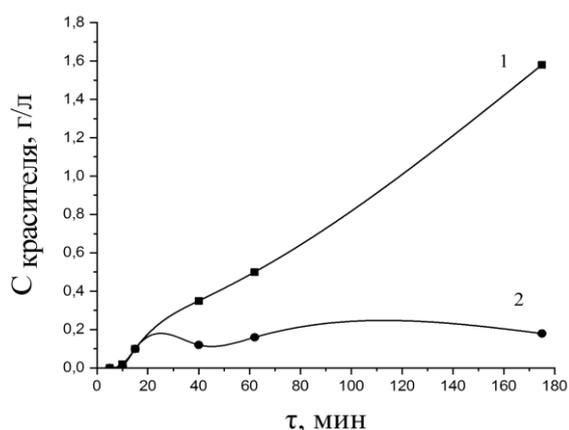


Рис. 4. Влияние концентрации катионного полиэлектролита на скорость выделения Судана IV во внешнюю среду: 1 – кривая, полученная при обработке катионным ПЭ в концентрации 1 г/л; 2 - кривая, полученная при обработке катионным ПЭ в концентрации 10 г/л

Fig. 4. Effect of the concentration of the cationic polyelectrolyte on the rate of release of Sudan IV into the external environment: (1) curve obtained upon treatment with cationic PE at a concentration of 1 g/l; 2 - curve obtained by treatment with cationic PE at a concentration of 10 g/l

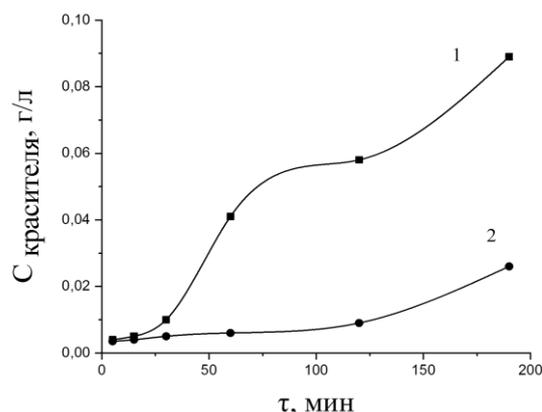


Рис. 5. Влияние заряда катионного полиэлектролита на скорость выделения Судана IV во внешнюю среду: 1 - кривая, полученная при обработке катионным ПЭ заряда = 3,85 мг - экв/г; 2 - кривая, полученная при обработке катионным ПЭ заряда = 0,96 мг - экв/г

Fig. 5. Influence of the charge of the cationic polyelectrolyte on the rate of release of Sudan IV into the external environment: 1 - curve obtained by treatment with a cationic PE charge = 3.85 mg - eq/g; 2 - curve obtained by treatment with cationic PE charge = 0.96 mg - eq/l

Предложен способ иммобилизации капсулированного АЦП посредством поочередной обработки пропитанного текстильного материала разноименно заряженными полиэлектролитами [33]. При иммобилизации микрокапсулированного АЦП на ткани большое влияние на прочность фиксации оказывает плотность заряда катионного полиэлектролита, что доказано посредством анализа интенсивности выделения Судана IV, закрепленного на материале разноименно заряженными ПЭ (Полиамин ($q = 3,85$ мг - экв/г), Полиамин ($q = 0,96$ мг - экв/г)). Выявлено, что увеличение заряда полиэлектролита ведет к росту скорости выделения АЦП.

Методом газовой хроматографии определено количество инкапсулированного альфа-ципер-

метрина, которое сорбируется текстильным материалом при нанесении дисперсии с микрокапсулами на целлюлозный текстильный материал. Наибольшее количество АЦП на ткани достигается при использовании дисперсии №1 с использованием ОРМ и дисперсии №2 с использованием ОРМ в комбинации с эфирным маслом Шалфея. Содержание альфа-циперметрина в этих случаях составляет более 4,5 г/кг (табл. 4).

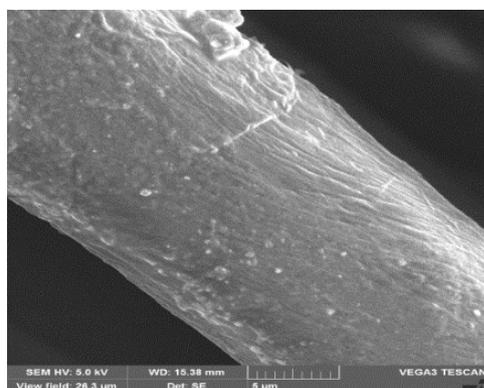
Методом сканирующей электронной микроскопии получены изображения целлюлозных волокон, покрытых микрокапсулами с АЦП (рис. 6). Размер зафиксированных капсул варьируется в пределах 159-292 нм.

Таблица 4

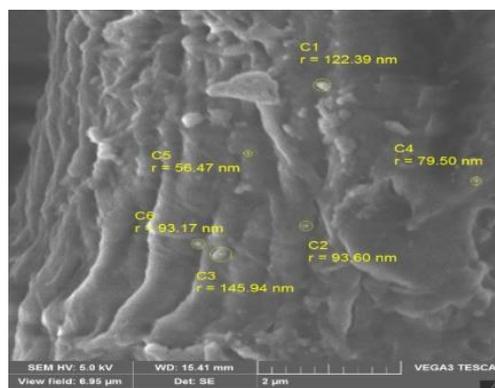
Влияние состава дисперсии на степень иммобилизации микрокапсулированных АРВ на текстильных материалах различного волокнистого состава

Table 4. Influence of the composition of the dispersion on the degree of immobilization of microencapsulated ARVs on textile materials of various fibrous compositions

№ образца текстильного материала	Состав эмульсии для обработки текстильного материала	Время обработки, мин	Количество альфа-циперметрина, г/кг
1	ОРМ+ АЦП, Карбоксипав, Неонол, ПДАДМАХ, Акремон	5	4,73±0,19
2	ОРМ+ АЦП+ Эфирное масло Шалфея, Карбоксипав, Неонол, ПДАДМАХ, Акремон	5	4,59±0,18
3	Эфирное масло Лаванды+ АЦП, Карбоксипав, Неонол, ПДАДМАХ, Акремон	5	0,67±0,03



а



б

Рис. 6. Изображение целлюлозного волокна, покрытого микрокапсулами с АЦП и эфирным маслом, полученное методом сканирующей электронной микроскопии с различным разрешением: А – микрофотография волокна, полученная с разрешением 5 мкм; Б – микрофотография волокна, полученная с разрешением 2 мкм

Fig. 6. Image of a cellulose fiber coated with microcapsules with ADC and essential oil, obtained by scanning electron microscopy with different resolutions: A – micrograph of the fiber, obtained with a resolution of 5 μm; B – micrograph of a wolf obtained with a resolution of 2 μm

Разработана технология акарициднорепеллентной отделки на основе микрокапсулированного препарата, которая внедрена в производство на предприятиях ООО «Умный текстиль» г. Шуя [34].

Второй способ включения БАВ в капсулы с использованием темплатов был реализован для двух функциональных веществ: экстракта мицелия вешенки и пептидов Туг-Про-гидрохлорид. Базидиомицет *Pleurotus ostreatus* (гриб вешенка

обыкновенная) широко используется в медицинской практике в качестве продуцентов различных лекарственных препаратов. Пептид Тут-Прогидрохлорид отвечает за ускоренную регенерацию ран [35, 36].

Для нанесения полиэлектролитных слоев на частицы использовали метод полиионной сборки, который осуществлялся последовательной обработкой разноименно заряженными биосовместимыми полиэлектролитами – хитозаном и ксантановой камедью. Проведенные калориметрические исследования позволили выявить концентрационные параметры (соотношения), при которых начинается образование стехиометрического полиэлектролитного комплекса, то есть формирование плотной полиэлектролитной оболочки капсулы [37]. Получение полых полиэлектролитных оболочек – проницаемых капсул – осуществляли путем растворения ядер CaCO_3 при добавлении тринатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) [38]. Для достижения проницаемости полиэлектролитной оболочки изменяли pH среды, а именно доводили ее до pH = 3,5-4,0 с использованием добавок уксусной кислоты. Далее при перемешивании вводили 100 мкл БАВ. Суспензию центрифугировали, верхнюю фракцию супернатанта сливали и добавляли дистиллированную воду. На основании разработанной методики были синтезированы капсулы с ди-, три- и тетраслойной оболочками, включающими БАВ. Методом динамического рассеяния света на приборе Photocor Compact-Z были определены размеры синтезируемых капсул: основная масса капсул имела размер около 900 нм (70%), присутствовало незначительное количество частиц размером от 496-522 нм. За агрегацией капсул следили с помощью оптического микроскопа (рис. 7).

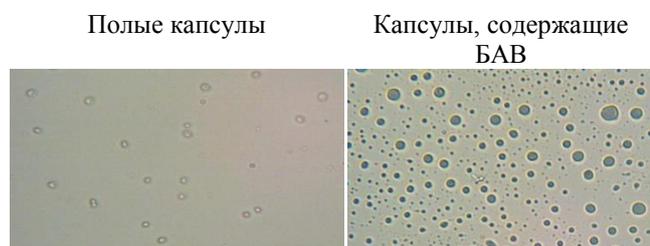


Рис. 7. Фотографии капсул, сформированных из хитозана и ксантановой камеди

Fig. 7. Photographs of capsules formed from chitosan and xanthan gum

В состав оболочки капсулы инкорпорировали наночастицы серебра, чтобы нанесенные на текстильный материал препараты вначале прояв-

ляли бактерицидный эффект, воздействуя на кожный покров, а затем высвобождающееся БАВ оказывало направленное действие. В процессе формирования оболочки вводили в суспензию гидрозолю серебра перед нанесением третьего полиэлектролитного слоя, состоящего из положительно заряженного хитозана. Использование атомно-абсорбционной спектроскопии позволило определить количество серебра в наноформе, приходящееся на 1 г микрокапсул, которое составило 0,0067 мг. Антибактериальная активность полученных образцов составляла по отношению к *Staphylococcus aureus* – 8 мм, а по отношению к *Escherichia coli* – 3 мм [39].

Формирование наноразмерных полифункциональных покрытий на текстильных материалах

Начинают пользоваться большим спросом ткани, обладающие антимикробными, гидрофобными, УФ-защитными и другими уникальными полифункциональными свойствами [40-42]. Для подобных видов специальной отделки могут быть использованы наночастицы на основе металлов и их оксидов такие, как наночастицы серебра (Ag), оксида цинка и оксида графена (GO) [43].

Выбор метода синтеза частиц оксида напрямую влияет на размер получаемых частиц, а также характер свойств готового материала [44]. Синтезированы наночастицы ZnO золь-гель методом с использованием в качестве прекурсоров ацетата цинка и хлорида цинка (ZnCl_2). Полученные наночастицы охарактеризованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и методом динамического рассеяния света (рис. 8). Размер частиц составил порядка 70-100 нм.

На основе функциональных составов формировали покрытия на хлопкополиэфирной и хлопчатобумажной тканях методом пропитки и печати, как с использованием одного, так и двух видов частиц, например, двойное покрытие GO/Ag.

Показано, что ткань с нанесенной печатной композицией, включающей наночастицы оксида графена и оксида цинка, проявляет бактериостатический эффект по отношению к грамм-положительным и грамм-отрицательным группам микроорганизмов. Максимальная антибактериальная активность проявляется у серебросодержащих образцов по отношению к грамм-отрицательным бактериям, зона лизиса составляет 3-5 мм. Покрытия, сформированные на основе наночастиц оксида графена и серебра, также являются бактерицидами.

Исследованы самоочищающиеся свойства обработанных материалов. Установлено, что ско-

рость разложения красителя основного золотисто-желтого для обработанной наночастицами оксида цинка ткани гораздо выше по сравнению с необработанной. Изменение светлоты образцов через 1 ч составило 5,38 единиц, для необработанной – 1,25. Покрытия на основе оксида цинка и наносеребра обладают полифункциональными свойствами антимикробными в совокупности с УФ-протекторными [45].

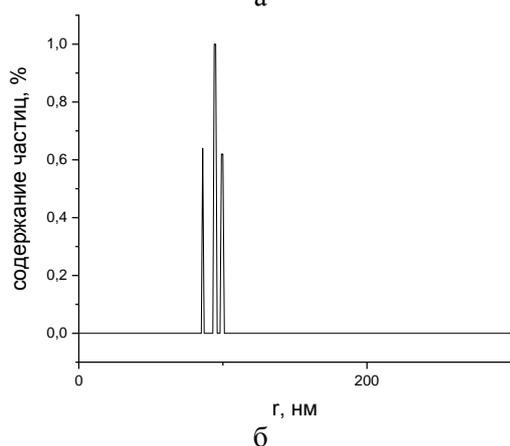
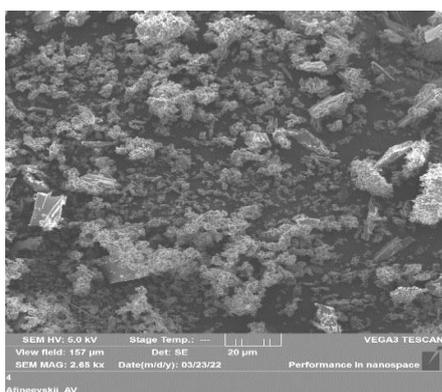


Рис. 8. Изучение размера и морфологии наночастиц ZnO: а – СЭМ изображения частиц ZnO, синтезированных из $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$; б – гистограмма ДПС для дисперсии ZnO, полученных из ZnCl_2

Fig. 8. Study of the size and morphology of ZnO nanoparticles: а – SEM images of ZnO particles synthesized from $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$; б – DLS histogram for ZnO dispersion obtained from ZnCl_2

Микрокапсулы на основе β-циклодекстрина для использования в текстильной промышленности

В настоящее время мы пошли дальше, синтезируя микрочастицы с косметическим наполнением из возобновляемых ресурсов, таких как циклодекстрины (CD), что приводит к получению экологически чистых материалов и материалов биологического происхождения. CD представляют собой расщепляемые из крахмала макроциклические олигосахариды, обладающие различными размерами полостей, низкой токсично-

стью и определенной гидрофильностью. α-, β- и γ-ЦД состоят из шести, семи или восьми звеньев α-D-глюкозы, связанных α-1,4-гликозидными связями соответственно. Молекулы CD представляют собой конические цилиндры, центр у таких «колец» гидрофобный, а наружная часть молекулы – гидрофильная.

Самая важная характеристика циклодекстринов – способность включать различные молекулы или их части в гидрофобную полость, образование комплексов включения приводит к появлению новых физико-химических и биологических свойств. Для формирования комплекса включения молекулы гостя должны иметь размер и форму, которая позволит им хотя бы частично размещаться в полости CD.

Рассмотрена возможность синтеза и прочного закрепления на целлюлозном волокне при внедрении ионов серебра в полость β-циклодекстрина биоактивных Ag-содержащих препаратов с частицами нанометрового размера. В исследовании использовали готовый препарат на основе наносеребра, производство которого описывалось в работах [46–48].

Анализ спектров препаратов серебра (рис. 9) в растворе в присутствии CD показал, что характеристические полосы поглощения серебра как в УФ-, так и в видимой областях приобретают гиперхромный сдвиг, что говорит об увеличении количества частиц наносеребра в зоне поглощения. При соотношении серебро-HPβCD (серебро-гидроксипролин-β-циклодекстрин) 1:4 оптическая плотность раствора ниже, чем при соотношении серебро-HPβCD 1:1, что связано с образованием в первом случае более сложного комплекса, включающего гидролизованные молекулы циклодекстрина и частицы серебра [49].

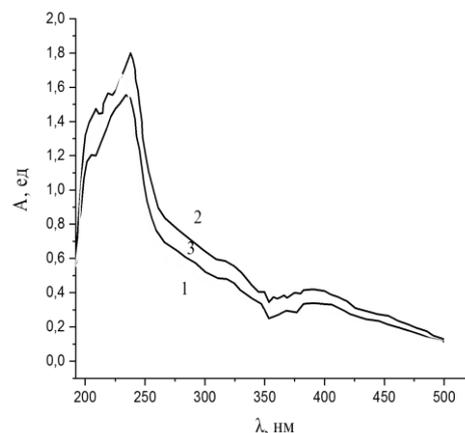


Рис. 9. Спектры поглощения растворов: 1 – серебра; 2 – серебро-HPβCD 1:1; 3 – серебро-HPβCD 1:4
Fig. 9. Solution absorption spectra: 1 – silver; 2 – silver-HPβCD 1:1; 3 – silver-HPβCD 1:4

Комплексная оценка антибактериальных свойств льняного и хлопчатобумажного текстильных материалов, обработанных растворами серебра с β CD и HP β CD до и после стирки, доказывает эффективность иммобилизации частиц серебра на целлюлозосодержащих материалах. При этом закрепление препарата на льняном волокне будет более прочным, поскольку наличие гидроксильных групп β CD вокруг частицы серебра способствует процессу сорбции комплекса на поверхности льна, включающего не только целлюлозную составляющую, но и такие вещества как лигнин, пектины и гемицеллюлозы [50-52].

Обработанные текстильные материалы проявляют высокую антимикробную активность по отношению к грамположительным и грамотрицательным группам бактерий, а также патогенным микрогрибкам группы кандиды. Достигнутый эффект сохраняется при испытании образцов к мокрым обработкам. При этом антибактериальная активность модифицированных льняных материалов выше, по сравнению с хлопчатобумажными тканями. Максимальное значение зоны задержки роста бактерий вокруг образца составило 5,8 мм для раствора серебро+ β CD.

Применение фторированного алюмосиликата в отделке

Показана полифункциональность действия фторированного алюмосиликата (ФТАС) в процессах текстильной химии. Благодаря наличию ограниченно растворимой фракции фторида алюминия, распределенной в структуре нерастворимых окислов алюминия и кремния, ФТАС является «депо» для хранения AlF_3 и высвобождает его постепенно при определенных условиях (время, температура). Это дает возможность эффективно использовать препарат для модификации свойств в заключительной отделке, в которых востребованы гидрофобность мелкодисперсной фракции порошков в сочетании с каталитической активностью фторида алюминия [52, 53].

Диаграмма (рис. 10) отражает эффект введения ФТАС в композиции для водостойкой отделки текстильных материалов технического назначения.

Присутствие фторированного алюмосиликата в рабочем растворе заметно увеличивает водостойкость тканей. При этом лучшие показатели ожидаемо достигнуты с применением препаратов, на основе метилольных производных различных соединений, содержащие длинные алкильные цепочки углеводородных, в нашем случае, фторуглеводородных групп, так как в этом случае ФТАС

является не только гидрофобизатором, но и катализатором образования на волокне водостойкой полимерной пленки.

Разработанные технологии успешно внедряются на отделочных фабриках Ивановского региона.

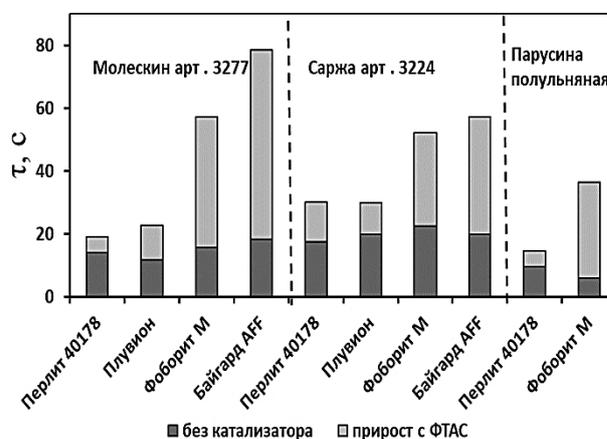


Рис. 10. Влияние ФТАС на увеличение показателя водостойкости текстильных материалов

Fig 10. The effect of FTAS on the increase in the water resistance index textile materials

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FZZW-2023-0008).

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

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

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FZZW-2023-0008).

The study was carried out using the resources of the Center for the Collective Use of Scientific Equipment of the ISUCT (with the support of the Ministry of Education and Science of Russia, agreement No. 075-15-2021-671).

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

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. **Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 11. С. 98-103.
Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2022. V. 65. N 11. P. 98-103 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.6654.

2. Мельников Б.Н., Пророков Н.И., Осминин Е.А. Новые химические материалы для отделки тканей. Ярославль: Верх.-Волж. кн. изд-во. 1967. 96 с. Melnikov B.N., Prorokov N.I., Osminin E.A. New chemical materials for finishing fabrics. Yaroslavl': Verkh.-Volzh. kn. izd-vo. 1967. 96 p. (in Russian).
3. Мельников Б.Н., Блиничева И.Б., Виноградова Г.И. Прогресс текстильной химии. М.: Легпромбытиздат. 1988. 240 с. Melnikov B.N., Blichicheva I.B., Vinogradova G.I. Progress in textile chemistry. M.: Legprombytizdat. 1988. 240 p. (in Russian). DOI: 10.25291/VR/1988-VR-240.
4. Морыганов П.В., Мельников Б.Н., Кудрявцев С.И., Овчинникова Р.С. // *Изв. вузов. Технол. текстил. пром.* 1960. Вып. 2. С. 91-96. Moryganov P.V., Melnikov B.N., Kudryatsev S.I., Ovchinnikova R.S. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 1960. N 2. P. 91-96 (in Russian).
5. Мельников Б.Н., Морыганов П.В. // *Пром.-эконом. бюлл.* 1961. Вып. 4. С. 10-12. Melnikov B.N., Moryganov P.V. // *Prom.-ekonom. Byull.* 1961. N 4. P. 10-12 (in Russian). DOI: 10.1017/S0084255900002825.
6. Леонова Н.А., Шкробышева В.И., Мельников Б.Н., Смирнова О.К. // *Изв. вузов. Технология текстил. пром.* 2005. Вып. 5. С. 37 - 41. Leonova N.A., Shkrobysheva V.I., Melnikov B.N., Smirnova O.K. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 2005. N 5. P. 37 - 41 (in Russian).
7. Одинцова О.И., Смирнова О.К., Козлова О.И., Мельников Б.Н. // *Изв. вузов. Технол. текстил. пром.* 1992. Вып. 4. С. 49-51. Odintsova O.I., Smirnova O.K., Kozlova O.I., Melnikov B.N. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 1992. N 4. P. 49-51 (in Russian).
8. Козлова О.В., Смирнова О.К., Мельников Б.Н. // *Изв. вузов. Технол. текстил. пром.* 1995. Вып. 6. С. 45-47. Kozlova O.V., Smirnova O.K., Melnikov B.N. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 1995. N 6. P. 45-47 (in Russian).
9. Одинцова О.И., Козлова О.В., Смирнова О.К., Мельников Б.Н. // *Изв. вузов. Технол. текстил. пром.-сти.* 1998. Вып. 1. С. 45-47. Odintsova O.I., Kozlova O.V., Smirnova O.K., Melnikov B.N. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 1998. N 1. P. 45-47 (in Russian).
10. Одинцова О.И., Козлова О.В., Леонова Н.А., Смирнова О.К., Мельников Б.Н. // *Текстил. химия.* 2004. Вып. 1. С. 91-96. Odintsova O.I., Kozlova O.V., Leonova N.A., Smirnova O.K., Melnikov B.N. // *Tekstil. Khim.* 2004. N 1. P. 91-96 (in Russian).
11. Surov O.V., Voronova M.I., Rubleva N.V., Zakharov A.G., Afineevskii A.V. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 2. С. 10-18. Surov O.V., Voronova M.I., Rubleva N.V., Zakharov A.G., Afineevskii A.V. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 2. P. 10-18 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216402.6207.
12. Евдокимов И.А., Хайруллин Р.Р., Перфилов С.А., Поздняков А.А., Ломакин Р.Л., Пахомов И.В., Кульницкий Б.А., Сухоруков Д.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 12. С. 37-43. Evdokimov I.A., Khairullin R.R., Perfilov S.A., Pozdnyakov A.A., Lomakin R.L., Pakhomov I.V., Kulnitsky B.A., Sukhorukov D.V. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 12. P. 37-43 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206312.3y.
13. Taratanov N.A., Syrбу S.A. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 12. С. 76-83. Taratanov N.A., Syrбу S.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 12. P. 76-83 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216412.6395.
14. Долиннина Е. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 8. С. 55-61. Dolinina E. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 8. P. 55-61 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6671.
15. Петрова Л.С., Яминзода З.А., Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Соловьева А.А., Смирнова А.С. // *Росс. хим. журн.* 2021. Т. 65. Вып. 2. С. 67-82. Petrova L.S., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Solov'eva A.A., Smirnova A.S. // *Ross. Khim. Zhurn.* 2021. V. 65. N 2. P. 67-82 (in Russian). DOI: 10.6060/rj.2021652.6.
16. Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И., Малышева К.А. // *Химия растит. сырья.* 2015. Вып. 1. С. 15-27. Kuzmenko V.A., Odintsova O.I., Rusanova A.I., Malysheva K.A. // *Khim. Rastit. Syr'ya.* 2015. N 1. P. 15-27 (in Russian). DOI: 10.14258/jcprm.201501234.
17. Киселев А.М., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Румянцева В.Е. // *Изв. вузов. Технология текстил. промышл.* 2022. Вып. 2. (398). С. 121-133. Kiselev A.M., Rumyantsev E.V., Odintsova O.I., Rumyantseva V.E. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 2022. N 2. (398). P. 121-133 (in Russian). DOI: 10.47367/0021-3497_2022_2_121.
18. Sodatdinova A.S., Usacheva T.R., Safarmamadzoda S.M. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 8. С. 22-31. Sodatdinova A.S., Usacheva T.R., Safarmamadzoda S.M. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N P. 22-31 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6645.
19. Дмитриева А. Д., Кузьменко В.А., Одинцова (Петрова) Л.С., Одинцова О.И. // *Изв. вузов. Химия и химическая технология.* 2015. Т. 58. Вып. 8. С. 67-70. Dmitrieva A.D., Kuzmenko V.A., Odintsova (Petrova) L.S., Odintsova O.I. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2015. V. 58. N 8. P. 67-70 (in Russian).
20. Петрова Л.С., Малышева К.А., Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л. // *Наука и техн. прогресс в современ. общ.* 2016. Вып. 2. С. 98-101. Petrova L.S., Malysheva K.A., Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L. // *Nauka Tekhn. Progress Sovremen. Obshch.* 2016. N 2. P. 98-101 (in Russian).
21. Петрова Л.С., Липина А.А., Зайцева А.О., Одинцова О.И. // *Изв. вузов. Технология текстил. промышл.* 2018. Вып. 6 (378). С. 81-85. Petrova L.S., Lipina A.A., Zaitseva A.O., Odintsova O.I. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 2018. N 6 (378). P. 81-85 (in Russian).
22. Одинцова О.И., Антонова А.С., Козлова О.В. // *Вестн. технол. ун-та Таджикистана.* 2019. Вып. 2 (37). С. 19-22. Odintsova O.I., Antonova A.S., Kozlova O.V. // *Vestn. Tekhnol. Un-ta Tadjhikistana.* 2019. N 2 (37). P. 19-22 (in Russian).
23. Одинцова О.И., Кузьменко В.А., Русанова А.И. // *Журн. Прикл. Химии.* 2014. Т. 87. Вып. 9. С. 1194-1201. Odintsova O.I., Kuzmenko V.A., Rusanova A.I. // *Zhurn. Prikl. Khim.* 2014. V. 87. N 9. P. 1194-1201 (in Russian).
24. Одинцова О.И., Липина А.А. // *Журн. "От химии к технологии шаг за шагом".* 2022. Т. 3. Вып. 1. С. 58-49. Odintsova O.I., Lipina A.A. // *Zhurn. "Ot Khimii k Tekhnologii Shag za Shagom".* 2022. V. 3. N 1. P. 58-49 (in Russian).
25. Соотц Ю.Н., Яминзода З.А., Одинцова О.И., Липина А.А., Петрова Л.С. // *Журн. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX).* 2022. Вып. 1. С. 310-313. Sootts

- Yu.N., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I., Lipina A.A., Petrova L.S.** // *Zhurn. Fizika Voloknistykh Mater.: Struktura, Svoystva, Naukoymkiye Tekhnol. Mater. (SMARTEX)*. 2022. N 1. P. 310-313 (in Russian).
26. **Липина А.А., Одинцова О.И., Антонова А.С., Носкова Ю.В.** // *Изв. вузов. Технология Текстиль. Промышл.* 2019. Вып. 5 (383). С. 130-135. **Lipina A.A., Odintsova O.I., Antonova A.S., Noskova Yu.V.** // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2019. N 5 (383). P. 130-135 (in Russian).
 27. **Одинцова О.И., Прохорова А.А., Владимирцева Е.Л., Петрова Л.С.** // *Изв. вузов. Технология Текстиль. Промышл.* 2017. Вып. 1 (367). С. 332-336. **Odintsova O.I., Prokhorova A.A., Vladimirtseva E.L., Petrova L.S.** // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2017. N 1 (367). P. 332-336 (in Russian).
 28. **Одинцова О.И., Прохорова (Липина) А.А.** // Журн. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2017. Вып. 1. С. 18-23. **Odintsova O.I., Prokhorova (Lipina) A.A.** // *Zhurn. Fizika Voloknistykh Mater.: Struktura, Svoystva, Naukoymkiye Tekhnol. Mater. (SMARTEX)*. 2017. N 1. P. 18-23 (in Russian).
 29. **Липина А.А., Авакова Е.О., Одинцова О.И.** // Журн. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы «SMARTEX». 2018. Вып. 2. С. 37-40. **Lipina A.A., Avakova E.O., Odintsova O.I.** // *Zhurn. Fizika Voloknistykh Mater.: Struktura, Svoystva, Naukoymkiye Tekhnol. Mater. (SMARTEX)*. 2018. N 2. P. 37-40 (in Russian).
 30. **Липина А.А., Ханин С.Н., Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Авакова Е.О.** // *Рос. хим. ж.* 2018. Т. 62. Вып. 3. С. 23-28. **Lipina A.A., Khanin S.N., Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Avakova E.O.** // *Ross. Khim. Zhurn.* 2018. V. 62. N 3. P. 23-28 (in Russian).
 31. **Lipina A.A., Hsachin S.N., Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Avakova E.A.** // *Russ. J. Gen. Chem.* 2020. V. 90. N 3. P. 1781-1786. DOI: 10.1134/S1070363220090315.
 32. **Липина А.А., Есина О.А., Смирнова А.С., Одинцова О.И.** // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы*. 2019. Вып. 2. С. 110-113. **Lipina A.A., Esina O.A., Smirnova A.S., Odintsova O.I.** // *Fizika Fibrous Mater.: Structure, Properties, Naukoymkiye Tekhnol. Mater.* 2019. N 2. P. 110-113 (in Russian).
 33. **Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2014. Т. 57. Вып. 6. С. 102-104. **Kuzmenko V.A., Odintsova O.I., Rusanova A.I.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2014. V. 57. N 6. P. 102-104 (in Russian).
 34. **Королев С.В., Липина А.А., Чернова Е.Н., Королев Д.С.** // *Изв. вузов. Технология текстиль. промышлен.* 2019. Вып. 6 (384). С. 186-192. **Korolev S.V., Lipina A.A., Chernova E.N., Korolev D.S.** // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2019. N 6 (384). P. 186-192 (in Russian).
 35. **Одинцова О.И., Петрова Л.С., Козлова О.В.** // *Изв. вузов. Технология Текстиль. промышлен.* 2018. Вып. 4 (376). С. 85-89. **Odintsova O.I., Petrova L.S., Kozlova O.V.** // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2018. N 4 (376). P. 85-89 (in Russian).
 36. **Липина А.А., Петрова Л.С., Одинцова О.И., Козлова О.В., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В., Ильичева М.Д.** // *Изв. вузов. Химия и хим. Технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 97-104. **Lipina A.A., Petrova L.S., Odintsova O.I., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Il'icheva M.D.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 97-104 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.
 37. **Usacheva T.R., Batov D.V., Petrova L.S., Vladimirtseva E.L., Odintsova O.I.** // *J. Molec. Liq.* 2022. V. 359. P. 6. DOI: 10.1016/j.molliq.2022.119286.
 38. **Одинцова О.И., Румянцев Е.В., Смирнова А.С., Румянцева В.Е.** // *Изв. вузов. Технология текстиль. промышлен.* 2021. Вып. 1 (391). С. 60-65. **Odintsova O.I., Romyantsev E.V., Smirnova A.S., Romyantseva V.E.** // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2021. N 1 (391). P. 60-65 (in Russian). DOI: 10.47367/0021-3497_2021_1_60.
 39. **Petrova L.S., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Lipina A.A., Odintsova O.I.** // *Coatings*. 2021. V. 159. N 11. P. 159. DOI: 10.3390/coatings11020159.
 40. **Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Трегубов А.В., Ильичева М.Д.** // *Изв. вузов. Технология текстиль. промышлен.* 2022. Вып. 5 (401). С. 5-18. **Erzunov K.A., Odintsova O.I., Tregubov A.V., Il'icheva M.D.** // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2022. N 5 (401). P. 5-18 (in Russian). DOI: 10.47367/0021-3497_2022_5_5.
 41. **Одинцова О.И., Козлова О.В., Гарасько Е.В.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2013. Т. 56. Вып. 4. С. 89-93. **Odintsova O.I., Kozlova O.V., Garas'ko E.V.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2013. V. 56. N 4. P. 89-93 (in Russian).
 42. **Козлова О.В.** Растворы в химии и технологии модифицирования полимерных материалов: новое в теории и практике. Межмолекулярные взаимодействия в водных растворах синтетических полиэлектролитов, красителей и ПАВ. Иваново: ОАО «Изд-во «Иваново». 2014. С. 298-330. **Kozlova O.V.** Solutions in chemistry and technology of modification of polymeric materials: new in theory and practice. Intermolecular interactions in aqueous solutions of synthetic polyelectrolytes, dyes and surfactants. Ivanovo: ОАО «Izd-vo «Ivanovo». 2014. P. 298-330 (in Russian).
 43. **Трегубов А.В., Ерзунов К.А., Алехина А.Ф., Петрова Л.С., Одинцова О.И.** // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2021. Вып. 1. С. 340-344. **Tregubov A.V., Erzunov K.A., Alekhina A.F., Petrova L.S., Odintsova O.I.** // *Zhurn. Fizika Voloknistykh Mater.: Struktura, Svoystva, Naukoymkiye tekhnol. Mater. (SMARTEX)*. 2021. N. 1. P. 340-344 (in Russian). DOI: 10.47367/2413-6514_2021_1_340.
 44. **Смирнова К.В., Шутов Д.А., Иванов А.Н., Манукян А.С., Рыбкин В.В.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 7. С. 28-34. **Smirnova K.V., Shutov D.A., Ivanov A.N., Manukyan A.S., Rybkin V.V.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 7. P. 28-34 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226507.6629.
 45. **Одинцова О.И.** // «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX). 2018. Вып. 1. С. 66-68. **Odintsova O.I.** // *Zhurn. Fizika Voloknistykh Mater.: Struktura, Svoystva, Naukoymkiye Tekhnol. Mater. (SMARTEX)*. 2018. N 1. P. 66-68 (in Russian).
 46. **Петрова Л.С., Яминзода З.А., Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Соловьева А.А., Смирнова А.С.** // *Рос. хим. журн.* 2021. Т. 65. Вып. 2. С. 67-82. **Petrova L.S., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Solovieva A.A., Smirnova A.S.** // *Ross. Khim. Zhurn.* 2021. V. 65. N 2. P. 67-82 (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2021652.6.

47. Соловьева А.А., Асхабова З.А., Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л. // *Вестн. молод. Уч. СПбГУТД*. 2021. Вып. 3. С. 87-91. Solovieva A.A., Askhabova Z.A., Petrova L.S., Vladimirtseva E.L. // *Vestn. Molod. Uch. SPbGUTD*. 2021. N 3. P. 87-91 (in Russian).
48. Асхабова З.А., Токарева А.А., Владимирцева Е.Л., Одинцова О.И., Усачева Т.Р., Куранова Н.Н. // *Пробл. науки. Химия, хим. технология и экология*. 2022. С. 231-236. Askhabova Z.A., Tokareva A.A., Vladimirtseva E.L., Odintsova O.I., Usacheva T.R., Kuranova N.N. // *Prob. Nauki. Khim., Khim. Tekhnol. Ecolog.* 2022. P. 231-236 (in Russian).
49. Асхабова З.А., Токарева А.А., Владимирцева Е.Л. // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2022. Вып. 1. С. 73-75. Askhabova Z.A., Tokareva A.A., Vladimirtseva E.L. // *Zhurn. Fizika Voloknistykh Mater.: Struktura, Svoystva, Naukoyemkiye Tekhnologii Mater. (SMARTEX)*. 2022. N 1. P. 73-75 (in Russian).
50. Токарева А.А., Асхабова З.А., Владимирцева Е.Л. // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2022. Вып. 1. С. 328-331. Tokareva A.A., Askhabova Z.A., Vladimirtseva E.L. // *Zhurn. Fizika Voloknistykh Mater.: Struktura, Svoystva, Naukoyemkiye Tekhnol. Mater. (SMARTEX)*. 2022. N 1. P. 328-331 (in Russian).
51. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Блиничева И.Б. // *Изв. вузов. Технология текстил. промышл.* 2008. Вып. 3(308). С. 62-65. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Blinicheva I.B. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 2008. N 3(308). P. 62-65 (in Russian).
52. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Блиничева И.Б. // *Изв. вузов. Технология текстил. промышл.* 2008. Вып. 4 (309). С. 59-61. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Blinicheva I.B. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ser. Teknol. Tekstil. Prom.* 2008. N 4 (309). P. 59-61 (in Russian).
53. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Тимофеева С.В. // *Росс. хим. журн.* 2014. Т. 58. Вып. 2 С. 59-67. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Timofeeva S.V. // *Ross. Khim. Zhurn.* 2014. V. 58. N 2. P. 59-67 (in Russian).

Поступила в редакцию 15.03.2023

Принята к опубликованию 24.03.2023

Received 15.03.2023

Accepted 24.03.2023