

УДК: 541.64+677.21.154

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

КҮМІС НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ АНТИБАКТЕРИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІ: ТАБЫСТАРЫ МЕН КЕЛЕШЕГІ

ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF NANOPARTICLES OF SILVER: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

Б.Р. ТАУСАРОВА, А.Ж. КУТЖАНОВА, М.Ш. СУЛЕЙМЕНОВА, А.Н. МАУКЕНОВА
B.R. TAUSAROVA, A.Zh. KUTZHANOVA, M.Sh. SULEIMENOVA, A.N. MAUKENOVA

(Алматынський технологічний університет)

(Алматы технологиялық университеті)

(Almaty Technological University)

E-mail: almira_0708@mail.ru

Статья посвящена актуальной проблеме получения наноразмерных антимикробных препаратов и материалов. В работе рассмотрены и обсуждены перспективные методы синтеза наночастиц серебра различных размеров, форм и состава. Показаны уникальные антибактериальные свойства наносеребра и области их практического применения в текстильной промышленности. Установлено, что антибактериальные свойства наночастиц серебра сильно зависят от их геометрической структуры и их морфологии.

Мақала антимикробтық препараттар мен материалдардың нанобөлшектерін алудағы өзекті мәселеге арналған. Жұмыста әртүрлі өлшемдегі, пішіндегі және құрамдағы күміс нанобөлшектерінің синтездеу әдісінің болашағы қарастырылған және талқыланған. Текстиль өндірісіндегі нанокүмістің нанобактериялық қасиеті және тәжірибелік қолданылуы көрсетілген. Күмістің нанобөлшектерінің антибактериялық қасиеті оның геометриялық құрылымына және морфологиясына тәуелді екендігі белгілі болды.

Article is devoted to an actual problem of receiving nanodimensional antimicrobial preparations and materials. In work perspective methods of synthesis of nanoparticles of silver of various sizes, forms and structure are considered and discussed. Unique antibacterial properties of nanosilver and area of their practical application in the textile industry are shown. It is established that antibacterial properties of nanoparticles of silver strongly depend on their geometrical structure and their morphology.

Ключевые слова: наноматериалы, наночастицы серебра, антибактериальные свойства, текстильные материалы.

Негізгі сөздер: нанобұйымдар, күміс нанобөлшектері, антибактериялық қасиет, текстиль бұйымдары.

Key words: nanomaterials, silver nanoparticles, antibacterial properties, textile materials.

Введение

В последние годы нанонаука и производство наноразмерных материалов и изделий является одним из магистральных направлений развития современной науки и технологии. Это направление в области материаловедения и технологии активно развивается, захватывая все новые и новые области науки и промышленного производства [1,2].

Современные успехи в области нанотехнологии открывают новые возможности для разработки принципиально новых технологических процессов получения наноразмерных antimикробных препаратов и материалов.

Важной особенностью металлических наноматериалов, играющей ключевую роль при их использовании в медицине, косметике, пищевой и легкой промышленности, является их низкая токсичность.

Объекты и методы исследований

О бактерицидных свойствах металлического серебра и его соединений известно с незапамятных времен. В небольших концентрациях оно безопасно для человеческих клеток, но губительно для большинства бактерий и вирусов, поэтому получило широкое распространение для обеззараживания воды и пищи в быту и в борьбе с инфекциями при лечении людей. К настоящему времени уникальные antimикробные и противовирусные свойства соединений серебра всесторонне изучены [3-5].

Бактерицидные свойства металлического серебра связаны с его медленным окислением и высвобождением ионов Ag^+ в окружающую среду, поэтому представляется перспективным использование препаратов наносеребра как особого класса биоцидных агентов. Наночастицы обладают высокой антибактериальной эффективностью благодаря своей развитой поверхности, обеспечивающей максимальный контакт с окружающей средой. Кроме того, они достаточно малы и способны проникать сквозь клеточные мембраны, влиять на внутриклеточные процессы изнутри.

Исследования, посвященные влиянию НЧ серебра с широким распределением по размерам от 3 до 25 нм различных концентраций на жизнедеятельность грамотрицательных микроорганизмов, показали, что они отличаются большей устойчивостью, и при содержании серебра $75 \text{ мкг} \cdot \text{мл}^{-1}$ отмечалось прекращение роста во всех образцах. Методом электронной

микроскопии было установлено, что НЧ серебра не только закреплены на клеточной мембране, но способны также проникать сквозь нее и распределяться внутри бактерии. Такой способностью обладали только индивидуальные НЧ, но не их агрегаты. Кроме того, размеры НЧ, связанных с мембраной, как правило, не превышали размеров частиц, находящихся внутри клетки. На этом основании был сделан вывод, что только кластеры, способные к взаимодействию с клеточной оболочкой, могут внедряться в цитоплазматическое пространство.

Бактерицидный эффект НЧ сильно зависит от их размера и возрастает с его уменьшением. Только НЧ диаметром меньше 10 нм способны к непосредственному взаимодействию с бактерией. В предположении, что все частицы сферические, была рассчитана доля биологически активных кластеров в используемом образце, которая составила 0.093%. Рост микроорганизмов в значительной степени подавлялся, когда в среднем на одну клетку приходилось ~ 2000 таких кластеров. Статистические исследования показали, что в интервале 1-10 нм $\sim 98\%$ НЧ представляют собой декаэдры и икосаэдры, которые образованы, как отмечалось выше, тетраэдрическими кластерами, соединенными гранями. Кроме того, уменьшение размера НЧ сказывается на увеличении удельной поверхности бактерицидного образца и, как следствие, его суммарной активности. Этими обстоятельствами, возможно, обусловлена высокая биологическая активность частиц диаметром < 10 нм.

Та же группа исследователей изучала влияние НЧ серебра на активность вируса иммунодефицита человека. Для этого тестировались образцы НЧ, стабилизированных поливинил-2-пирролидоном и бычьим сывороточным альбумином. По данным электронной микроскопии были сделаны два основных вывода. Во-первых, оказалось, что все НЧ, закрепленные на вирусной оболочке, во всех экспериментах имели размеры от 1 до 10 нм. Это подтверждает заключение о ярко выраженной размерной зависимости биологической активности кластеров. Таким образом, по мнению авторов, решающий вклад в антибактериальную активность НЧ серебра вносят не нейтральные атомы металла, а ионы Ag^+ , адсорбированные на поверхности НЧ. Для выяснения влияния

размеров окисленных НЧ на бактерицидное действие их дисперсий были синтезированы крупные НЧ серебра (62 ± 18 нм). Выяснилось, что при одинаковом содержании металла дисперсии НЧ со средним диаметром 9.8 нм проявляли биологическую активность, в 10 раз превышающую активность дисперсий крупных серебряных кластеров.

Открытия последнего десятилетия продемонстрировали, что оптические, каталитические и антибактериальные свойства НЧ свойства сильно зависят от их геометрической структуры и их морфологии. Для выяснения этих закономерностей исследовали воздействие растворов нитрата серебра, сферических НЧ, наностержней и усеченных нанотреугольников с одинаковой концентрацией по металлу на клеточную культуру *E.coli* ATCC 10536. Оказалось, что для усеченных нанотреугольников практически полное ингибирование роста микроорганизмов достигалось при общем содержании серебра 1 мкг, в случае сферических НЧ количество 12.5 мкг существенно подавляло размножение, а 50—100 мкг полностью его останавливало. В случае наностержней даже при содержании серебра 100 мкг был отмечен продолжающийся рост отдельных колоний. Бицидная активность нитрата серебра оказалась сравнимой с действием сферических НЧ. Причиной неодинакового биологического действия кластеров различной формы является, возможно, различный вклад граней, обладающих наибольшей активностью, в суммарную поверхность частиц. Так, в случае усеченных нанотреугольников их вклад в поверхностную структуру максимален, а наностержни содержат их только на концах. В сферических и квазисферических частицах вклад граней в поверхностную структуру также невелик. Количественные оценки влияния различных поверхностей на бактерицидную емкость и активность НЧ, а также механизмы поражения бактериальных клеток должны явиться предметом дальнейших исследований в этой области.

Изучение фундаментальных вопросов, касающихся механизмов антибактериального действия НЧ серебра, в настоящее время находится на начальном этапе. Тем не менее, появляется все больше публикаций, в которых описано использование бактерицидных свойств наночастиц серебра для решения прикладных медицинских и промышленных задач. Наночастицы серебра обладают

высокой антимикробной активностью, как в растворах, так и при введении их в качестве добавки в жидкофазные материалы или при нанесении на различные поверхности. Отсюда вытекает большое разнообразие способов их применения для создания различных материалов с бактерицидными свойствами для широкого использования в качестве жидких дезинфицирующих средств, различных материалов и изделий медицинского назначения, косметических средств, лакокрасочных материалов, тканей и готовых изделий из них, полимерных материалов и фильтрующих материалов для очистки воды от бактериальных загрязнений.

Авторами разработаны соединения на основе природного полисахарида арабиногалактана и серебра, с размером частиц 10-30 нм, которые проявляют антимикробное действие в отношении патогенных микробов *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans* [6]. Они могут, находят широкое применение в фармакологии, медицине как антисептические средства наружного применения, как альтернативное антибиотикам лекарственное средство.

Так, сообщалось о положительном синергическом эффекте наносеребра и различных антибиотиков в борьбе с *S.aureus* и *E.coli*. Простая и дешевая процедура создания биосовместимого полиэлектролитного слоя на основе аминированной пленки полиэтилентерефталата, содержащего серебряные кластеры и обладающего высокой антикоагуляционной и бактерицидной активностью. Такие пленки могут применяться для модифицирования различных медицинских устройств, особенно сердечнососудистых имплантатов.

Большое число работ посвящено пропитке текстильных изделий растворами НЧ серебра с целью придания им антибактериальных свойств. Разработан простой и эффективный промышленный метод пропитки тканых и нетканых волокон наночастицами серебра ($\sim 2 - 3$ нм). Показано, что при пропитке волокна 5-10%-ным раствором НЧ его полная бактериостатическая активность по отношению к грамположительным и грамотрицательным микроорганизмам не исчезала даже после более десяти влажных обработок с применением моющих средств. Кроме того, испытания материала на животных обнаружили его полную безопасность для кожных покровов. В каждом случае

требуется специальная работа для определения допустимых концентраций наночастиц и условий использования материала или изделия, обеспечивающих безопасность для потребителя. Исследования токсических эффектов и механизма биологического действия наночастиц серебра могут послужить основой для выяснения причин возникновения нанопатологий и создания новых лекарственных средств.

Наночастицы серебра при нанесении на бинты могут использоваться для лечения ран, ожогов, их включают в традиционные материалы, например, ткани для постельного белья, носки и т. д.

В настоящее время в текстильной промышленности внедряются два вида нанотехнологий: производство нановолокон и заключительная отделка текстильных изделий с использованием нанотехнологий. При заключительной отделке используют наночастицы различных веществ в виде наноземель и нанодисперсий.

Известные способы получения серебро-содержащих целлюлозных материалов чаще всего предполагают пропитку исходного материала в водном растворе солей серебра, и недостатками таких методов являются ограниченность их применения из-за большого расхода дорогостоящих препаратов серебра.

Разработана методика антимикробной отделки текстиля, основанная на использовании наночастиц серебра. В противоположность традиционному подходу – добавлению готового наносеребра, авторы синтезировали Ag-наночастицы путем нанесения на текстильную основу водного раствора соли серебра с последующим УФ-облучением, которое вызывает *in situ* восстановление металла. Преимуществом данного процесса является то, что получаемые частицы имеют малый размер, равномерно распределены по поверхности ткани и не агломерируют. Процесс весьма гибок, может сочетаться с другими технологиями и может быть использован в различных областях применений, начиная с антимикробных нановолокон для фильтров и гидрогелевых покрытий перевязочных материалов, вплоть до покрытий с постепенным высвобождением реагента.

Антимикробные нановолокна произведены электропрядением из раствора поливинилового спирта содержащего соль сереб-

ра, с последующим УФ-восстановлением металла и стабилизирующей термообработкой. Полученная сеть нановолокон влагоустойчива и демонстрирует хорошие антимикробные свойства [7].

Для изготовления материала, обладающего антибактериальными свойствами, осуществляют обработку (полиэфирных, вискозных углеродных) волокон, наночастицами серебра путем введения последних в волокно [8]. Для наномодифицирования волокон смеси используют препарат, изготовленный введением в дистиллированную воду 0,5 - 6.% водной дисперсии, приготовленной из обратномциллирного водно-органического раствора наночастиц серебра, содержащей Ag^+ $1,5 \cdot 10^{-4}$ г-ион/дм³ и диоктилсульфосукцинат натрия 0,3 мас.%. Нетканые материалы, можно использовать для изготовления защитной спецодежды краткосрочного и разового применения в особых условиях, например, работниками служб МЧС при экстремальных ситуациях

С целью создания новых перевязочных материалов, целлюлозные нетканые материалы обрабатывались гидрогелем на основе звездообразных полимеров полиэтиленгликоля и полипропиленгликоля, что значительно снижало адгезию повязки к ране. К гидрогелю добавлялась соль серебра, и затем серебро восстанавливалось *in situ*, полученное гидрогелевое покрытие с наносеребром приобретало дополнительные антимикробные и противовоспалительные свойства.

Авторами разработаны металл-полимерные нанокомпозитные пленочные материалы как бактерицидные, нетоксичные, биоразлагаемое покрытие на раны, ожоги [9]. В раствор карбоксиметилхитина концентрации 2-4 мас.% добавляют коллоидный раствор наночастиц серебра и получают нанокомпозитный пленочный материал, в который при необходимости могут быть введены добавки. Нанокомпозитные материалы могут найти применение для приготовления бактерицидных жидких пластырей, которые используют при первичной обработке небольших повреждений кожи в быту и на производстве с целью предотвращения инфицирования раневой поверхности. Такие бактерицидные жидкие пластыри применяют в виде концентрированного раствора всех компонентов либо в форме аэрозоля. Бактерицидная пленка из композитного пленочного материала может быть использована в качестве биодеградирующего (рассасываю-

щегося) покрытия на раны и ожоги, выполненного в форме одно- или двухслойного покрытия. При этом возможно его сочетание с другими биodeградирующими полисахаридами (хитозан, альгинат). Показано, что непродолжительный контакт пленки с микроорганизмами в течение 3 часов приводит к практически полному уничтожению тест-культуры, как грамположительных, так и грамотрицательных микробов. Это свидетельствует об универсальном характере антимикробного (бактерицидного) действия композитных пленок на основе карбоксиметилхитина и наночастиц серебра. Полученные композитные пленки проявляют сильное бактерицидное действие по отношению к штаммам *Salmonella typhimurium* и *Staphylococcus aureus* при концентрации тест-культур как в 10^3 , так и в 10^5 КОЕ/мл.

На основе тканых и нетканых материалов природного или синтетического происхождения, разработано раневое покрытие (салфетки, тампоны, пластыри), содержащее наночастицы серебра от 80 до 99,9%, железа от 0,1 до 20%, алюминия от 0,1 до 20%, меди от 0,1 до 20%, обладающие биологической активностью в патогенной флоре [10]. Размеры наночастиц не превосходят 0,1 мкм. Наночастицы металлов могут быть нанесены на обе стороны покрытия. Раневое покрытие может содержать дополнительный слой, который в свою очередь может содержать лекарственные вещества. Установлено, что применение покрытия способствует: ускорению процессов очищения и заживления гнойных ран и трофических язв, уменьшению отека и гиперемии области швов и краев ран; при использовании салфеток в качестве перевязочного материала сокращается число гнойных осложнений; чистые гранулированные раны и область шва предохраняются от воздействия внешней среды.

Разработана композиция на основе гидрозоля серебра сополимера акриловой кислоты и акриламида с различным исходным соотношением мономеров для придания антимикробных свойств волокнисто-сетчатому материалу, имеющим техническое название «Поли-нап» [11]. Гидрозоль обладает кинетической и агрегативной устойчивостью, не токсична, может быть использована для придания антимикробных свойств широкому спектру волокнистых и сетчатых материалов, используемых при изготовлении одежды и обуви.

Для создания противовирусных и фун-

гицидных тканевых и нетканых текстильных материалов одно- и многоразового использования для применения в медицинских учреждениях разработаны наноматериалы [12]. Синтез композитных наночастиц осуществляют в присутствии заранее сформированных наночастиц оксида цинка в среде азотсодержащего соединения, выполняющего одновременно роль восстановителя и реакционной среды, представляющего собой комплекс нитрата серебра с азотсодержащим соединением (триэтиламин, трибутиламин, моноэтаноламин, диэтаноламин), в присутствии карбоновой кислоты, выбранной из ряда кислот, стеариновой, пальмитиновой, олеиновой, в температурном диапазоне 80-110°C в течение 1 часа и массовом соотношении: оксид цинка : серебро в конечном продукте от 90:10 до 10:90.

Разработан состав для антисептической обработки текстильных материалов на основе спиртового раствора блок сополимера полидиметилсилоксана и полиуретана, содержащие ионы Ag^+ и Cu^{2+} [13]. Материалы предназначены для производства изделий медицинского и бытового назначения, в том числе для изготовления белья, носков, стелек для обуви, полотенец, одежды для медицинского персонала, защитной одежды для работы в центрах с повышенной инфекционной опасностью, для тканевых защитных покрытий различных изделий.

Гидрофильные текстильные материалы с антимикробными свойствами, получены модификацией гидрозолеом серебра, стабилизированного высокомолекулярным полиамфолитом с концентрацией в пересчете на атомарное серебро 0,0020-0,0035 мас.%, при температуре $20^\circ C \pm 2^\circ C$ [14]. Для закрепления наночастиц серебра в структуре ткани используют целевой раствор, представляющий собой раствор таннидов с концентрацией 0,05-0,15 мас.%. Обработку осуществляют в течение 40-60 минут при температуре 65-75°C. В состав модифицирующей композиции входят компоненты, не вызывающие раздражающего воздействия на кожу человека.

Для придания антибактериальных свойств волокнам шерсти использован метод восстановления ионов серебра в растворе поливинилового спирта с применением глюкозы, этиленгликоля, глицерина и УФ облучения [15]. Методом просвечивающей электронной микроскопии установлено, что наиболее эффективное восстановление ионов

серебра наблюдается в присутствии глицерина, которое инициирует образование наночастиц с наименьшим средним размером и более равномерное их распределение. Образцы с наночастицами серебра проявляют бактерицидную активность.

Разработан непрерывный, дешевый, высокопроизводительный и неэнергоемкий технологический процесс получения наночастиц серебра для придания бактерицидных свойств различным текстильным материалам: халатам, маскам, постельным принадлежностям и пр. Технология синтеза и оборудование могут быть применены в существующих производственных процессах на любой фабрике и обслуживаться имеющимся персоналом. Благодаря малым размерам синтезированных наночастиц, отсутствию каких-либо химических стабилизаторов, бактерицидный эффект обработанных наносеребром текстильных материалов достигается при очень низких концентрациях наносеребра – в 5-10 раз ниже по сравнению с известными в литературе (независимые испытания на бактерицидные свойства по отношению к культурам *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger*, *Aureobasidium 3d*, *Penicillium phoeniceum*).

Коллоидные растворы наносеребра наносятся на ткань с помощью распыления, что обеспечивает равномерность распределения частиц и минимальную влажность ткани. При этом наночастицы диффундируют внутрь волокон, где они формируются и растут до требуемых размеров результате наночастицы прочно удерживаются в волокне, практически не смываются при стирке и обеспечивают продолжительный бактерицидный эффект ткани. Бактерицидная ткань имеет несколько применений. Во-первых, это материал для перевязки. Во-вторых, это нижнее белье, защищающее от микроорганизмов, в частности, носки в которых не преют ноги, а так же ковровые покрытия разного рода. В-третьих, это чехлы для вооружений, предохраняющие их от разного рода микроорганизмов. Существует два способа сделать ткань бактерицидной. Один внедрить в волокна бактерицидное вещество, которое будет медленно расходоваться, либо не расходоваться вовсе, например, наночастицы серебра или меди, другой – пропитать ткань этим бактерицидным веществом. Первый способ обеспечивает значительно более длительную защиту, однако применять его труднее

Швейцарская компания, SANITIZED AG, ведущий мировой специалист по противомикробной защите, разработала Sanitized® Silver, новейшее поколение противомикробных покрытий для синтетических волокон с середины 2007 года. Sanitized® Silver разработан для синтетических волокон, в особенности полиэфира, предпочитаемого материала для создания функционального текстиля для сектора производства одежды для занятий спортом и отдыха, а также для производства рабочей одежды. Такая противомикробная рецептура обеспечила устойчивость при стирке до 100 циклов стирки при 60°C. Продукт обеспечивает антибактериальное воздействие серебра на широкий диапазон бактерий, разрушая клеточные мембраны бактерий и препятствуя их росту. Кроме того, он препятствует размножению бактерий, отвечающих за создание запаха.

Для текстильных материалов разработано покрытие, постепенно выделяющее ионы серебра. Покрытие создается нанесением катионного полимера вместе с солью серебра на обработанную плазмой поверхность материала. Восстановление серебра производится УФ облучением. Катионный полимер обладает хорошей адгезией к анионной поверхности волокон. Благодаря наличию ряда функциональных групп, способных обеспечить сшивание полимера при достаточно мягких условиях реакции, характер процесса выделения ионов серебра может задаваться варьированием плотности сшивок.

Предложен новый метод модифицирования целлюлозных тканей, придающий устойчивый антимикробный эффект к многократным влажно-тепловым обработкам, а также улучшающий их физико-механические и гигиенические свойства [16,17]. Показано, что антимикробный эффект в исследуемых гидрозолях обусловлен наличием наночастиц металлического серебра с наиболее вероятным диапазоном размеров 1,5 – 5,0 нм. Установлено, что нижний предел содержания серебра в гидрозоле, при котором сохраняется бактерицидный эффект, составляет 0.223% мас. Методом электронно-сканирующей микроскопии установлено, что на поверхности волокон фиксируются частицы серебра с размером по высоте от 1 до 90 нм, горизонтали – от 1 до 31 нм.

Перспективные направления использования наночастиц серебра:

Создание санитарно-гигиенических средств нового поколения, используемых: для дезинфекции поверхностей в помещениях и предметов обстановки, санитарно-технического оборудования, изделий медицинского назначения, белья, предметов ухода за больными при инфекциях бактериальной, вирусной, грибковой природы; сельскохозяйственных помещений; воды и других жидкостей, при проведении генеральных уборок в лечебно-профилактических и медицинских учреждениях, на объектах коммунальной службы, предприятиях общественного питания, в спортивных комплексах и других учреждений массового посещения; для дезинфекционной и санитарно-гигиенической обработки хранилищ продукции. Модификация традиционных материалов, с целью придания им эффективных биоцидных свойств: изделия медицинского и санитарно-гигиенического применения, перевязочные материалы, ткани и текстильные изделия, лаки и краски, строительные и древесностружечные материалы, бумага и картон, различные виды упаковочных материалов и тары, пищевая резина и пленки, фильтры для воды другие материалы и покрытия.

Результаты и их обсуждения

Число публикаций, растущее с каждым годом, посвященных изучению антивирусной и антибактериальной активности наночастиц серебра, доказывает наличие повышенного интереса исследователей к этой проблеме как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Уже не вызывает никаких сомнений то обстоятельство, что НЧ серебра обладают высокой активностью в отношении всех биологических объектов, начиная от вирусных частиц и заканчивая организмом человека. Вместе с тем работы, направленные на количественную оценку биологического действия НЧ серебра на человека и животных, практически отсутствуют. К сожалению, неоспоримым является и тот факт, что в определенных условиях многие НЧ (в том числе и серебра, хотя, возможно, в меньшей степени) способны оказывать крайне негативное влияние на живые системы и даже вызывать тяжелые и необратимые изменения в организме. В последние годы стала зарождаться новая область медицины – нанотоксикология, усилия которой направлены на разработку комплексных подходов к изучению биологической и токсикологической активности НЧ в зависимости от их состава,

размера, формы и функционального покрова поверхности.

Заключение

Результатом этой работы в будущем должно стать создание высокоэффективных и малотоксичных препаратов на основе НЧ серебра для текстильных материалов широкого спектра действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пул Ч. Оуэнс Ф. Нанотехнологии: учеб. пособие. Техносфера, 2005. - 334 с.
2. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды. –**М., 2011. - 507с.**
3. Эрлих Г. Нанотехнологии как национальная идея. //Химия и жизнь. 2008. - №3. - С.32-38.
4. Крутиков Ю.А., Кудринский А.А., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы. //Успехи химии, 2008. -Т.77. -С.242-270.
5. Киселева А.Ю., Шушина И.А., [Козлова О.В.](#), [Телегин Ф.Ю.](#) Бактерицидные текстильные материалы на основе биологически активных препаратов и наносеребра. //Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности 2011. - Том. 12. - № 2. - С.110-112.
6. Патент RU 2278669. Средство, обладающее антимикробной активностью. Александрова Г.П., Грищенко Л.А., Фадеева Т.В., Медведева С.А., Сухов Б.Г., Трофимов Б.А. Оpubл. 27.06.2006.
7. Егорова Е.М. Наночастицы металлов в растворах: биохимический синтез и применение. //Нанотехника. 2004. -№1. -С.15-26.
8. Патент RU 2326 192. Способ изготовления нетканого материала с заданными биоцидными свойствами. Замета Б.В., Мишаков В.Ю., Жихарев А.П., Шавкин В.И., Баранов В.Д., Ревина А. **Оpubл.** 10.06.2008.
9. Патент RU 2474471. Коллоидный раствор наночастиц серебра, металл-полимерный нано-композитный пленочный материал, способы их получения, бактерицидный состав на основе коллоидного раствора и бактерицидная пленка из металл-полимерного материала. Александрова В.А. Широкова Л. Н. Оpubл. 10.02.2013.
10. Патент RU 2314834. Раневое покрытие Добыш С.В., Волков А.А. Оpubл. 20.01.2008.
11. Патент RU 2405557. Композиция на основе гидрозоля серебра для придания антимикробных свойств волокнисто-сетчатым материалам. Золина Л.И., Мишаков В.Ю., Жихарев А.П., Баранов В.Д., Полухина Л.М., Межуев С.В. Оpubл. 10.12.2010.
12. Патент RU 2451578. Способ получения биоцидных неорганических композитных наночастиц на основе оксида цинка. Бузин П.В., Кондратьев Д.Н., Гольдин В.В. Оpubл. 27.05.2012.

13. Патент RU 2426560. Состав для антисептической обработки тканых материалов. Беклемышев В.И., Мауджери У.О., Махонин И.И., Абрамян А.А., Солодовников В.А., Афанасьев М.М., Филиппов К.В. Оpubл.28.08.2011.

14. Патент RU 2456995. Способ получения гидрофильных текстильных материалов с антимикробными свойствами. Золина Л.И., Баранова О.Н., Мишаков В.Ю., Баранов В.Д. Оpubл. 27. 07. 2012.

15. Буринская А.А., Измерова Е.П., Киселев А.М., Басок М.О. Получение наночастиц серебра для придания бактерицидных свойств шерстяным материалам. //Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. 2012. - Том: 17. - № 3, - С.44-47.

16. Таусарова Б.Р. Маукенова А.Н. Разработка новых антимикробных материалов на целлюлозной основе и наносеребра. /Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства», г. Алматы, 17-18 октября 2013 г. - С. 366-368.

17. Маукенова А.Н., Султанова Ф., Таусарова Б.Р., Макажанова Х.Х.. Разработка полимерной композиции для придания антимикробных свойств текстильным материалам. /Республиканская научно-практическая конференция «Наука, образование, молодежь», Алматы, 2013. - С. 272-273.