

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Л. С. Петрова, З. А. Яминзода, О. И. Одинцова,  
Е. Л. Владимирцева, А. А. Соловьёва, А. С. Смирнова**

*ЛЮДМИЛА СЕРГЕЕВНА ПЕТРОВА – к.т.н., ассистент преподавателя кафедры химической технологии волокнистых материалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет». E-mail: milafck@gmail.com.*

*ЗАРРИНА АКРАМОВНА ЯМИНЗОДА – к.т.н., декан Совместного факультета Полоцкого государственного университета (Белоруссия) и Технологического университета Таджикистана (Таджикистан). E-mail: zyaminova@inbox.ru.*

*ОЛЬГА ИВАНОВНА ОДИНЦОВА – д.т.н., заведующий кафедрой химической технологии волокнистых материалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет». E-mail: odolga@yandex.ru.*

*ЕЛЕНА ЛЬВОВНА ВЛАДИМИРЦЕВА – к.т.н., доцент кафедры химической технологии волокнистых материалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет». E-mail: elvladimirtseva@mail.ru.*

*АННА АЛЕКСЕЕВНА СОЛОВЬЕВА – магистрант 1 года обучения кафедры химической технологии волокнистых материалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет». E-mail: mironova.anna05@mail.ru.*

*АНАСТАСИЯ СЕРГЕЕВНА СМИРНОВА – магистрант 1 года обучения кафедры химической технологии волокнистых материалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»; E-mail: nastyassasmirnova0@gmail.com.*

*734061, Таджикистан, Душанбе, ул. Н.Карабаева, 63/3. Кафедра текстильных изделий, Технологический университет Таджикистана.*

*153000, г. Иваново, пр. Щереметевский, д. 7. Кафедра химической технологии волокнистых материалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет».*

*Представлена обзорная статья, содержащая сведения о вариантах, возможностях и перспективах развития антибактериальной отделки текстильных материалов. Рассматривается широкий ассортимент препаратов, предназначенных для придания текстильным материалам антибактериальных, антимикробных и противовирусных свойств. Представлены основные факторы, определяющие соответствующее решение по технологическому и функциональному выбору защитной композиции: природа волокнообразующего полимера, задачи, которые должен решать готовый материал и варианты его эксплуатации. Описаны композиции, обеспечивающие требуемый эффект уничтожения патогенной флоры, технологии их использования. Особое внимание уделено антимикробным агентам на основе наночастиц серебра. Наночастицы этого металла оказывают губительное действие на антибиотикорезистентные штаммы бактерий, эффективность от их использования выше, чем у ряда известных антибиотиков, например пенициллина и его аналогов. Наночастицы серебра безвредны для организма человека. Действуя как ингибитор, они ограничивают активность фермента, ответственного за потребление кислорода одноклеточными бактериями, вирусами и грибами. При этом ионы серебра связываются с наружными*

и внутренними белками бактериальных клеточных мембран, блокируя клеточное дыхание и размножение. Рассматриваются варианты применения для реализации антибактериальной отделки методов микрокапсулирования: разделение фаз, суспензионное шивание, простая и сложная коацервация, сушка распылением, кристаллизация из расплава, испарение растворителя, коэкструзия, наложение слоев, напыление в псевдосжиженном слое, осаждение, эмульсионная и межфазная полимеризация, электростатическая самосборка «Layer-by-layer» и пр. Все представленные технологии находятся на различных стадиях разработки – от лаборатории, до производственных испытаний, обладают определенными достоинствами и недостатками. Ускоренное развитие и внедрение описанных методов в производство текстильных материалов является актуальным и обусловлено сложившейся в настоящий момент сложной эпидемиологической ситуацией в мире.

**Ключевые слова:** антибактериальность, наночастицы, ионы серебра, микрокапсулирование, полиэлектролиты.

## PROMISING METHODS OF ANTIBACTERIAL FINISHING OF TEXTILE MATERIALS

L. S. Petrova<sup>1</sup>, Z. A. Yaminzoda<sup>2</sup>, O. I. Odintsova<sup>1</sup>, E. L. Vladimirtseva<sup>1</sup>,  
A. A. Solovyova<sup>1</sup>, A. S. Smirnova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemical Technology, Sheremetevsky pr., 7, Ivanovo, Russian Federation, 153000

<sup>2</sup>Department of Textiles, Technological University of Tajikistan, st. N. Karabaeva, 63/3, Dushanbe, Tajikistan, 734061.

*An overview article is presented containing information about the options, possibilities and prospects for the development of antibacterial finishing of textile materials. A wide range of drugs designed to impart antibacterial, antimicrobial and antiviral properties to textile materials is considered. The main factors that determine the appropriate decision on the technological and functional choice of the protective composition are presented: the nature of the fiber-forming polymer, the tasks that the finished material must solve and the options for its operation. Compositions providing the required effect of destruction of pathogenic flora, technologies of their use are described. Particular attention is paid to antimicrobial agents based on silver nanoparticles. Nanoparticles of this metal have a detrimental effect on antibiotic-resistant strains of bacteria, the effectiveness of their use is higher than that of a number of known antibiotics, for example, penicillin and its analogues. Silver nanoparticles are harmless to the human body. Acting as an inhibitor, they limit the activity of the enzyme that responsible for oxygen consumption by single-cell bacteria, viruses and fungi. In this case, silver ions bind to the outer and inner proteins of bacterial cell membranes, blocking cell respiration and reproduction. Variants of application for the implementation of antibacterial finishing of microencapsulation methods are considered: phase separation, suspension crosslinking, simple and complex coacervation, spray drying, crystallization from a melt, solvent evaporation, coextrusion, layering, spraying in a fluidized bed, deposition, self-emulsion polymerization and interphase deposition. “Layer-by-layer”, etc. All presented technologies are at various stages of development – from laboratory to production testing, have certain advantages and disadvantages. The accelerated development and implementation of the described methods in the production of textile materials is relevant and is due to the current complex epidemiological situation in the world.*

**Key words:** antibacteriability, nanoparticles, silver ions, microencapsulation, polyelectrolytes.

## Современное состояние и перспективы развития антибактериальной отделки текстильных материалов

Текстильные материалы, обладающие способностью противостоять болезнетворным и гнилостным бактериям, обеспечивающие защиту от вирусов и микробов давно завоевали прочное положение на мировом рынке. При этом существует два взаимосвязанных, но принципиально разных направления развития противодействия микроорганизмам: первое – предохранение самих материалов от их деструктирующего действия и второе – защита человека от патогенной микрофлоры [1]. Второе направление приобретает особое значение в связи с общемировой пандемией вызванной коронавирусом SARS-CoV-2. Возникает необходимость создания совершенно новых антибактериальных и антигрибковых волокнистых материалов, а также изделий из них, необходимых не только для использования в быту, но и для применения в медицинских целях. В настоящей статье представлены данные о вариантах, возможностях и перспективах развития антибактериальной отделки текстильных материалов.

Действию микроорганизмов подвержены волокнистые материалы любой химической природы, как химические, так и натуральные. Они могут использоваться бактериями и грибами как для питания – это явление носит название ассимиляция, так и повреждаться (деструктировать) под действием метаболитов микроорганизмов.

При этом натуральные волокна в силу своей гидрофильности, менее устойчивы к действию микроорганизмов [2]. Фибриллярная структура, аморфно-кристаллическое строение, присутствие в аморфных областях гидратной влаги способствуют распространению микробов, ферменты которых вызывают гидролиз полимерных связей в волокнообразующих полимерах. В связи с этим, наиболее беззащитными перед атакой гнилостных бактерий оказываются изделия из шерстяного и хлопкового волокон. Шелк, лен, джут и кенаф, благодаря своеобразному строению и наличию примесей, в какой-то мере более стойкие, тем не менее, их протекторные свойства не могут сравниться с защищенностью синтетического волокна. Развитию жизнедеятельности организмов на волокнах, сформированных из химического сырья, мешает плотность и ориентированность полимерных компонентов, высокая степень кристалличности волокна, отсутствие гидратной и капиллярно связанной влаги. В результате рост микробов на синтетическом материале резко замедляется [3].

Проявление биоповреждений на волокнистых субстратах сопровождается рядом изменений,

большинство из которых легко отмечается визуально и органолептически. Это наличие разноцветных пятен, колористические параметры которых будут зависеть от вида и цвета вырабатываемого грибами пигмента, специфический запах. Возможно явное разрушение волокна, что особенно характерно для шерстяных материалов. Инструментально фиксируется изменение прочностных характеристик: снижение прочности на разрыв, разрывного удлинения, стойкости к истиранию. В некоторых случаях отмечается изменение массы.

Взаимодействие патогенных бактерий с волокнообразующими полимерами происходит в несколько стадий:

- 1) присоединение микроорганизма к волокну;
- 2) рост и размножение;
- 3) повреждение волокна.

Вторая стадия в какой-то момент запускает третью, и они протекают уже одновременно.

Эффективность закрепления микроорганизмов на волокне и скорость их размножения зависит от природы волокнообразующего субстрата, его химического состава, физико-химических и структурных характеристик, гидрофобности, а внешних факторов, таких как атмосферная влажность, температура, время контакта патогенна с волокном.

Отсюда следует вывод, что текстильные материалы не только являются питательной средой для микроорганизмов, но и могут быть активными носителями вирусов и бактерий. Есть сведения, что патогенные организмы сохраняются на постельном белье, одежде, повязках, личных вещах до 24 часов. Причем при всей невосприимчивости синтетических волокон к размножению микроорганизмов, они сохраняются на синтетике дольше, чем на хлопке, льне или шерсти. После промывки текстильных материалов в холодной воде, вирусы сохраняют свою активность и практически в неповрежденном состоянии обнаруживаются в промывных водах. Обычные поверхностно-активные вещества смывают их с ткани, но не уничтожают. Холодная стирка не гарантирует полное удаление патогена из волокна, кроме того, существует возможность перенесения его на незараженный материал. Перекрестный обмен вирусами и бактериями возможен при стирках постельного белья в больницах, санаториях, домах престарелых и может приводить к внутрибольничным эпидемиям и другим негативным процессам [4].

Одним из наиболее заметных для человека побочных эффектов размножения бактерий является появление неприятного запаха. Это явление обусловлено выделением при переработке ими кожных загрязнений и пота таких специфически пахнущих веществ, как карбоновая кислота,

различные амины и альдегиды. В качестве примера можно привести грамположительную бактерию *Staphylococcus aureus*, которая при размножении производит 3-метил-2-гексановую кислоту, вызывающую характерный запах тела.

Специфический запах детских подгузников появляется при взаимодействии с мочевиной грамотрицательных бактерий *Proteus vulgaris*, вследствие которого образуется аммиак.

Исключить негативное действие можно путем использования соответствующих препаратов, способных замедлить или полностью остановить рост бактерий. Эффективность таких препаратов зависит от целого ряда факторов, и в первую очередь от их влияния на внешнюю клеточную стенку микроорганизмов: микробов, бактерий или грибов. По действию на целостность клеток микроорганизмов антимикробные и противовирусные препараты разделяются на два класса:

- бактерицидные, уничтожающие микроорганизмы;
- бактериостатичные, ингибирующие рост клеток микроорганизмов [5, 6].

Независимо от варианта действия противомикробная отделка текстильных материалов не должна снижать их прочностные характеристики и формоустойчивость, ухудшать гриф, долгое время сохранять свою эффективность в процессе эксплуатации и быть экологически безопасной [7].

Способы придания волокнистым материалам противовирусных, антимикробных, и антибактериальных свойств подразделяются на физические, физико-химические и химические. При этом химические традиционно чаще используются и считаются наиболее результативными.

Принято считать, что наибольшая защита от патогенной флоры обеспечивается антимикробными препаратами, скрепленными с волокном достаточно слабыми связями: ионной, координационной или лабильной ковалентной. Если связь будет более прочной (ковалентная), антимикробный эффект снижается или вообще исчезает [8].

Одним из стандартных вариантов создания материалов с защитой от вирусов и бактерий является внедрение активного вещества в структуру волокнообразующего полимера на стадии формирования волокна. Несомненным достоинством этого способа является устойчивость полученного эффекта к внешним воздействиям. Основным недостатком – сложность и дороговизна производства такого волокна, а также невозможность применения его для тканей из натуральных волокон [9].

Поэтому в условиях производства для получения материала с антимикробными свойствами чаще используют способ нанесения защитных

препаратов на ткань или волокно методом пропитки. Такой вариант может быть осуществлен на различных стадиях текстильного отделочного производства, но наиболее удачно реализуется в процессе заключительной отделки [10]. Этот способ технологически несложен и менее затратен, чем предыдущий, но устойчивость такой отделки сравнительно невелика.

Из физических способов получения антибактериальных материалов в последнее время все большую популярность приобретает металлизация поверхности текстильных материалов. Преимуществом процесса является отсутствие сточных вод, но он длителен по времени и требует сложного и дорогостоящего оборудования [11, 12].

### Препараты для придания текстильным материалам антибактериальности

В настоящее время существует широкий ассортимент препаратов, предназначенных для придания текстильным материалам антибактериальных, антимикробных и противовирусных свойств. Выбор композиции определяется природой волокнообразующего полимера, задачами, которые должен решать готовый материал и вариантами его эксплуатации [13].

Важнейшими требованиями к отделочным композициям при этом являются:

- убийное действия активного вещества даже в минимальной концентрации на большинство патогенных микроорганизмов;
- длительное сохранение эффективности в процессе эксплуатации;
- отсутствие вредного влияния на организм человека;
- сохранение качественных показателей (прочности, гигроскопичности, мягкости и пр.) текстильного материала после отделки [14].

В зависимости от структуры и химической природы биоцидных препаратов различается механизм их влияния на патогенную флору. Это может быть угнетение метаболических процессов микроорганизмов или прекращение синтеза нуклеиновых кислот и белка, что не даст им размножаться. Возможно воздействие на клеточном уровне – повреждение или ингибирование синтеза клеточной стенки, угнетение функций клеточной мембраны, перераспределяющей внутриклеточный и внеклеточный поток веществ [15, 16]. Для бактерицидной обработки материалов из шерсти, хлопка, полиэфира и нейлона применяются алкилтриметиламмоний бромид (соль четвертичного аммония), который повреждает клеточные мембраны микроорганизмов и ингибирует ДНК-продукцию. За счет по-

ложительно заряда на катионе азота, соединение является активным и фиксируется на отрицательно заряженном волокне посредством ионных связей [17].

Против ряда грамотрицательных и грамположительных бактерий, а также вирусов и некоторых грибов для обработки волокна используются линейные алкиламмониевые соединения, содержащие алкильные цепи из 12–18 атомов углерода. Присутствие в молекулах перфторированной группы, число аммониевых групп, а также длина алкильной цепочки влияет на эффективность действия препарата в процессе эксплуатации [18]. В качестве примера могут быть представлены композиции BioGuard (выпущены AEGIS Microshield) и Sanigard KC и Sanitized (выпущены LN ChemicalIndustries). Основным недостатком отделки этими соединениями – низкая устойчивость к мокрым обработкам.

Другая группа антимикробных препаратов имеет в своей основе 2,4,4'-трихлор-2'-гидроксифениловогоэфир (торговое название – метронидазол). Это вещество проявляет антибактериальную активность по отношению ко всем видам бактерий, а также к некоторым вирусам и грибам [19, 20]. Механизм его действия заключается в разрушении клеточных мембран при блокировке биосинтеза фосфолипидов, липополисахаридов и липопротеинов [21].

На его основе выпущен ряд препаратов (BIOFRESH (США), Irgaguard компании BASF и пр.) для обработки синтетических и искусственных волокон. Композиции применяются как для введения в волокно на стадии формования, так и для пропитки тканей [22].

Однако при использовании метронидазола возникает ряд проблем, одна из которых обусловлена его частым использованием в зубных пастах, кремах, дезодорантах, лекарствах. Такое широкое распространение вещества и постоянный контакт с ним потребителей способствует появлению резистентных штаммов бактерий [23]. Важным недостатком этого соединения является фотохимическое превращение метронидазола в водных растворах в токсичный 2,8-дихлордibenzo-*n*-диоксин [24, 25].

В некоторых случаях для придания антибактериальных свойств текстильным материалам применяют полиэлектролиты – природные или синтетические, наиболее часто хитозан и полигуанидин. Хитозан является природным полимером, который добывается из экзоскелета ракообразных путем деацетилирования хитина. Хитозан обладает гидрофильными свойствами, нетоксичен и биосовместим, поэтому успешно используется при отдел-

ки тканей из хлопка, шерсти и полиэфира [26–28]. Положительно заряженные первичные аминогруппы хитозана взаимодействуют с отрицательными зарядами на поверхности микробов. Антибактериальная эффективность при этом определяется степенью полимеризации и деацетилирования полимера, его молекулярной массой, рН среды. При увеличении плотности положительного заряда в полимерной цепи хитозана при комплексообразовании с ионами двухвалентных металлов – меди, цинка, железа можно получить для отделки текстиля композицию с высокой биоцидностью [28, 29]. Основным недостатком, сдерживающим применение хитозана в процессах отделки, является его требовательность к среде и температурному режиму, так как при повышении температуры может изменяться его вязкость и молекулярный вес, а антибактериальная эффективность сохраняется в крайне узком интервале рН – 6,3–6,5.

Полигексаметиленгуанидин (ПГМГ) относится к поликатионным аминам (полиалкиленгуанидинам). В основном эти полиэлектролиты применяются в качестве биоцидного дезинфектанта в основном в форме его солей фосфорной или соляной кислот. Обеззараживающее действие их основано на утечке цитоплазматических материалов при разрушении мембран микробных клеток [30, 31]. Созданию отделочных препаратов на основе ПГМГ посвящен ряд работ зарубежных ученых [30]. Фактором, сдерживающим широкое применение данного соединения, является избирательность действия на определенные виды микроорганизмов, и толерантность к другим классам патогенов [32].

При применении в отделке текстильных материалов биоцидное действие на широкий спектр микроорганизмов оказывают *n*-галамины. Эти вещества представляют гетероциклические органические соединения, содержащие в составе одну или две ковалентные связи между азотом и галогеном. Галогеном при этом могут быть хлор, бром или йод [33, 34]. Разрушение микроорганизмов в этом случае связывают с взаимодействием катионов хлора с акцепторными частями микроорганизмов, происходящем в водной среде при электрофильном замещении атомов галогена на атомы водорода [33, 17]. Недостатком использования препаратов является возможное снижение прочностных характеристик обработанных материалов и резкий запах, появляющийся при избыточном количестве на волокне хлора [33, 34].

В отличие от синтетических препаратов, натуральные, получаемые из трав и растений, лишены таких недостатков. К ним относятся вещества на основе терпиноидов [35, 36], лектинов и полипептидов

[37, 38], флавоноидов [39–41], хинонов [42, 43], дубильных веществ [44, 45], кумаринов [46–48]. Они безопасны, легкодоступны, нетоксичны при использовании человеком, не имеют отрицательного влияния на экологию. К природным соединениям, обладающим защитными свойствами можно отнести также аминокислоты и пептиды [49, 50]. Существует ряд теорий [46, 49–53], разъясняющих механизм действия натуральных веществ в качестве антимикробных агентов, однако все они в настоящий момент носят гипотетический характер.

В качестве антимикробных пептидов, проявляющих высокую бактериальную активность по отношению к грамположительным микроорганизмам, изучены вещества, такие как плектазин, [49, 50, 54], или, например, L-цистеин, применяемый для антибактериальной отделки шерстяных волокнистых материалов [55].

Исследована биоцидная активность металлов: меди, серебра, кобальта, цинка, их оксидов и солей. Окислительный стресс под действием металлов и их соединений вызывает повреждение клеточных белков, липидов и ДНК патогенных микроорганизмов. Кроме того, ионы металлов могут связываться с некоторыми донорскими лигандами (O, N, S) и заменять исходные металлы в биомолекулах, что ведет к гибели клетки [56, 57].

Традиционно для антибактериальной отделки применяются препараты на основе серебра. Текстильные материалы, обработанные с применением серебросодержащих композиций, успешно используются для предотвращения внутрибольничных инфекций; серебро обладает специфическими свойствами, положительно влияющими на иммунную защиту человеческого организма. Изделия с такой отделкой гипоаллергенны и могут благоприятно воздействовать на людей, страдающих кожными заболеваниями.

На российских предприятиях для бактерицидной отделки целлюлозосодержащих тканей чаще всего используется «линейка» препаратов торговой марки Санитайзед: препарат на основе четвертичного соединения кремния – Санитайзед Т99-19, на основе хлорида серебра – Санитайзед Т25-25 и на основе триклозана – Санитайзед Т96-21. Наилучшими протекторными свойствами обладает Санитайзед Т99-19, деструктивно действующий на клеточную структуру патогенных микроорганизмов. Этот препарат образует с молекулами целлюлозы прочную химическую (ковалентную) связь, формируя на поверхности волокна сетчатую структуру, предотвращающую проникновение враждебной для человека микрофлоры [58].

Кроме Санитайзеда в условиях отделочного производства используются композиции фир-

ме RUDOLF GROUP под торговыми названиями RUCO-BAC CID, RUCO-BAC MED. Основу их составляют препараты на основе триалзола, солей серебра, смеси четвертичных аммониевых соединений, производных дифенилалкана.

Следует констатировать, что в настоящее время на российских предприятиях для бактерицидной отделки применяется в основном продукция иностранных фирм. Основным недостатком таких препаратов является их высокая стоимость.

### **Антимикробные агенты на основе наночастиц серебра и технологии их использования**

Современной тенденцией в получении текстильных материалов с антибактериальной отделкой является применение гидрозолей серебра [59, 60]. Наночастицы этого металла оказывают губительное действие на антибиотикорезистентные штаммы бактерий, эффективность от их использования выше, чем у ряда известных антибиотиков, например пенициллина и его аналогов [61]. Серебро проявляет значимое фунгицидное действие даже при минимальных (0,1 мг/л) концентрациях. При прочих равных условиях, ему уступают препараты на основе сильных окислителей и, в первую очередь, соединений хлора (хлорная известь, гипохлорид натрия и пр.) [62]. Таким образом, наноконпозиции серебра имеют весомые преимущества перед другими антибактериальными и противомикробными средствами.

В работах российских и зарубежных ученых большое внимание уделяется созданию наноразмерных антимикробных препаратов на основе наночастиц серебра ( $\text{НЧ}_{\text{Ag}}$ ) и разработке технологий биоцидной отделки текстильных материалов с их использованием [63–67].

В настоящий момент эффективность наносеребра в борьбе с патогенными микроорганизмами не вызывает сомнений. Наночастицы серебра безвредны для организма человека. Действуя как ингибитор, они ограничивают активность фермента, ответственного за потребление кислорода одноклеточными бактериями, вирусами и грибами. При этом ионы серебра связываются с наружными и внутренними белками бактериальных клеточных мембран, блокируя клеточное дыхание и размножение [68].

Авторами работы [69] показана возможность синтеза  $\text{НЧ}_{\text{Ag}}$  посредством восстановления его солей в экстрактах лубяных волокон.

На основании исследования влияние количественного выхода примесей в экстракт на эффективность формирования наночастиц размером 4–50 нм разработан препарат «Нанотекс».

Синтезированные золи серебра могут успешно применяться для придания антимикробной активности материалам разного вида (нетканым и тканым) как из натурального, так и из синтетического волокна. Антимикробная активность материалов фиксируется даже при минимальном содержании в них наночастиц (0,07 % масс), а устойчивость к микробиологическому разрушению до 90–96 % сохраняется после длительного (10–14 дней) контакта нанокомпозитов с почвенной микрофлорой. Разработанный способ включает несколько стадий и является экологически безопасным.

При производстве комплектов обмундирования и профессиональной одежды и обуви из натуральных материалов (кожи) сотрудников военно-промышленных и нефтегазовых комплексов качестве биоцидного агента применяются композиции с наночастицами серебра, стабилизированными олеиновой кислотой. Эти препараты проявляют ярко выраженный микробицидный эффект по отношению к колониям бактерий *Escherichiacoli* и *Bacillus subtilis* [70].

Другим вариантом стабилизации нанокомпозитов на основе  $\text{НЧ}_{\text{Ag}}$  являются катионные полиэлектролиты, отличающиеся степенью полимеризации и плотностью заряда по длине полимерной цепи. Считается, что они способствуют повышению антимикробной активности серебросодержащих препаратов. В любом случае, применение катионных полиэлектролитов в определенной концентрации [69] повышает сродство композиции к целлюлозному волокну, что закрепляет антимикробный эффект и делает его более долговечным.

При реализации бактерицидной отделки на синтетических материалах эффективным решением является совмещение наномодификации с плазменной обработкой, благодаря которой ткани приобретают не только биоцидность, но и гидрофильность, что немаловажно для таких материалов [71].

Для целлюлозосодержащих материалов разработан способ придания антимикробных свойств с применением гидрозоля серебра ( $C = 0,0185$  %), стабилизированного желатином. Чтобы добиться высокой устойчивости отделки к мокрым обработкам, полотно после нанесения серебросодержащей композиции, обрабатывают раствором растительных таннидов квебрахо с концентрацией 1,5 %. После такой обработки готовый материал сохраняет требуемую биоцидность после 2 стирок, а биостатику – после 5 стирок [72].

Известен вариант создания перевязочного материала в виде матрицы из микроволокна с встроенными частицами оксигидроксида алюминия, на которые адсорбировано коллоидное серебро

[73]. В этом случае концентрация коллоидного серебра составляет  $\sim 0,7$  мкг/см<sup>2</sup>, что обеспечивает высокие антибактериальные характеристики повязки и ее высокую сорбционную способность.

Ультразвук также может успешно применяться в практике создания материалов медицинского назначения. Ультразвуковая обработка текстильного материала, предварительно пропитанного раствором, содержащем нитрат серебра, этиленгликоль и гидроксид аммония, способствует образованию наноразмерных (80 нм) частиц серебра [74]. Способ достаточно простой и экологичный, но создает на волокне ярко-выраженную окраску.

Все представленные технологии находятся на различных стадиях разработки – от лаборатории, до производственных испытаний, обладают определенными достоинствами и недостатками. В производство внедрена технология приготовления антимикробного состава и его использование для получения чулочно-носочных изделий с антимикробным эффектом, представленная в работе [69].

### **Микрокапсулирование – перспективный способ создания антимикробных препаратов**

В последние годы все чаще используется метод заключения бактерицидных препаратов в оболочку и создание так называемых микро- или нанокапсул. Технологии микрокапсулирования позволяют получать безопасные для человека препараты длительного действия, с применением минимальных концентраций активных веществ и вести постоянный контроль за выходом действующих препаратов из капсул [75].

Микрокапсулирование используется в различных отраслях промышленности. Благодаря применению инновационного подхода были разработаны эффективные технологии и получены уникальные оригинальные продукты, успешно применяемые в разных сферах человеческой жизни: от сельского хозяйства (микрокапсулированные инсектициды, витаминные добавки) до медицины и косметологии (микрокапсулы с лекарственными препаратами, эфирными и жирными маслами, пробиотиками и пр.).

Микрокапсулирование – это процесс заключения функционального вещества в оболочку, которая защищает ее от испарения, загрязнения, влияния других воздействий окружающей среды и позволяет веществу выделяться пролонгировано [76, 77].

Интенсивность высвобождения активного материала из ядра микрокапсулы зависит как от толщины и материала оболочки, так и от внешних

условий температуры, pH, биоразрушения и т.д. [78, 79].

Применяемые в настоящее время методы микрокапсулирования условно можно разделить на 3 вида (таблица):

- химические;
- физические [80];
- физико-химические [81, 82].

Таблица

**Методы микрокапсулирования по классификации, предложенной в 2011 г. [80]**

Метод	Применение
<b>Химические методы</b>	
Суспензионная полимеризация	Текстиль
Эмульсионная полимеризация	Фармацевтика
Дисперсионный метод	Биологические науки
Межфазный метод	Защита растений, катализ, фармацевтика
<b>Физические методы</b>	
Суспензионное сшивание	
Экстракция	Фармацевтика
Сушка распылением	
Коацервация	
Конденсация паров	Фармацевтика, пищевая промышленность
Кристаллизация из расплавов	Пищевая промышленность
Осаждение	Пищевая промышленность
Кожэкструзия	Биологические науки
Покрытие в кипящем слое	Биомедицина
Вымораживание	Биологические науки
Дисковое вращение	Фармацевтика
Метод пропитки	Фармацевтика

В каждом конкретном случае выбор метода определяется целым рядом факторов, основными из которых являются свойства капсулируемого вещества, материальные затраты на процесс и требуемые характеристики конечного продукта.

К физическим методам микрокапсулирования относятся те, в которых формирование капсул происходит без химического взаимодействия: разделение фаз, суспензионное сшивание, простую и слож-

ную коацервацию, сушку распылением, кристаллизацию из расплава, испарение растворителя, коэкструзию, наложение слоев, напыление в псевдооживленном слое, осаждение и пр. [83–85].

Микрокапсулирование путем эмульсионной или межфазной полимеризации, дисперсным и межфазным методом относят к химическому способу получения капсулированных препаратов [86]. В этом случае оболочки микрокапсул образуются в ходе полимеризации мономеров или внутри- и межмакромолекулярных реакций полимеров и олигомеров, функциональные группы которых участвуют в реакциях роста или сшивки цепей.

Образования полиэлектролитных капсул методом электростатической самосборки, получивший название «Layer-by-layer», также относится к химическим методам. Он был разработан учеными Института Макса Планка в 1998 году [87, 88] и впервые использован для создания ультратонких монослойных полимерных пленок на макроскопической подложке. В 1966 году авторами работы [89] было предложено применять для сборки пленок поочередную адсорбцию. В 1991 году Decher с соавторами рассмотрели метод получения полиэлектролитных пленок, заключающийся на поочередной адсорбции поликатионов и полианионов на подложке [90]. Суть метода заключается в выборе определенного твердого микроядра (темплата), в качестве которого могут применяться частицы полистирола, диоксида кремния [91], карбоната кальция [92], карбоната кадмия и т.п., на которое последовательно наносятся противоположно заряженные полиэлектролиты, образуя многослойное покрытие. В последствие, это ядро растворяется и удаляется.

Ядро капсулы чаще всего удаляется путем растворения. Материал, из которого состоит микроядро, оказывает влияние на такие характеристики капсулы как форма, проницаемость оболочки, морфологию и скорость извлечения ядра из капсулы. При капсулировании медицинских препаратов в качестве ядра удобнее всего использовать карбонат кальция, который имеет пористую структуру и вследствие этого большую сорбционную емкость, что дает возможность применять его для капсулирования широкого ассортимента препаратов. Кроме того он обладает биосовместимостью и возможностью удаления путем биоразложения [93]. Следует отметить, что темплаты карбоната кальция наиболее часто используются в процессах капсулирования. Применение диоксида кремния ограничено сложностями его растворения, для которого требуется фторводородная кислота. Полистирол и меламинформальдегид также испытывают сложности с растворением.

Оболочки капсул вокруг темплата формируются с применением синтетических (полистерол-сульфат, полиакриловую кислоту, полидиаллилдиметиламмонийхлорид и др.) и биосовместимых полиэлектролитов (гилауроновая кислота, альгинат натрия, хитозан, L-лизин, и т.д.). Образование их сопровождается электростатическим взаимодействием, а также возможно присутствие водородных сил и гидрофобных взаимодействий [94–96]. Противоположно заряженные макромолекулы полиэлектролитов поочередно образуют слои вокруг ядра капсулы и таким образом может быть сформирована оболочка любой толщины [97–99].

При использовании меламиноформальдегидных латексных частиц и тетрагидрофурана в качестве темплатов [98–100] применяют органические растворители.

Модификация микрокапсул может осуществляться тремя путями: посредством синтеза наночастиц в полиэлектролитной оболочке, например, золотых наночастиц [101–104], методом включения в ядро или адсорбцией стабилизированных наночастиц в полиэлектролитную оболочку [105, 106].

Разработана технология синтеза микрокапсул методом последовательной адсорбции полиэлектролитов хитозана и ксантановой камеди на темплатах из карбоната кальция. Наночастицы серебра включены в оболочку капсулы, а в ядро входит биологически активный препарат. Иммунизация многослойных микрокапсул на волокнистом материале обеспечивается системой полиэлектролитов: положительно заряженный хитозан и отрицательно заряженная ксантановая камедь. Разработанный способ позволяет придавать текстильным материалам антибактериальные и антимикотические свойства [106].

Приведенные методы придания текстильным материалам антимикробных свойств в настоящее время быстро развиваются, что обусловлено сложной эпидемиологической ситуацией в мире.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Департамента экономического развития и торговли Ивановской области в рамках научного проекта № 20-43-370012.*

#### Литература

1. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. Антибактериальные свойства и механизм бактерицидного действия наночастиц и ионов серебра. Вест. Каз. Тех. Ун-та. 2012. № 14. С. 170–172.
2. Gao Y., Cranston R. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. Tex. res. j. 2008. V. 78. №1. P. 60–72.
3. Gutarowska B., Michalski A. Microbial Degradation of Woven Fabrics and Protection Against Biodegradation. Woven Fabrics. 2012. P. 267–296.
4. Shahidi S., Wiener J. Antibacterial Agents in Textile Industry. Antibacterial Agents. 2012. P. 387–406.
5. Халиуллина М.К., Гадельшина Э.А. Использование различных бактерицидных и фунгицидных добавок в полимерах при производстве антимикробных текстильных материалов. Вест. Каз. Тех. Ун-та. 2014. Т. 17. №8. С. 87–91.
6. Rahman M. A., Ahsan T., Islam S. Antibacterial and antifungal properties of the methanol extract from the stem of *Argyrea argentea*. Bang. J. of Pharm. 2010. V. 5. №1. P. 41–44.
7. Windler L., Height M., Nowack B. Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. Environment international. 2013. V. 53. P. 62–73.
8. Калонтаров И.Я., Ливерант В.Л. Придание текстильным материалам биоцидных свойств и устойчивости к микроорганизмам. Душанбе: Дошиш, 1981. 201 с.
9. Bshena O. Antimicrobial fibers: therapeutic possibilities and recent advances. Future medicinal chemistry. 2011. V. 3. №14. P. 1821–1847.
10. Szostak-Kot J., Blyskal B., Sygula-Cholewinska J. Biodeterioration of dyed woollen textiles by fungi. Proceedings of the Fourteenth IGWT Symposium, Focusing New Century: Commodity–Trade–Environment, China Agriculture Press, Beijing. 2004. С. 197–201.
11. Гребенкин А.А., Гребенкин А.Н., Зверлин С.В., Макаров А.Е. Металлизация текстильных полотен в гидродинамическом поле. Вест. СПб гос. универ. тех. и диз. Серия 1: Естественные и технические науки. 2010. №3. С. 40–42.
12. Горберг Б.Л. Технология и оборудование для металлизации текстильных материалов методом магнетронного распыления. Сб. докладов конф. Теплозвукоизоляционные и тек. Мат. авиационного назн. 2013. С. 6–6.
13. Киселева А.Ю., Шушина И.А., Козлова О.В., Телегин Ф.Ю. Бактерицидные текстильные материалы на основе биологически активных препаратов и наносеребра. Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2011. Т. 12. №2. С. 110–112.
14. Szostak-Kot J. Fibres and nonwovens In. Microbiology of materials: Technical University of Lodz Publ, 2005. P. 89–136.
15. Glazer A.N., Nikaido H. Microbial biotechnology: fundamentals of applied microbiology. Cambridge University Press, 2007. 576 p.
16. Russell A.D., Furr J.R., Maillard J.Y. Microbial susceptibility and resistance to biocides. ASM News–American Society for Microbiology. 1997. V. 63. №9. P. 481–487.
17. Simoncic B., Tomsic B. Structures of novel antimicrobial agents for textiles—a review. Textile Research J. 2010. V. 80. №16. P. 1721–1737.
18. Kegley S.E. PAN Pesticide Database, Pesticide Action Network, North America. San Francisco, CA. 2009.

19. *Orhan M., Kut D., Gunesoglu C.* Use of triclosan as antibacterial agent in textiles. *Indian J. of Fiber and Text. research.* 2007. V. 32. P. 114–118.
20. *Jones R.D.* Triclosan: a review of effectiveness and safety in health care settings. *American j. of infection control.* 2000. V. 28. №2. P. 184–196.
21. *Yazdankhah S.P.* Triclosan and antimicrobial resistance in bacteria: an overview. *Microbial drug resistance.* 2006. V. 12. №2. P. 83–90.
22. *Mansfield R.G.* Keeping it fresh. *Textile World.* 2002. V. 152. №2. P. 42.
23. *Russell A.D.* Bacterial adaptation and resistance to antiseptics, disinfectants and preservatives is not a new phenomenon. *J. of Hospital Infection.* 2004. V. 57. №2. P. 97–104.
24. *Latch D.E.* Photochemical conversion of triclosan to 2, 8-dichlorodibenzo-p-dioxin in aqueous solution. *J of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.* 2003. V. 158. №1. P. 63–66.
25. *Buth J.M.* Dioxin photoproducts of triclosan and its chlorinated derivatives in sediment cores. *Environmental science & technology.* 2010. V. 44. №12. P. 4545–4551.
26. *Bartels V.* Handbook of medical textiles. Elsevier, 2011. 608 p.
27. *Badawy M.E.I., Rabea E.I.* A biopolymer chitosan and its derivatives as promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection. *International J. of Carbohydrate Chem.* 2011. 29 p.
28. *Wang X.* Chitosan-metal complexes as antimicrobial agent: synthesis, characterization and structure-activity study. *Polymer Bulletin.* 2005. V. 55. №1–2. P. 105–113.
29. *Kong M.* Preparation and antibacterial activity of chitosan microspheres in a solid dispersing system. *Frontiers of Materials Science in China.* 2008. V. 2. №2. P. 214–220.
30. *Varesano A.* Antimicrobial polymers for textile. Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances. 2011. V. 3. P. 99–110.
31. *Chadeau E.* Evaluation of antimicrobial activity of a polyhexamethylenebiguanide coated textile by monitoring both bacterial growth (iso 20743/2005 standard) and viability (live/dead baclight kit). *J. of Food Safety.* 2012. V. 32. №2. P. 141–151.
32. *Воинцева И.И., Гембицкий П.А.* Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы. М: ЛКМ-пресс. 2011. 300 с.
33. *Zanoaga M., Tanasa F.* Antimicrobial reagents as functional finishing for textiles intended for biomedical applications. I. Synthetic organic compounds. *Chemistry J. of Moldova.* 2014. V. 9. №1. P. 14–32.
34. *Hui F.* Antimicrobial N-halamine polymers and coatings: a review of their synthesis, characterization, and applications / F. Hui, C. Debieuvre-Chouvy // *Biomacromolecules.* – 2013. – V. 14. – №3. – P. 585–601.
35. *Bach S.M.* Antibacterial and cytotoxic activities of the sesquiterpene lactones cnicin and onopordopicrin. *Natural product communications.* 2011. V. 6. №2. P. 163–166.
36. *Mathabe M.C.* Antibacterial activities and cytotoxicity of terpenoids isolated from *Spirostachys africana*. *J. of ethnopharmacology.* 2008. V. 116. №1. P. 194–197.
37. *Petnual P., Sangvanich P., Karnchanat A.* A lectin from the rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* L.) and its antifungal, antibacterial, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities. *Food Science and Biotechnology.* 2010. V. 19. №4. P. 907–916.
38. *Kheeree N.* Antifungal and antiproliferative activities of lectin from the rhizomes of *Curcuma amarissima* Roscoe. *Applied biochemistry and biotechnology.* 2010. V. 162. №3. P. 912–925.
39. *Orhan D.D.* Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids. *Microbiological research.* 2010. V. 165. №6. P. 496–504.
40. *Rattanachaiakunsopon P., Phumkhachorn P.* Contents and antibacterial activity of flavonoids extracted from leaves of *Psidium guajava*. *J. of Medicinal Plants Research.* 2010. V. 4. №5. P. 393–396.
41. *Özçelik B.* Antimicrobial activity of flavonoids against extended-spectrum  $\beta$ -lactamase (ES $\beta$ L)-producing *Klebsiella pneumoniae*. *Tropical J. of Pharmaceutical Research.* 2008. V. 7. №4. P. 1151–1157.
42. *Ignacimuthu S.* Antibacterial activity of a novel quinone from the leaves of *Pergularia daemia* (Forsk.), a traditional medicinal plant. *Asian J. of Traditional Medicines.* 2009. V. 4. №1. P. 36–40.
43. *Singh D.N.* Antifungal anthraquinones from *Saprosma fragrans*. *Bioorganic & medicinal chemistry letters.* 2006. V. 16. №17. P. 4512–4514.
44. *Engels C.* Antimicrobial activity of galloytannins isolated from mango (*Mangifera indica* L.) kernels. *J. of agricultural and food chemistry.* 2009. Vol. 57. №17. P. 7712–7718.
45. *Scalbert A.* Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry.* 1991. V. 30. №12. P. 3875–3883.
46. *Cowan M.M.* Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews.* 1999. V. 12. №4. P. 564–582.
47. *Venugopala K.N., Rashmi V., Odhav B.* Review on natural coumarin lead compounds for their pharmacological activity. *BioMed research international.* 2013. V. 2013. 14 p.
48. *Saleem M.* Antimicrobial natural products: an update on future antibiotic drug candidates. *Natural product reports.* 2010. V. 27. №2. P. 238–254.
49. *Sobczak M.* Polymeric systems of antimicrobial peptides—Strategies and potential applications. *Molecules.* 2013. V. 18. №11. P. 14122–14137.
50. *Gouveia I.C.* Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology. *FORMATEX Microbiology Series N<sup>o</sup>2.* 2010. V. 2. P. 407–414.
51. *Rokitskaya T.I.* Indolicidin action on membrane permeability: carrier mechanism versus pore formation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes.* 2011. V. 1808. №1. P. 91–97.
52. *Upadhyay A.* Combating pathogenic microorganisms using plant-derived antimicrobials: a minireview

- of the mechanistic basis. *BioMed research international*. 2014. V. 2014. 18 p.
53. *Savoia D.* Plant-derived antimicrobial compounds: alternatives to antibiotics. *Future microbiology*. 2012. V. 7. №8. P. 979–990.
  54. *Breidenstein E. B. M., Courvalin P., Meziane-Cherif D.* Antimicrobial activity of plectasin NZ2114 in combination with cell wall targeting antibiotics against vanatype *Enterococcus faecalis*. *Microbial Drug Resistance*. 2015. V. 21. №4. P. 373–379.
  55. *Kyung K. H., Lee C.* Antimicrobial activities of sulfur compounds derived from S-alk(en)yl-L-cysteine sulf-oxides in *Allium* and *Brassica*. *Food Reviews International*. 2001. V. 17. №2. P. 183–198.
  56. *Xu F.F., Imlay J.A.* Silver (I), mercury (II), cadmium (II), and zinc (II) target exposed enzymic iron-sulfur clusters when they toxify *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.* 2012. V. 78. №10. P. 3614–3621.
  57. *Palza H.* Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *International journal of molecular sciences*. 2015. V. 16. №1. P. 2099–2116.
  58. *Разуваев А.В.* Заключительная отделка текстильных материалов биоцидными препаратами. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. Иваново. 2010. Т. 53. №8. С. 3–7.
  59. *Петрова Л.С., Липина А.А., Зайцева А.О., Одинцова О.И.* Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств. *Изв. вузов. Технология Текстильной промышленности*. 2018. №6. С. 81–85.
  60. *Дмитриева А.Д., Кузьменко В.А., Одинцова Л.С., Одинцова О.И.* Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств. *Изв. вузов. Химия и химическая технология*. 2015. P. 58.
  61. *Губин С.П., Юрков Г.Ю., Катаева Н.А.* Наночастицы благородных металлов. Москва: ИОНХ РАН. 2006. 155 с.
  62. *Иванов В.Н., Ларионов Г.М., Кулиш Н.И., Лутцева М.А.* Некоторые экспериментальные и клинические результаты применения катионов серебра в борьбе с лекарственно-устойчивыми микроорганизмами. *Серебро в медицине, биологии и технике*. Сиб. отд. РАМН. 1995. №4. С. 53–62.
  63. *Dastjerdi R., Montazer M.* A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 2010. V. 79. №1. P. 5–18.
  64. *Дымникова Н.С., Ерохина Н.С.* Разработка технологии синтеза наночастиц серебра для биозащиты целлюлозных материалов. *Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016)*. Сб. материалов Международной научнотехнической конференции. Часть 2. М.: ФГБОУВО «МГУДТ», 2016. С. 107–110.
  65. *Dubas S.T., Kumlangdudsana P., Potiyaraj P.* Layer-by-layer deposition of antimicrobial silver nanoparticles on textile fibers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2006. V. 289. №1–3. P. 105–109.
  66. *Yun G.* Synthesis of Metal Nanoparticles in Metal-Phenolic Networks: Catalytic and Antimicrobial Applications of Coated Textiles. *Advanced healthcare materials*. 2018. V. 7. №5. P. 1700934.
  67. *Perkas N., Perelshtein I., Gedanken A.* Coating textiles with antibacterial nanoparticles using the sonochemical technique. *J. of Machine Construction and Maintenance. ProblemyEksploatacji*. 2018. V. 4. P. 15–26.
  68. *Achwal W.B.* Antimicrobial finishes and their modifications. *Colourage*. 2003. V. 50. №1. P. 58–59.
  69. *Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю., Морыганов А.П.* Исследование влияния субстантивности серебросодержащих препаратов к целлюлозному материалу на его биологическую активность. *Российский хим. ж.* 2017. Т. 61. №2. С. 3–12.
  70. *Кулевцов Г.Н., Степин С.Н., Николаенко Г.Р., Шестов А.В.* О применении наночастиц серебра в качестве бактерицидного агента в производстве кож специального назначения. *Казанского тех-го ун-та*. 2013. Т. 16. №8. С. 86–88.
  71. *Баранова О.Н., Золина Л.И.* Целлюлозные полотна, модифицированные гидрозолеом серебра с применением растительных дубителей. *Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий. («МЕДТЕКСТИЛЬ – 2012»): Тез. докладов Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых*. Москва, 2012. С. 29.
  72. *Хоробрая Е. Г., Бакина О.В., Серова А.Н., Тихонова И.Н.* Антисептический перевязочный материал, импрегнированный частицами коллоидного серебра. *Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий. («МЕДТЕКСТИЛЬ – 2012»): Тез. докладов Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых*. Москва. 2012. С. 35.
  73. *Абаев Ю.К.* Хирургическая повязка. 2005. Минск : Беларусь. 150 с.
  74. *Серова А.Н., Пехенько В.Г., Тихонова И.Н., Глазкова Е.А., Бакина О.В., Лернер М.И., Псахье С.Г.* Анти-микробная активность перевязочного материала, импрегнированного коллоидным серебром. *Сибирский медицинский журнал*, 2012, Т. 27, №3. С. 137–141
  75. *Valdés A.* Recent Trends in Microencapsulation for Smart and Active Innovative Textile Products. *Current Organic Chemistry*. 2018. V. 22. №12. P. 1237–1248.
  76. *Ghost S.K.* Functional Coatings by Polymer Microencapsulation. *Wiley-VCHVerlagGmbH&CoKGaA: Weinheim*, 2006. 378 p.
  77. *Кролевец А.А., Тырсин Ю.А., Быковская Е.Е.* Применение нано- и микрокапсулирования в фармацевтике и пищевой промышленности. *Вестник Российской академии естественных наук*. 2013. №1. С. 77–84.
  78. *Cheng S.Y., Yuen C.W.M., Kan C.W., Cheuk K.K.L.* Development of cosmetic textiles using microencapsulation technology. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2008. V. 12. №4. P. 41–51.

79. *Sarma S.J., Pakshirajan K., Mahanty B.* Chitosan-coated Alginate–polyvinyl Alcohol Beads for Encapsulation of Silicone Oil Containing Pyrene: A Novel Method for Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *J of Chemical Technology and Biotechnology*. 2011. V. 2. P. 266–272.
80. *Pavan K.B., Sarath C.I., Bhavya B.* Microparticle Drug Delivery System: A Review. *Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research*. 2011. V. 1. P. 19–37.
81. *Бородина Т.Н.* Получение и исследование биодеградируемых полиэлектролитных микрокапсул с контролируемым выходом белков, ДНК и других биологически активных соединений: дисс. на соиск. уч. ст. канд. хим. наук: 03.00.23: защищена 18.06.2008; утв. 16.05.2008. Москва, 2008. – 119 с.
82. *Anal A.K., Singh H.* Recent Advances in Microencapsulation of Probiotics for Industrial Applications and Targeted Delivery. *Trends in Food Science & Technology*. 2007. V. 18. P. 240–251.
83. *Sanjoy D.* Microencapsulation techniques and its practices. *International J. of Pharmaceutical Science and Technology*. 2011. V. 6. №2. P. 1–23.
84. *Silva P.T.* Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*. 2014. V. 44. №7. P. 1304–1311.
85. *Salaiin F.* Microencapsulation technology for smart textile coatings. *Active Coatings for Smart Textiles*. Woodhead Publishing. 2016. P. 179–220.
86. *Patel K.R., Mukesh R., Tarak Mehta J.* Microencapsulation: Review on Novel Approaches. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2011. V. 3. P. 894–911.
87. *Donath E.* Novel hollow polymer shells by colloid-templated assembly of polyelectrolytes. *Angewandte Chemie International Edition*. 1998. V. 37. №16. P. 2201–2205.
88. *Sukhorukov G.B.* Layer-by-layer self assembly of polyelectrolytes on colloidal particles. *Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects*. 1998. V. 137. №1–3. P. 253–266.
89. *Iler R.K.* Multilayers of colloidal particles. *J. of colloid and interface science*. 1966. V. 21. №6. P. 569–594.
90. *Decher G., Hong J.D.* Buildup of ultrathin multilayer films by a self-assembly process, 1 consecutive adsorption of anionic and cationic bipolar amphiphiles on charged surfaces. *Macromol. Chem. Macromol. Symp.* 1991. V. 46. P. 321–327.
91. *Schuetz P., Caruso F.* Copper-assisted weak polyelectrolyte multilayer formation on microspheres and subsequent film crosslinking. *Advanced Functional Materials*. 2003. V. 13. №12. P. 929–937.
92. *Volodkin D.V.* Matrix polyelectrolyte microcapsules: new system for macromolecule encapsulation. *Langmuir*. 2004. V. 20. №8. P. 3398–3406.
93. *Combes C., Bareille R., Rey C.* Calcium carbonate–calcium phosphate mixed cement compositions for bone reconstruction. *J. of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2006. V. 79. №2. P. 318–328.
94. *Kozlovskaya V.* Responsive microcapsule reactors based on hydrogen-bonded tannic acid layer-by-layer assemblies. 2010. V. 6. №15. P. 3596–3608.
95. *Lee D., Rubner M.F., Cohen R.E.* Formation of nanoparticle-loaded microcapsules based on hydrogen-bonded multilayers. *Chemistry of materials*. 2005. V. 17. №5. P. 1099–1105.
96. *Such G.K., Johnston A.P.R., Caruso F.* Engineered hydrogen-bonded polymer multilayers: from assembly to biomedical applications. *Chemical Society Reviews*. 2010. V. 40. №1. P. 19–29.
97. *Айсина П.Б., Казанская Н.Ф.* Микрокапсулирование физиологически активных веществ и их применение в медицине. *Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология*. М. ВИНТИ. 1986. Т. 6. С. 6–52.
98. *Lameiro M.H.* Incorporation of a model protein into chitosan–bile salt microparticles. *International j. of pharmaceuticals*. 2006. V. 312. №1–2. P. 119–130.
99. *Grenha A., Seijo B., Remunán-López C.* Microencapsulated chitosan nanoparticles for lung protein delivery. *European j. of pharmaceutical sciences*. 2005. V. 25. №4–5. P. 427–437.
100. *Lambert G., Fattal E., Couvreur P.* Nanoparticulate systems for the delivery of antisense oligonucleotides. *Advanced drug delivery reviews*. 2001. V. 47. №1. P. 99–112.
101. *Parakhonkiy B.V.* Nanoparticles on polyelectrolytes at low concentration: controlling concentration and size. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2010. Vol. 114. №5. P. 1996–2002.
102. *Antipov A.A.* Fabrication of a novel type of metallized colloids and hollow capsules. *Langmuir*. 2002. V. 18. №17. P. 6687–6693.
103. *De Geest B.G.* Stimuli-Responsive Multilayered Hybrid Nanoparticle/Polyelectrolyte Capsules. *Macromolecular rapid communications*. 2007. V. 28. №1. P. 88–95.
104. *Bagaria H.G., Kadali S.B., Wong M.S.* Shell thickness control of nanoparticle/polymer assembled microcapsules. *Chemistry of Materials*. 2010. V. 23. №2. P. 301–308.
105. *Yuan W., Lu Z., Li C.M.* Controllably layer-by-layer self-assembled polyelectrolytes/nanoparticle blend hollow capsules and their unique properties. *J. of Materials Chemistry*. 2011. V. 21. №13. P. 5148–5155.
106. *Одинцова О.И., Петрова Л.С., Козлова О.В.* Микрокапсулирование биологически активных веществ и их использование для функционализации текстильных материалов. *Изв. вузов. Технология Текстильной промышленности*. 2018. №4. С. 85–89.

## References

1. *Bukina Yu.A., Sergeeva E.A.* Antibacterial properties and mechanism of bactericidal action of nanoparticles and silver ions. *West. Kaz. Tech. Un-ta*. 2012. No. 14. P. 170–172.
2. *Gao Y., Cranston R.* Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. *Tex. res. j.* 2008. V. 78. No. 1. P. 60–72.

3. *Gutarowska B., Michalski A.* Microbial Degradation of Woven Fabrics and Protection Against Biodegradation. *Woven Fabrics*. 2012. P. 267–296.
4. *Shahidi S., Wiener J.* Antibacterial Agents in Textile Industry. *Antibacterial Agents*. 2012. P. 387–406.
5. *Khaliullina M.K., Gadelshina E.A.* The use of various bactericidal and fungicidal additives in polymers in the production of antimicrobial textile materials. 2014. Vol. 17. no. 8. C. 87–91.
6. *Rahman M.A., Ahsan T., Islam S.* Antibacterial and antifungal properties of the methanol extract from the stem of *Argyrea argentea*. *Bang. J. of Pharm.* 2010. V. 5. no. 1. p. 41–44.
7. *Windler L., Height M., Nowack B.* Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. *Environment international*. 2013. V. 53. P. 62–73.
8. *Kalontarov I. Ya., Liverant V.L.* Giving textile materials biocidal properties and resistance to microorganisms. Dushanbe: Doshish, 1981. 201 p.
9. *Bshena O.* Antimicrobial fibers: therapeutic possibilities and recent advances. *Future medicinal chemistry*. 2011. V. 3. №14. P. 1821–1847.
10. *Szostak-Kot J., Blyskal B., Sygula-Cholewinska J.* Biodeterioration of dyed woollen textiles by fungi. *Proceedings of the Fourteenth IGWT Symposium, Focusing New Century: Commodity–Trade–Environment, China Agriculture Press, Beijing*. 2004. P. 197–201.
11. *Grebenkin A.A., Grebenkin A.N., Zverlin S.V., Makarov A.E.* Metallization of textile fabrics in a hydrodynamic field. *West. St. Petersburg State University. univ. tech. and diz. Series 1: Natural and Technical Sciences*. 2010. No. 3. P. 40–42.
12. *Gorberg B.L.* Technology and equipment for metallization of textile materials by magnetron sputtering. *Collection of reports of the conf. Heat and sound insulation and tech. Mat. aviatsionnogo nazn.* 2013. P. 6–6.
13. *Kiseleva, A. Yu., Shushina I.A., Kozlova O.V., Telegin F. Yu.* Bactericidal textile materials based on biologically active preparations and nanosilver. *News of higher educational institutions. Technology of light industry*. 2011. Vol. 12. no. 2. P. 110–112.
14. *Szostak-Kot J.* *Fibers and nonwovens* In. *Microbiology of materials: Technical University of Lodz Publ*, 2005. P. 89–136.
15. *Glazer A.N., Nikaido H.* *Microbial biotechnology: fundamentals of applied microbiology*. Cambridge University Press, 2007. 576 p.
16. *Russell A.D., Furr J. R., Maillard J.Y.* Microbial susceptibility and resistance to biocides. *ASM News–American Society for Microbiology*. 1997. V. 63. №9. P. 481–487.
17. *Simoncic B., Tomsic B.* Structures of novel antimicrobial agents for textiles—a review. *Textile Research J.* 2010. V. 80. №16. P. 1721–1737.
18. *Kegley S.E.* *PAN Pesticide Database, Pesticide Action Network, North America*. San Francisco, CA. 2009.
19. *Orhan M., Kut D., Gunesoglu C.* Use of triclosan as antibacterial agent in textiles. *Indian J. of Fiber and Tex. research*. 2007. V. 32. P. 114–118.
20. *Jones R.D.* Triclosan: a review of effectiveness and safety in health care settings. *American j. of infection control*. 2000. V. 28. №2. P. 184–196.
21. *Yazdankhah S.P.* Triclosan and antimicrobial resistance in bacteria: an overview. *Microbial drug resistance*. 2006. V. 12. №2. P. 83–90.
22. *Mansfield R.G.* Keeping it fresh. *Textile World*. 2002. V. 152. №2. P. 42.
23. *Russell A.D.* Bacterial adaptation and resistance to antiseptics, disinfectants and preservatives is not a new phenomenon. *J. of Hospital Infection*. 2004. V. 57. №2. P. 97–104.
24. *Latch D.E.* Photochemical conversion of triclosan to 2, 8-dichlorodibenzo-p-dioxin in aqueous solution. *J of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2003. V. 158. №1. P. 63–66.
25. *Buth J.M.* Dioxin photoproducts of triclosan and its chlorinated derivatives in sediment cores. *Environmental science & technology*. 2010. V. 44. №12. P. 4545–4551.
26. *Bartels V.* *Handbook of medical textiles*. Elsevier, 2011. 608 p.
27. *Badawy M.E.I., Rabea E.I.* A biopolymer chitosan and its derivatives as promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection. *International J. of Carbohydrate Chem.* 2011. 29 p.
28. *Wang X.* Chitosan-metal complexes as antimicrobial agent: synthesis, characterization and structure-activity study. *Polymer Bulletin*. 2005. V. 55. №1–2. P. 105–113.
29. *Kong M.* Preparation and antibacterial activity of chitosan microspheres in a solid dispersing system. *Frontiers of Materials Science in China*. 2008. V. 2. №2. P. 214–220.
30. *Varesano A.* Antimicrobial polymers for textile. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*. 2011. V. 3. P. 99–110.
31. *Chadeau E.* Evaluation of antimicrobial activity of a polyhexamethylenebiguanide coated textile by monitoring both bacterial growth (iso 20743/2005 standard) and viability (live/dead baclight kit). *J.of Food Safety*. 2012. V. 32. no. 2. P. 141–151.
32. *Vointseva I.I., Gembitsky P.A.* Polyguanidins-disinfectants and multifunctional additives in composite materials. M: LKM-press. 2011. 300 p.
33. *Zanoaga M., Tanasa F.* Antimicrobial reagents as functional finishing for textiles intended for biomedical applications. I. Synthetic organic compounds. *Chemistry J. of Moldova*. 2014. V. 9. №1. P. 14–32.
34. *Hui F.* Antimicrobial N-halamine polymers and coatings: a review of their synthesis, characterization, and applications / F. Hui, C. Debiemme-Chouvy // *Biomacromolecules*. – 2013. – V. 14. – №3. – P. 585–601.
35. *Bach S.M.* Antibacterial and cytotoxic activities of the sesquiterpene lactones cnicin and onopordopicrin. *Natural product communications*. 2011. V. 6. №2. P. 163–166.
36. *Mathabe M.C.* Antibacterial activities and cytotoxicity of terpenoids isolated from *Spirostachys africana*. *J. of ethnopharmacology*. 2008. V. 116. №1. P. 194–197.

37. *Petnual P., Sangvanich P., Karnchanatat A.* A lectin from the rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* L.) and its antifungal, antibacterial, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities. *Food Science and Biotechnology*. 2010. V. 19. №4. P. 907–916.
38. *Kheeree N.* Antifungal and antiproliferative activities of lectin from the rhizomes of *Curcuma amarissima* Roscoe. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2010. V. 162. №3. P. 912–925.
39. *Orhan D.D.* Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids. *Microbiological research*. 2010. V. 165. №6. P. 496–504.
40. *Rattanachaiakunsopon P., Phumkhachorn P.* Contents and antibacterial activity of flavonoids extracted from leaves of *Psidium guajava*. *J. of Medicinal Plants Research*. 2010. V. 4. №5. P. 393–396.
41. *Özçelik B.* Antimicrobial activity of flavonoids against extended-spectrum  $\beta$ -lactamase (ES $\beta$ L)-producing *Klebsiella pneumoniae*. *Tropical J. of Pharmaceutical Research*. 2008. V. 7. №4. P. 1151–1157.
42. *Ignacimuthu S.* Antibacterial activity of a novel quinone from the leaves of *Pergulariadaemia* (Forsk.), a traditional medicinal plant. *Asian J. of Traditional Medicines*. 2009. V. 4. №1. P. 36–40.
43. *Singh D.N.* Antifungal anthraquinones from *Saprosma fragrans*. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*. 2006. V. 16. №17. P. 4512–4514.
44. *Engels C.* Antimicrobial activity of gallotannins isolated from mango (*Mangifera indica* L.) kernels. *J. of agricultural and food chemistry*. 2009. Vol. 57. №17. P. 7712–7718.
45. *Scalbert A.* Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*. 1991. V. 30. №12. P. 3875–3883.
46. *Cowan M.M.* Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*. 1999. V. 12. №4. P. 564–582.
47. *Venugopala K.N., Rashmi V., Odhav B.* Review on natural coumarin lead compounds for their pharmacological activity. *BioMed research international*. 2013. V. 2013. 14 p.
48. *Saleem M.* Antimicrobial natural products: an update on future antibiotic drug candidates. *Natural product reports*. 2010. V. 27. №2. P. 238–254.
49. *Sobczak M.* Polymeric systems of antimicrobial peptides—Strategies and potential applications. *Molecules*. 2013. V. 18. №11. P. 14122–14137.
50. *Gouveia I.C.* Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology. *FORMATEX Microbiology Series* № 2. 2010. V. 2. P. 407–414.
51. *Rokitskaya T.I.* Indolicidin action on membrane permeability: carrier mechanism versus pore formation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*. 2011. V. 1808. №1. P. 91–97.
52. *Upadhyay A.* Combating pathogenic microorganisms using plant-derived antimicrobials: a minireview of the mechanistic basis. *BioMed research international*. 2014. V. 2014. 18 p.
53. *Savoia D.* Plant-derived antimicrobial compounds: alternatives to antibiotics. *Future microbiology*. 2012. V. 7. №8. P. 979–990.
54. *Breidenstein E.B. M., Courvalin P., Meziane-Cherif D.* Antimicrobial activity of plectasin NZ2114 in combination with cell wall targeting antibiotics against vanatype *Enterococcus faecalis*. *Microbial Drug Resistance*. 2015. V. 21. №4. P. 373–379.
55. *Kyung K.H., Lee C.* Antimicrobial activities of sulfur compounds derived from S-alk(en)yl-L-cysteine sulfides in *Allium* and *Brassica*. *Food Reviews International*. 2001. V. 17. №2. P. 183–198.
56. *Xu F.F., Imlay J.A.* Silver (I), mercury (II), cadmium (II), and zinc (II) target exposed enzymic iron-sulfur clusters when they toxify *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.* 2012. V. 78. №10. P. 3614–3621.
57. *Palza H.* Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *International journal of molecular sciences*. 2015. V. 16. №1. P. 2099–2116.
58. *Razuvaev A.V.* Final finishing of textile materials with biocidal preparations. *News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*. Ivanovo. 2010. Vol. 53. no. 8. pp. 3–7.
59. *Petrova, L.S., Lipina A.A., Zaitseva A.O., Odintsova O.* The use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. *Izv. vuzov. Technology of the textile industry*. 2018. №6. P. 81–85.
60. *Dmitrieva, A.D., Kuzmenko V.A., Odintsova L.S., Odintsova O.I.* Synthesis and use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. *Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2015. P. 58.
61. *Gubin S.P., Yurkov G.Yu., Kataeva N.A.* Nanoparticles of precious metals. Moscow: IONKH RAS. 2006. 155 p.
62. *Ivanov V.N., Larionov G.M., Kulish N.I., Lutseva M.A.* Some experimental and clinical results of the use of silver cations in the fight against drug-resistant microorganisms. *Silver in medicine, biology, and engineering*. Sib. otd. RAMS. 1995. no. 4. P. 53–62.63.
63. *Dastjerdi R., Montazer M.A.* review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 2010. V. 79. №1. P. 5–18.
64. *Dymnikova N.S., Erokhina N.S.* Development of a technology for the synthesis of silver nanoparticles for the biosecurity of cellulose materials. *Design, technologies and innovations in the textile and light industry (INNOVATIONS-2016)*. Collection of materials of the International Scientific and Technical Conference. Part 2. Moscow: MGUDT, 2016. P. 107–110.
65. *Dubas S.T., Kumlangdudsana P., Potiyaraj P.* Layer-by-layer deposition of antimicrobial silver nanoparticles on textile fibers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2006. V. 289. №1–3. P. 105–109.
66. *Yun G.* Synthesis of Metal Nanoparticles in Metal-Phenolic Networks: Catalytic and Antimicrobial Applications of Coated Textiles. *Advanced healthcare materials*. 2018. V. 7. №5. P. 1700934.
67. *Perkas N., Perelshtein I., Gedanken A.* Coating textiles with antibacterial nanoparticles using the sonochemical technique. *J. of Machine Construction and Maintenance. Problemy Eksploatacji*. 2018. V. 4. P. 15–26.

68. Achwal W.B. Antimicrobial finishes and their modifications. Colourage. 2003. V. 50. № 1. P. 58–59.
69. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Kuznetsov O. Yu., Morzyanov A.P. Investigation of the effect of the substantiated silver-containing preparations to cellulose material on its biological activity. Russian Chemistry. 2017. Vol. 61. no. 2. P. 3–12.
70. Kulevtsov G.N., Stepin S.N., Nikolaenko G.R., Shestov A.V. On the use of silver nanoparticles as a bactericidal agent in the production of special purpose leather. Kazan Technical University. 2013. Vol. 16. no. 8. P. 86–88.
71. Baranova O.N., Zolina L.I. Cellulose fabrics modified with silver hydrosol with the use of vegetable tanning agents. Today and tomorrow, medical, technical and protective textiles. The role of traditional and high technologies. ("MEDTEXTIL-2012"): Theses of reports of the International Scientific and Practical Conference and School of Young Scientists. Moscow, 2012. P. 29.
72. Khorobraya E.G., Bakina O.V., Serova A.N., Tikhonova I.N. Antiseptic dressing material impregnated with colloidal silver particles. Today and tomorrow, medical, technical and protective textiles. The role of traditional and high technologies. ("MEDTEXTIL-2012"): Theses of reports of the International Scientific and Practical Conference and School of Young Scientists. Moscow. 2012. P. 35.
73. Abaev Yu.K. Surgical dressing. Minsk: Belarus. 2005. 150 p.
74. Serova A.N., Pekhenko V.G., Tikhonova I.N., Glazkova E.A., Bakina O.V., Lerner M.I., Psakhie S.G. Antimicrobial activity of a dressing impregnated with colloidal silver. Siberian Medical Journal, 2012, T 27, No. 3. S. 137–141
75. Valdés A. Recent Trends in Microencapsulation for Smart and Active Innovative Textile Products. Current Organic Chemistry. 2018. V. 22. № 12. P. 1237–1248.
76. Ghost S.K. Functional Coatings by Polymer Microencapsulation. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, 2006. 378 p.
77. Krolevets A.A., Tyrsin Yu. A., Bykovskaya E.E. Application of nano- and microencapsulation in pharmaceuticals and food industry. Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. 2013. No. 1. P. 77–84.
78. Cheng, S.Y., Yuen C.W.M., Kan C.W., Cheuk K.K.L. Development of cosmetic textiles using microencapsulation technology. Research Journal of Textile and Apparel. 2008. V. 12. № 4. P. 41–51.
79. Sarma S.J., Pakshirajan K., Mahanty B. Chitosan-coated Alginate-polyvinyl Alcohol Beads for Encapsulation of Silicone Oil Containing Pyrene: A Novel Method for Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. J of Chemical Technology and Biotechnology. 2011. V. 2. P. 266–272.
80. Pavan K.B. Sarath C.I., Bhavya B. Microparticle Drug Delivery System: A Review. Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research. 2011. V. 1. P. 19–37.
81. Borodina T.N. Preparation and research of biodegradable polyelectrolyte microcapsules with controlled yield of proteins, DNA and other bioactive compounds: diss. Candidate of Chemical Sciences: 03.00.23: defended 18.06.2008: approved 16.05.2008. Moscow, 2008. 119 p.
82. Anal, A.K., H. Singh Recent Advances in Microencapsulation of Probiotics for Industrial Applications and Targeted Delivery. Trends in Food Science & Technology. 2007. V. 18. P. 240–251.
83. Sanjoy D. Microencapsulation techniques and its practices. International J. of Pharmaceutical Science and Technology. 2011. V. 6. № 2. P. 1–23.
84. Silva P.T. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. Ciência Rural. 2014. V. 44. № 7. P. 1304–1311.
85. Salaiün F. Microencapsulation technology for smart textile coatings. Active Coatings for Smart Textiles. Woodhead Publishing. 2016. P. 179–220.
86. Patel K.R., Mukesh R., Tarak Mehta J. Microencapsulation: Review on Novel Approaches. International Journal of Pharmacy & Technology. 2011. V. 3. P. 894–911.
87. Donath E. Novel hollow polymer shells by colloid-templated assembly of polyelectrolytes. Angewandte Chemie International Edition. 1998. V. 37. № 16. P. 2201–2205.
88. Sukhorukov G.B. Layer-by-layer self-assembly of polyelectrolytes on colloidal particles. Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects. 1998. V. 137. № 1–3. P. 253–266.
89. Iler R.K. Multilayers of colloidal particles. J. of colloid and interface science. 1966. V. 21. № 6. P. 569–594.
90. Decher G., Hong J.D. Buildup of ultrathin multilayer films by a self-assembly process, 1 consecutive adsorption of anionic and cationic bipolar amphiphiles on charged surfaces. Macromol. Chem. Macromol. Symp. 1991. V. 46 P. 321–327.
91. Schuetz P., Caruso F. Copper assisted weak polyelectrolyte multilayer formation on microspheres and subsequent film crosslinking. Advanced Functional Materials. 2003. V. 13. № 12. P. 929–937.
92. Volodkin D.V. Matrix polyelectrolyte microcapsules: new system for macromolecule encapsulation. Langmuir. 2004. V. 20. № 8. P. 3398–3406.
93. Combes C., Bareille R., Rey C. Calcium carbonate-calcium phosphate mixed cement compositions for bone reconstruction. J. of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials. 2006. V. 79. № 2. P. 318–328.
94. Kozlovskaya V. Responsive microcapsule reactors based on hydrogen-bonded tannic acid layer-by-layer assemblies. 2010. V. 6. № 15. P. 3596–3608.
95. Lee D., Rubner M.F., Cohen R.E. Formation of nanoparticle-loaded microcapsules based on hydrogen-bonded multilayers. Chemistry of materials. 2005. V. 17. № 5. P. 1099–1105.
96. Such G.K., Johnston A.P. R., Caruso F. Engineered hydrogen-bonded polymer multilayers: from assembly to biomedical applications. Chemical Society Reviews. 2010. V. 40. № 1. P. 19–29.

97. *Aysina R.B., Kazanskaya N.F.* Microcapsulation of physiologically active substances and their application in medicine. Results of science and technology. Ser. Biotechnologiya. M. VINITI. 1986. Vol. 6. P. 6–52.
98. *Lameiro M.H.* Incorporation of a model protein into chitosan–bile salt microparticles. International j. of pharmaceutics. 2006. V. 312. №1–2. P. 119–130.
99. *Grenha A., Seijo B., Remunán-López C.* Microencapsulated chitosan nanoparticles for lung protein delivery. European j. of pharmaceutical sciences. 2005.V. 25. №4–5. P. 427–437.
100. *Lambert G., Fattal E., Couvreur P.* Nanoparticulate systems for the delivery of antisense oligonucleotides. Advanced drug delivery reviews. 2001. V. 47. №1. P. 99–112.
101. *Parakhonskiy B.V.* Nanoparticles on polyelectrolytes at low concentration: controlling concentration and size. The Journal of Physical Chemistry C. 2010. Vol. 114. №5. P. 1996–2002.
102. *Antipov A.A.* Fabrication of a novel type of metallized colloids and hollow capsules. Langmuir. 2002. V. 18. №17. P. 6687–6693.
103. *De Geest B.G.* Stimuli-Responsive Multilayered Hybrid Nanoparticle/Polyelectrolyte Capsules. Macromolecular rapid communications. 2007. V. 28. №1. P. 88–95.
104. *Bagaria H.G., Kadali S.B., Wong M.S.* Shell thickness control of nanoparticle/polymer assembled microcapsules. Chemistry of Materials. 2010. V. 23. №2. P. 301–308.
105. *Yuan W. Lu Z., Li C.M.* Controllably layer-by-layer self-assembled polyelectrolytes/nanoparticle blend hollow capsules and their unique properties. J of Materials Chemistry. 2011. V. 21. №13. P. 5148–5155.
106. *Odintsova O.I., Petrova L.S., Kozlova O.V.* Microencapsulation of biologically active substances and their use for the functionalization of textile materials. Izv. vuzov. Technology of the textile industry. 2018. №4. P. 85–89.