

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТОВ С АНТИМИКРОБНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН И НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В ПРИСУТСТВИИ ПРИРОДНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ И ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ

Н.С. Дымникова¹, Е.В. Ерохина¹, О.Ю. Кузнецов²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, ул. Академическая, д. 1, г. Иваново, Россия, 153045

E-mail: nsd@isc-ras.ru

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации», г. Иваново

Применением методов спектрофотометрии, фотонной корреляционной спектроскопии изучены особенности синтеза стабильных наночастиц серебра в присутствии восстановителей, различающихся своей восстановительной способностью. Методом сканирующей электронной спектроскопии определён элементный состав синтезированных образцов.

Исследована антимикробная активность синтезированных серебросодержащих золей и модифицированных ими текстильных материалов в отношении клинических штаммов и установлена ее зависимость от условий восстановления. Показана эффективность применения синтезируемых золей при защите целлюлозных тканей от агрессивного действия естественного комплекса микрофлоры и почвенной микрофлоры.

Ключевые слова: наночастицы серебра, восстановители, целлюлозные и синтетические волокна, антимикробная и антигрибковая активность

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITIES OF OBTAINING COMPOSITES WITH ANTIMICROBIAL PROPERTIES BASED ON CELLULOSE AND SYNTHETIC FIBERS AND SILVER NANOPARTICLES IN THE PRESENCE OF NATURAL STABILIZERS AND REDUCING AGENTS

N.S. Dymnikova¹, E.V. Erohina¹, O.Yu. Kusnetsov²

¹Federal Government Institution of Sciences G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian academy of Sciences, Akademicheskaya St., 1. Ivanovo, Russia, 153045

E-mail: nsd@isc-ras.ru

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo State Medical Academy" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Ivanovo

Using the methods of spectrophotometry and photon correlation spectroscopy, the features of the synthesis of stable silver nanoparticles in the presence of reducing agents differing in their reducing ability have been studied. The elemental composition of the synthesized samples was determined by scanning electron spectroscopy.

The antimicrobial activity of synthesized silver-containing sols and textile materials modified by them in relation to clinical strains has been studied and its dependence on recovery conditions has been established. The effectiveness of the use of synthesized sols in protecting cellulose tissues from the aggressive action of the natural complex of microflora and soil microflora is shown.

Key words: silver nanoparticles, reducing agents, cellulose and synthetic fibers, antimicrobial and antifungal activity

Для цитирования:

Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю. Обоснование возможностей получения композитов с антимикробными свойствами на основе целлюлозных и синтетических волокон и наночастиц серебра в присутствии природных стабилизаторов и восстановителей. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. LXVIII. № 2. С. 3–12. DOI: 10.6060/R CJ.2024682.1.

For citation:

Dymnikova N.S., Erohina E.V., Kusnetsov O.Yu. Substantiation of the possibilities of obtaining composites with antimicrobial properties based on cellulose and synthetic fibers and silver nanoparticles in the presence of natural stabilizers and reducing agents. *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 2. P. 3–12. DOI: 10.6060/R CJ.2024682.1.

ВВЕДЕНИЕ

Текстильные материалы на основе натуральных и синтетических волокон вследствие высокой сорбционной способности и разнообразного компонентного состава подвержены биодеструкции при эксплуатации в различных климатических зонах, особенно с влажным теплым климатом или в условиях длительного контакта с микробными культурами (МК). Наличие системы пор, капилляров, межволоконных промежутков в структуре тканей и способность биологических объектов видоизменяться в процессе контакта с субстратом, приспособиваясь к нему, определяют эффективное протекание сорбционных процессов. Адсорбция МК, их закрепление, рост на поверхности или в объеме вызывают изменение свойств контактирующих с ними материалов и самой биохимической системы [1–3].

Характерной чертой всех биодеструкторов является существование их в виде популяций, т.е. совокупности особей одного вида, ограниченных определенным пространством. Наиболее активные биологические сообщества формируются в почве, от природы и химических особенностей которой зависит их видовой состав. При этом для всех типов почв характерно наличие грибов рода *Penicillium*, *Aspergillus* и бактерий *Bacillus mycooides*, *Bacillus megaterium* [4]. Состав МК в атмосферном воздухе зависит от их содержания в почве и воде, от времени года и метеорологических условий.

В этой связи, следует особо подчеркнуть, что возникновение МК (эпифитной микрофлоры) является следствием эволюционного развития этих организмов в результате многочисленных адаптаций к условиям существования, что делает их наиболее опасными биоразрушителями.

Ранее проведенным исследованием были выявлены возможности разрушения льна индивидуальными микробными культурами, выделенными с поверхности биоповрежденного льняного целлюлозного волокна и идентифицированными как *Penicillium* sp., штаммы 105, 96 и *Bacillus* sp.,

штамм 25 и их искусственно создаваемой ассоциацией [5].

Известно, что наиболее приемлемыми для практической реализации являются способы защиты, основанные на введении в текстильные материалы биоцидных препаратов [6, 7]. Механизмы воздействия их на микробные культуры различны: ингибирование энергетического обмена, функционирования мембран, синтеза белка, обмена нуклеиновых кислот, синтеза пептидогликанов клеточной стенки микроорганизмов и т.д. Однако наблюдаемое в настоящее время расширение мировых объемов применения материалов с биоэффектами способствует адаптации микробных культур к неблагоприятным факторам, росту и распространению резистентных микроорганизмов (МО), устойчивых к действию биоцидов. При этом, постоянное повышение требований к экологичности, безопасности и аллергенности антимикробных препаратов ограничивает применение многих эффективных реагентов, поскольку рост их экологической безопасности, как правило, сопровождается снижением биологической активности. Поэтому не прекращается поиск принципиально новых антимикробных агентов, обладающих широким спектром воздействия на МК, но при этом относительно безопасных для человека. Одним из качественно новых и перспективных направлений является получение стабильных ультрадисперсных частиц металлов (НЧ), которые, по мнению ряда исследователей, могут обладать аномально высокой биологической активностью [8, 9].

Высказываются предположения, что высокоселективное воздействие на биологические культуры обеспечивается, прежде всего, изменением поверхности и морфологии НЧ. Это показывает, что следует учитывать зависимость свойств наноразмерных объектов от природы стабилизаторов, обеспечивающих наночастицам агрегативную устойчивость. На наш взгляд, перспективы в достижении высокой биологической активности синтезируемых наночастиц металлов связаны с получением НЧ малых размеров и поиском полимеров-

стабилизаторов, обеспечивающих синергический эффект увеличения биоактивности НЧ [10].

Целью данного этапа работы явилась оценка биологической активности наночастиц серебра, различающихся условиями получения, а именно, природой восстановителя и стабилизирующей оболочкой.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Наночастицы серебра синтезировали в открытой ячейке при температуре $(20...80) \pm 0,5$ °С при pH 8...12. В водный раствор, содержащий нитрат серебра ($0,6 \cdot 10^{-2}$ М) и стабилизатор, вводили при постоянном перемешивании раствор восстановителя. В случае, когда восстановитель выполнял функции и стабилизатора, нитрат серебра вводили в раствор восстановителя. Синтезированные золи хранили в закрытых колбах.

Процесс формирования высокодисперсных частиц контролировали визуально по изменению окраски растворов, их агрегативной устойчивости, а также спектрофотометрически.

Оптические спектры поглощения Ag-гидрозолей регистрировали в области 300-500 нм на спектрофотометре СФ-56 фирмы Ломо - спектр (С.-Пб) в кварцевой кювете, длина оптического слоя – 1 см.

Распределение частиц металла по размерам в растворе оценивали методом динамического рассеяния света на приборе «Zetasizer nano ZS» фирмы «Malvern».

Оценку антибактериальной активности синтезированных золей серебра проводили методом диффузии в агар на твердой среде. На подготовленный бактериальный газон, засеянный соответствующими тест-культурами, помещали золь с НЧ серебра. Чашки Петри в течение суток выдерживали

в термостате при температуре 37 ± 2 °С. Для количественной оценки степени воздействия биоцидов измеряли зону ингибирования роста тест-культур вокруг лунок в мм.

Культивирование естественного комплекса микрофлоры обеспечивали выдерживанием исследуемых образцов в термостате ТС-80 при $29 \pm 0,2$ °С и влажности 98-100 % в течение 14 сут.

Биодеструкцию текстильных материалов после выдерживания их в почвенной микрофлоре в течение 10 сут. оценивали визуально - по изменению их внешнего вида, и количественно - по снижению прочностных показателей и изменению коэффициента устойчивости к микробиологическому разрушению (П). Последний вычисляли по формуле:

$$П (\%) = P_T * 100 / P_0,$$

где

P_T – разрывная нагрузка материала, промытого после контакта с почвой, высушенного на воздухе и кондиционированного, Н;

P_0 – разрывная нагрузка исходного материала, промытого, высушенного на воздухе и кондиционированного, Н.

Согласно ГОСТ 9,060 ткань считается устойчивой к микробиологическому разрушению, если $П \geq 80 \pm 5\%$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Динамику синтеза НЧ_{Ag}, оценивали на основании анализа спектров поглощения растворов с НЧ_{Ag}, полученных в присутствии восстановителей различной восстановительной способности. В таблице 1 приведены экспериментально подобранные условия синтеза и количественные характеристики спектральных данных, спектры представлены на рис. 1.

Таблица 1

Условия синтеза наночастиц серебра и данные спектрофотометрических исследований

№	Восстановитель/ концентрация, г\л	Стабилизатор/ концентрация, г\л	Температура синтеза, °С	pH	λ_{max} , нм	Размеры НЧ _{Ag} , нм
1	Аскорбиновая кислота, 50	Желатин, 0,5	80	12	404-406	22-95
2	Борогидрид натрия, 0,5	Желатин, 0,5	23-25	8	402-405	6-34
3	Глюкоза, 50	Желатин, 0,5	80	12	395-397	40-45
4	Крахмал, 30	-	80	11	395-397	70
5	Экстракт конопляного волокна, 50%	-	90	8-9	420-425	3-28

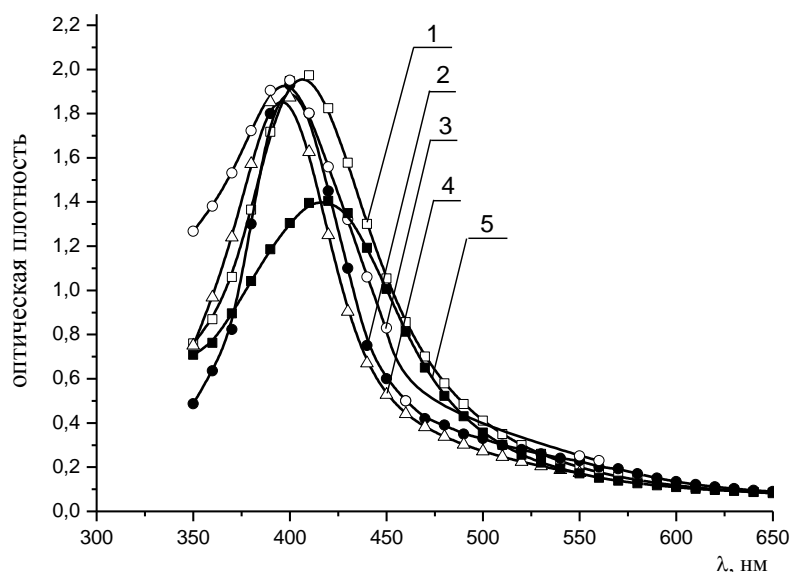


Рис. 1. Спектры поглощения наночастиц серебра, синтезированных в присутствии 1(□) – аскорбиновой кислоты и желатина; 2(●) – боргидрида натрия и желатина; 3(○) – глюкозы и желатина; 4(Δ) – крахмала; 5(■) – экстракта, выделенного из конопляного волокна

Все представленные на рис. 1 спектрограммы являются типичными спектрами поглощения водных растворов высокодисперсного серебра. Максимумы полос поглощения наночастиц (λ_{max}) находятся в интервале 395 – 425 нм, что согласуется с известными из литературы данными о положении экстремума для НЧ_{Ag} [11, 12]. Анализируя представленные данные можно сделать вывод, что все исследуемые природные восстановители переводят ионы серебра в нуль-валентные частицы. Образующиеся наночастицы способны существовать продолжительное время. Как видно из рис. 2–6 практически полное совпадение спектральных кривых 1 и 2 свидетельствует об агрегативной устойчивости НЧ_{Ag}.

Методом сканирующей электронной спектроскопии на сканирующем электронном микро-

скопе Quattro S с системой энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS Thermo Fisher Scientific) для микроскопа Quattro S определен элементный состав синтезированных образцов. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Согласно данным энергодисперсионного рентгеновского спектра процентное содержание серебра в полученных коллоидных растворах составляет 0,7-1,7 масс.%. Наибольшее содержание наночастиц серебра в золе, который получен в присутствии сильного восстановителя (образец № 2).

Методом полуконтактной атомно-силовой микроскопии (АСМ) получены данные о морфологии целлюлозной пленки с покрытиями синтезированных частиц серебра ($0,6 \cdot 10^{-2}$ М) в присутствии разных восстановителей (см. рис. в табл. 3).

Таблица 2

Результаты энергодисперсионного рентгеновского исследования

№	Стабилизатор/ восстановитель	Содержание, %			6
		Ag	C	O	
1	2	3	4	5	6
1	Желатин/ аскорбиновая кислота	1,5	32,4	52,3	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
2	Желатин/ боргидрид натрия	1,7	31,0	54,1	
3	Желатин/ глюкоза	1	29,3	55,4	
4	крахмал	1,6	36,9	61,1	
5	экстракт коноп- ляного волокна	0,7	38,4	62,3	

Как видно из табл. 3, более равномерное распределение частиц серебра по поверхности наблюдается при синтезе в присутствии боргидрида и глюкозы. Поверхность в этих случаях ровная, небугристая. Самое неравномерное распределение на пленке, обработанной золем серебра, полученным в экстракте конопляного волокна. Очевидно, это связано с присутствием в экстракте мелких фрагментов примесей волокна и пыли.

Зависимость антимикробной активности синтезированных золей от условий восстановления и, соответственно, размера образующихся частиц проводили на основании микробиологических исследований по зонам задержки роста тест-культур. В качестве последних использовали суточные тест-культуры микроорганизмов – кишечной палочки

Escherichia coli M-17 (грамотрицательная культура) и золотистого стафилококка *Staphylococcus aureus* 6538-P ATCC=209-P FDA (грамположительная культура).

Фотографии образцов, характеризующие количество микроорганизмов, сохраняющих свою жизнедеятельность вблизи лунки, заполненной препаратом, являются наглядным подтверждением воздействия реагентов на микробиологические культуры (фото в табл. 4).

Ореолы вокруг образцов, различные по диаметру и интенсивности окраски, - зоны ингибирования, определяющие пространство вокруг испытуемого образца, в котором микроорганизмы уничтожаются или замедляют рост. Увеличение диаметра зоны вокруг образцов является доказательством более высокой эффективности препарата.

Таблица 3

Фото целлюлозной пленки с покрытиями синтезированных частиц серебра

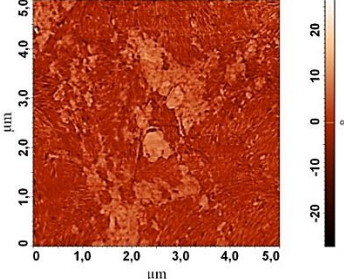
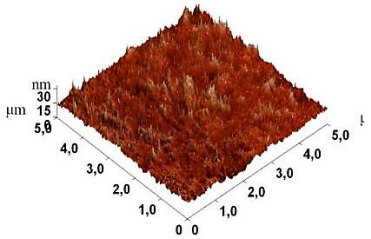
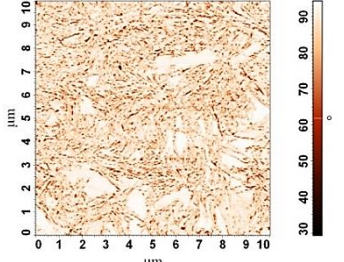
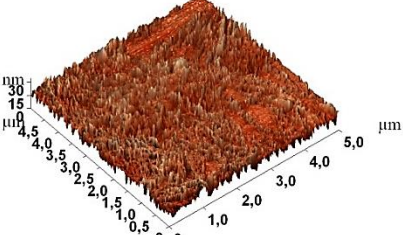
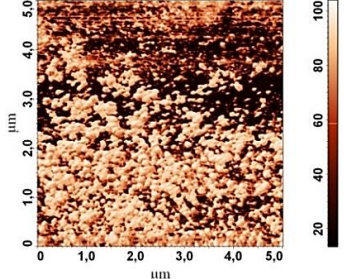
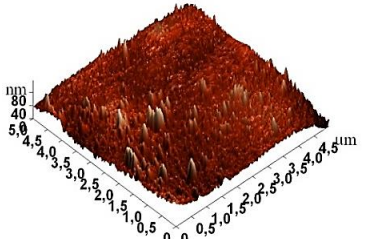
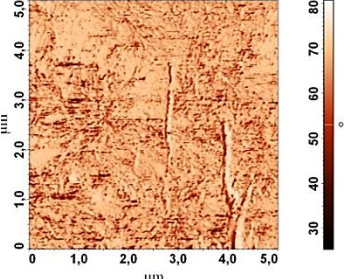
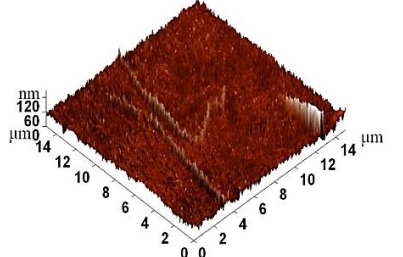
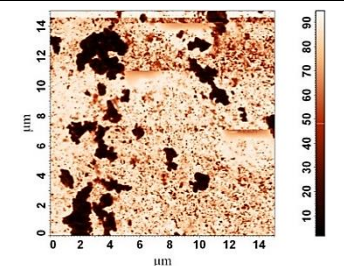
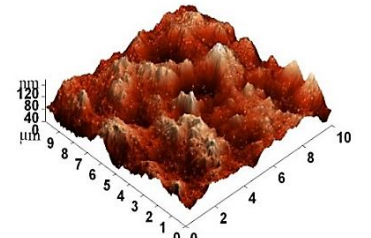
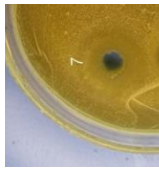
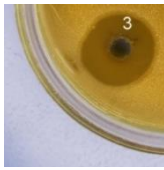
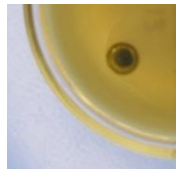
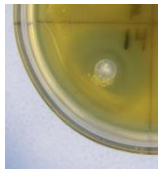
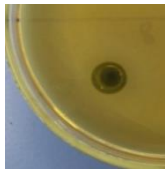
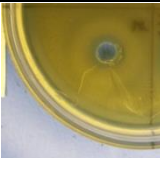
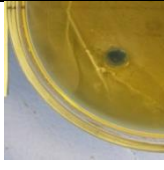
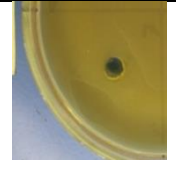
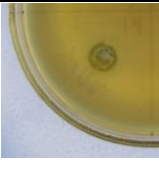

Восстановитель	Фазовое представление	3 D представление
Аскорбиновая кислота		
Боргидрид натрия		
Крахмал		
Глюкоза		
Экстракт конопляного волокна		

Таблица 4

Зависимость антимикробной активности синтезированных золей от природы восстановителя

Тест-культура	Восстановитель				
	Аскорбиновая кислота	Борогидрид натрия	Глюкоза	Крахмал	Экстракт конопляного волокна
Staphylococcus aureus					
Escherichia coli					

Представленные фото наглядно подтверждают зависимость антимикробной активности от прекурсоров восстановительной системы. Так наиболее активно подавляют рост микробных культур наночастицы, синтезированные в присутствии сильного восстановителя - борогидрида натрия. Меньшую активность проявляют золи, синтезированные глюкозой, аскорбиновой кислотой и в экстракте конопляного волокна. Лишь бактериостатическая активность у растворов, в которых в качестве восстановителя и стабилизатора использовали крахмал.

На следующем этапе работы оценивали влияние синтезированных различными способами наночастиц серебра, иммобилизованных на текстильном материале, на биодеструкцию целлюлозных материалов почвенной микрофлорой и естественным комплексом микрофлоры (сообщество микроорганизмов, развивающихся на растительных волокнах в процессе их роста, а также сорбирующихся на текстильных материалах в процессе их обработки и хранения). Огромное влияние влажности окружающей среды на развитие МК связано как с необходимостью использования влаги микроорганизмами в процессе их жизнедеятельности, так и с активированием диффузионных процессов в целлюлозных материалах. Приводятся сведения, что при увеличении влагосодержания хлопковых волокон от 10 до 50% его микробная обсемененность возрастает более чем в 6 тыс. раз - от 1,4 млн. до 9000 млн. кл./г волокна [13, 14]. Разрушение материалов под действием почвенной микрофлоры определяли в соответствии с ГОСТ 9,060.

Индикацией биодеструкции являются внешне видимые изменения материалов: появление скопления окрашенных спор, мицелия, пятен,

запаха, повреждение или даже разрушение их структуры. Окраска пятен, располагающихся вдоль волокон неравномерными участками, может значительно различаться, и обусловлена цветом пигмента, вырабатываемого микробными культурами, или реакцией продуктов их жизнедеятельности с красителями [14]. Пигментация в большей степени обусловлена развитием грибов, особенно плесневых, и лишь иногда «пятнистость» в местах повреждения волокон вызвана бактериями, например, термофильными анаэробными (светло-желтые участки). Пятна, появляющиеся на волокнистом материале в процессе жизнедеятельности МК, трудно устранимы и не исчезают после промывки или действия химических реагентов. Повреждение текстильных материалов грибами обычно сопровождается сильным затхлым запахом или более неприятным запахом гнили при воздействии бактериальных культур.

Считается, однако, что визуальная оценка неадекватно отражает деструктирующее действие МК. Поэтому процесс биодеструкции тканей оценивали не только визуально - по изменению их внешнего вида, но и количественно - по снижению прочностных показателей и изменению коэффициента устойчивости к микробиологическому разрушению (П),

Фото полученных образцов представлены в табл. 5. Согласно представленным данным, наиболее значительные различия между необработанными и биозащищенными материалами наблюдаются после их контакта с почвенной микрофлорой. Нарушение целостности структуры необработанной ткани свидетельствует о полной потере ее эксплуатационных и эстетических свойств. Ткани,

необработанные препаратами, разрушаются практически полностью и их разрывные нагрузки снижаются на 100% после их контакта с почвенной микрофлорой, а после выдерживания в боксе – на 90%, что и подтверждает известный факт [15, с. 179].









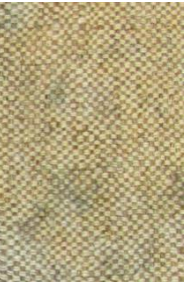



Модификация золем серебра, полученным с сильным восстановителем боргидридом натрия, повысила биозащищенность текстильного материала в аналогичных условиях контакта и с почвенной микрофлорой, и с естественным комплексом микрофлоры. Коэффициент устойчивости к биодеградации для этих образцов составляет 90–95%, что значительно превосходит требуемый показатель ГОСТа (не менее 80%). Образцы, модифицированные золями, синтезированными в присутствии остальных восстановителей, претерпевают незначительные внешние изменения, но прочност-

ные показатели образцов после контакта с почвенной микрофлорой несколько уступают требованиям ГОСТа.

Текстильные материалы на основе синтетических волокон относятся к биологически не разрушаемому, что создает проблемы при утилизации использованных изделий. Вместе с тем, результаты теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о повреждаемости и этих видов волокон. Выявлены виды и штаммы МК, обладающие наибольшей жизнеспособностью на химических волокнах и наибольшей активностью их повреждения. Более того, даже устойчивые к биодеградации материалы могут оказаться источником энергии и питания МК, отличающихся разнообразием ферментных систем и адаптацией к изменяющимся условиям [14].

Таблица 5

Изменение внешнего вида и прочности на разрыв ткани брезент после культивирования естественного комплекса микрофлоры и после контакта с почвенной микрофлорой

Без обработки	Восстановитель ионов серебра				Экстракт конопляного волокна
	Боргидрид натрия	Глюкоза	Крахмал	Аскорбиновая кислота	
после культивирования естественного комплекса микрофлоры					
					
П,% 10	95	90	86	84	85
после контакта с почвенной микрофлорой					
					
П,% 0	90	84	78	77	79

На данном этапе работы для иммобилизации препаратов с наночастицами серебра использовали:

- ткань на основе полиэфирных волокон арт. 56341 (ПЭФ – 100%);
- ткань на основе полиамидных волокон арт. 8482-05 (ПА – 100%);
- трикотажное полотно: 13% - полиэфир и 87% - хлопок;
- трикотажное полотно: 33% - полиэфир и 67% - хлопок.

На подготовленный бактериальный газон, засеянный соответствующими тест-культурами, помещали кусочки текстильных материалов размером 10×10 мм, обработанных препаратами с НЧ серебра. В качестве контроля использовали исходные необработанные материалы.

Культуру дрожжеподобного гриба *Candida albicans* засеивали методом «газона» и после подсыхания поверхности чашки методом аппликации с соблюдением условий асептики наносили на поверхность среды образцы тканей. Оценку результатов выполняли на 5-7 день (*Candida albicans* – на следующий день) после того как грибковая культура давала хороший рост и начинала образовывать характерный пигмент для тест-культур грибов. Для количественной оценки степени воздействия биоцидов, содержащихся в текстильных материалах измеряли зону ингибирования роста грибов вокруг образцов в мм.

Данные, приведенные в табл. 6, убедительно свидетельствуют об активном воздействии текстильных материалов, обработанных биоцидами, на культуру дрожжеподобного гриба *Candida albicans*. Независимо от волокнистого состава, максимальное ингибирующее действие оказывают смешанные и синтетические материалы с иммобилизованными НЧ_{Ag}, при содержании их на материале 0,40 % масс. Наблюдаемое незначительное уменьшение зон лизиса в ряду 1Тр > 2Тр >

> ПА > ПЭФ, по-видимому, обусловлено уменьшением сорбционной способности синтетических материалов и меньшим абсолютным количеством препаратов в их структуре [16].

Анализируя представленные результаты можно сделать вывод, что регулированием процессов синтеза нанообъектов можно в значительной степени изменять антимикробную активность препаратов серебра и обеспечивать эффективную защиту целлюлозных текстильных материалов от биоразрушения.

Таблица 6

Антимикробная активность смесовых тканей

Вид ткани	Зона ингибирования роста грибов вокруг образцов в мм при содержании НЧ _{Ag} на материале, % масс.			
	0	0,07	0,25	0,40
ПА – 100%	0	1-2	2-3	4-5
ПЭФ – 100%	0	1-2	2-3	3-4
полиэфир – 33% хлопок – 67%	0	1-2	3-4	5-6
полиэфир – 13% хлопок – 87%	0	2-3	4-5	6-7

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (в ЕГИСУ НИОКТР: 122040500050-5) с использованием приборной базы ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов С.А., Гумаргалиева К.З., Заиков Г.Е. Биоповреждения материалов и изделий техники. // Горение, деструкция и стабилизация полимеров / Под ред. Г.Е. Заикова. – СПб.: Научные основы и технологии. 2008. С. 73-99.
2. Одинова О.И., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Смирнова С.В., Литина А.А., Петрова Л.С., Ерзунов К.А., Константинова З.А., Зимнуров А.Р., Быков Ф.А., Мельников А.Г. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66. № 7. С. 173–184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
3. Lansdown A.B. J. Wound Care. 2002. V. 11. N 4. P. 125–130. DOI: 10.12968/jowc.2002.11.4.26389.
4. Khor S.Y., Jegathesan M. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 1983. V. 14. N 2. P. 199–203.

REFERENCES

1. Semenov S.A., Gumargaliyeva K.Z., Zaikov G.E. Biodamage to materials and technical products. // Combustion, destruction and stabilization of polymers / Ed. G.E. Zaikov. - St. Petersburg: Scientific foundations and technologies. 2008. P. 73-99.
2. 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. Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2023. V. 66. N 7. P. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
3. Lansdown A.B. J. Wound Care. 2002. V. 11. N 4. P. 125–130. DOI: 10.12968/jowc.2002.11.4.26389.

5. Семенов С.А., Гумаргалиева К.З., Заиков Г.Е. Вестник МИТХТ. 2007. Т. 2. № 6. С. 3–26.
6. Киселева А. Ю., Шушина И. А., Козлова О. В., Телегин Ф. Ю. Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2011. Т. 12. № 2. С. 110–112.
7. Windler L., Height M., Nowack B. Environment international. 2013. V. 53. P. 62–73. DOI: 10.1016/j.envint.2012.12.010.
8. Серебро в медицине, биологии и технике / Отв. ред. канд. хим. наук П. П. Родионов – Новосибирск: Вектор-Бест, 1996. – 224 с.
9. Таранов Л.И., Филиппова И.А. Серебряная вода. - М.; Спб.: Издат. Дилия, 2002. - 157 с.
10. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П. Российский химический журнал. 2019. Т. LXIII. № 2. С. 45–51.
11. Ершов Б.Г. Российский химический журнал. 2001. Т. XLV. № 3. С. 20–30.
12. Низамов Т.Р., Евстафьев И.В., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. Коллоидный журнал. 2014. Т. 76. № 4. С. 513–518.
13. Калонтаров И.Я., Ливерант И.В. Придание текстильным материалам биоцидных свойств и устойчивости к микроорганизмам. - Душанбе: Изд-во «Дониш», 1981. - 198 с.
14. Пехташева Е. Л. Биоповреждения непродовольственных товаров : учебник / Е. Л. Пехташева ; под ред. проф. А. Н. Неверова. - 4е изд., стер. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2022. - 330 с. - ISBN 978-5-394-03760-3.
15. Справочник по химической обработке льняных тканей /Под ред. Э.Р. Шелковской. - М.: Легкая индустрия, 1973. - 406 с.
16. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П. Российский химический журнал. 2022. Т. 66. № 4. С. 6-13. DOI: 10.6060/rcj.2022664.1.
4. Khor S.Y., Jegathesan M. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 1983. V. 14. N 2. P. 199–203.
5. Semenov S.A., Gumargaliyeva K.Z., Zaikov G.E. Bulletin of MITHT. 2007. V. 2. N 6. P. 3–26.
6. Kiseleva A. Yu., Shushina I. A., Kozlova O. V., Telegin F. Yu. News of higher educational institutions. Technology of light industry. 2011. V. 12, N 2. P. 110–112.
7. Windler L., Height M., Nowack B. Environment international. 2013. V. 53. P. 62–73. DOI: 10.1016/j.envint.2012.12.010.
8. Silver in medicine, biology and engineering / Ed. Cand. of Chemical Sciences P. P. Rodionov – Novosibirsk: Vector-Best, 1996. – 224 p.
9. Taranov L. I., Filippova I. A. Silver water. - M.; St. Petersburg: Izd. Dilya, 2002. - 157 p.
10. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. Russian chemical journal. 2019. T. LXIII, no. 2. pp. 45-51. DOI: 10.6060/rcj.2019632.8.
11. Ershov B.G. Ross. chem. and. 2001. T. XLV. N 3. P. 20–30.
12. Nizamov T.R., Evstafiev I.V., Olenin A.Yu., Lisichkin G.V. Colloid Journal. 2014. V. 76. N 4. P. 513–518.
13. Kalontarov I.Ya., Liverant I.V. Imparting biocidal properties and resistance to microorganisms to textile materials. - Dushanbe: Donish Publishing House, 1981. - 198 p.
14. Pekhtasheva E.L. Biodamage to non-food products: textbook / E.L. Pekhtasheva; edited by prof. A.N. Neverov. - 4th ed., reprinted - Moscow: Dashkov i K ° Publishing and Trading Corporation, 2022. - 330 p. - ISBN 978-5-394-03760-3.
15. Handbook of chemical treatment of linen fabrics / Ed. E.R. Shelkovskaya. - M.: Legkaya industriya, 1973. - 406 p.
16. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. Ros. Khim. Zh. 2022. V. 66. N 4. P. 6-13. DOI: 10.6060/rcj.2022664.1.

Поступила в редакцию 08.02.2024
Принята к опубликованию 18.04.2024

Received 08.02.2024
Accepted 18.04.2024