

дини внаслідок високої проникливості та прямої дії на внутрішньоклітинні структури.

3. До пріоритетних завдань гігієнічної науки належить формування вітчизняної системи нанобезпеки у процесі державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурлев М.Я. Нанотехнология в прикладной биотехнологии // Biomedical and Biosocial Antropology. — 2009. — № 13. — P. 99-101.

2. Малышева А.Г. Проблемы химико-аналитических исследований при гигиенической оценке наноматериалов и нанотехнологий // Гигиена и санитария. — 2008. — № 6. — С. 16-20.

3. Невзорова В.В., Гмошинский И.В., Хотимченко С.А. Проблемы оценки безопасности наноматериалов, применяемых в упаковке пищевых продуктов // Вопросы питания. — 2009. — Т. 78, № 4. — С. 54-60.

4. О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы: Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 54 от 23.07.2007. — М., 2007.

5. О надзоре за производством и оборотом продукции, содержащей наноматериалы: Информ. письмо Роспотребнадзора № 0100/4502-07-02 от 02.05.2007. — М., 2007.

6. Рахманин Ю.А., Стехин А.А., Яковлева Г.В. Влияние квантовых состояний нанообъектов на биологические системы // Гиг. и сан. — 2008. — № 6. — С. 4-16.

7. Русаков Н.В. Эколого-гигиенические проблемы отходов наноматериалов // Гигиена и санитария. — 2008. — № 6. — С. 20-21.

8. Чечеткин В.Р., Прокопенко Д.В., Макаров А.А., Заседаев А.С. Биочипы для медицинской диагностики // Рос. нанотехнол. — 2006. — Т. 1, № 1. — С.13-27.

9. Яковлева Г.В., Стехин А.А. Особенности токсических свойств нанообъектов // Гигиена и санитария. — 2008. — № 6. — С. 21-26.

10. Down on the Farm: the impact of Nano-Scale Technologies on Food and Agriculture / ETC Group Report. — Ottawa, 2004.

11. Draft opinion of the scientific committee on the potential risks arising from nanoscience and nanotechnologies on food and feed safety. — European Food Safety Authority, 2008. — 35 p.

Надійшла до редакції 25.05.2010.

CHARACTERISTIC AND STABILITY OF ANTIMICROBIAL EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES IN COLLOID SOLUTIONS

Mikhienkova A., Mukha Yu.

НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА: ХАРАКТЕРИСТИКА И СТАБИЛЬНОСТЬ АНТИМИКРОБНОГО ДЕЙСТВИЯ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ



**МИХИЕНКОВА А.И.,
МУХА Ю.П.**

ГУ «Институт гигиены и медицинской экологии им. А.Н. Марзеева АМН Украины»,
Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины

УДК 579.63: 661.163:006.032,
648.6, 615.28

ричиною бурного розвитку нанотехнологій являється наявність у наночастиць (НЧ) комбінації унікальних властивостей, які обумовлюють їх ефективне використання не тільки в промисловості, але й в медицині [1-3].

При отриманні наночастиць виникає ряд труднощів. Хорошо відомо, що НЧ срібла швидко окисляються при контакті з повітрям з утворенням оксидного шару навколо НЧ. Крім того, НЧ легко агрегують в розчинах, що призводить до зниження їх активності. Тому до цього часу залишається актуальним питання стабілізації розчинів НЧ срібла [4, 5]. С медичних позицій важливим є підбір таких стабілізаторів, які не знижують антимікробної активності НЧ срібла.

На сьогодні розроблено багато методів отримання НЧ [6]. Серед них найбільш поширеним і доступним є хімічний спосіб за допомогою відновителів тетраборгидрида натрію, цитрату натрію, глюкози тощо.

В цій роботі представлено експериментальне вивчення антимікробних властивостей нанорозчину срібла в

НАНОЧАСТИНКИ СРІБЛА: ХАРАКТЕРИСТИКА І СТАБІЛЬНІСТЬ АНТИМИКРОБНОЇ ДІЇ КОЛОЇДНИХ РОЗЧИНІВ

Міхєнкова А.І., Муха Ю.П.

У ході експериментального дослідження було встановлено, що отриманий хімічним методом колоїдний розчин наночастинок срібла розміром 8-12 нм і концентрацією базового розчину 0,0016% проявляв антимікробну активність відносно тест-мікроорганізмів *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* і *C. albicans*, яка залежала від низки чинників. В якості стабілізуючих речовин використовували суміш поверхнево-активної речовини додецилсульфату натрію і полімеру полівінілпіролідону. Було вивчено вплив походження стабілізуючих речовин на збереження антимікробної активності дослідних розчинів, а також показана їхня стабільність протягом тривалого терміну спостереження.

© **Михиенкова А.И., Муха Ю.П. СТАТЬЯ, 2011.**

коллоидном растворе с размером частиц 8-12 нм, полученного путем химического восстановления из нитрата серебра в присутствии тетраборгидрида натрия.

Целью данной работы было изучение влияния стабилизаторов на антимикробную активность НЧ серебра; характеристика антимикробного действия НЧ серебра в коллоидных растворах и определение сроков сохранения их антимикробной активности.

Материалы и методы исследования. Как было указано, коллоидные растворы серебра (НЧ Ag) получали химическим методом. Для стабилизации НЧ серебра использовали поверхностно-активное вещество (ПАВ) додецилсульфат натрия (ДСН), полимер поливинилпирролидон (ПВП), а также смесь обоих стабилизаторов (ДСН + ПВП). Ранее для стабилизации коллоидных растворов серебра применялось одно из соединений — ПАВ, полимер или коллоидный кремнезем Людокс [7-9]. В данной работе для сравнения использованы ДСН в соотношении 15:1 относительно металла; ПВП в мольном соотношении 1:1; а также, в отличие от общепринятого метода стабилизации, оба стабилизатора — ДСН и ПВП, для чего порошки ДСН и ПВП одновременно растворяли в воде, добавляя в образованный коллоид раствор нитрата серебра, общая концентрация которого составляла $1,5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³. NaBH₄ добавляли в количестве 0,00227 г, смесь интенсивно перемешивали на протяжении 30 мин. Общий объем реакционной смеси составлял 40 см³.

Микробиологическому изучению подвергнуты образцы:

□ коллоидный раствор НЧ серебра со стабилизатором ДСН;

□ коллоидный раствор НЧ серебра со стабилизатором ПВП;

□ коллоидный раствор НЧ серебра со стабилизаторами ДСН + ПВП.

Во всех образцах концентрация НЧ серебра в базовом растворе составляла 0,0016% (0,016 мг/см³), а в его разведениях — 0,0008% (0,008 мг/см³) и 0,0004% (0,004 мг/см³). В базовом растворе ДСН был на уровне 0,064%, ПВП — 0,18% с последующим снижением в 2 и

в 4 раза в разведениях. При проведении опытов параллельно исследовали также контрольные образцы в соответствующих концентрациях: раствор нитрата серебра (AgNO₃) и растворы стабилизаторов (ДСН, ПВП и ДСН + ПВП).

Исследования проводили с использованием тест-микроорганизмов *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Escherichia coli* K12 NCTC 10538, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442 и *Candida albicans* ATCC 10231.

Опытные образцы исследовали через 1, 2, 4 и 24 часа, а также 15 и 30 дней, затем каждый месяц для выяснения сроков сохранения антимикробной активности растворов при комнатной температуре хранения.

Изучение антимикробных свойств коллоидных растворов НЧ Ag проводили суспензионным методом и оценивали согласно европейским стандартам [10, 11] по коэффициенту редукции (R), выраженному в lg. Достаточную эффективность антимикробной активности образца определяли как уменьшение количества бактерий на 5,0 lg, грибов — на 4,0 lg.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты, полученные по изучению влияния природы стабилизаторов на антимикробную активность НЧ серебра, представлены в табл. 1.

Прежде всего, обращает на себя внимание практически полное отсутствие антимикробной активности у раствора

коллоидного серебра при его стабилизации ПВП за срок наблюдения, за исключением действия на *E. coli* — через 24 ч экспозиции достигнута редукция >5,06 lg.

При использовании ПВП вступают в противодействие два свойства этого соединения. ПВП является неспецифическим антитоксиком на серебро. В то же время давно известно, что даже незначительные добавки ПВП существенно повышают устойчивость коллоидных растворов серебра. Такие результаты получены многими авторами при работе с наночастицами. Одновременно авторами указывается также на наличие бактерицидного действия растворов НЧ серебра, стабилизированных ПВП [12], что не нашло подтверждения в наших исследованиях при испытанных сроках экспозиции (24 ч).

В отличие от ПВП второй стабилизатор (ДСН) не снижал антимикробного действия НЧ серебра. Если сравнить эти результаты с полученными при испытании бинарного стабилизатора (ПВП + ДСН), то можно судить о более выраженном эффекте антимикробного действия при использовании в качестве стабилизатора только ДСН, особенно это проявилось на модели *S. aureus*. Несмотря на то, что в используемых для стабилизации концентрациях ДСН не оказывал бактерицидного действия (табл. 2), его влияние на активацию бактерицидного эффекта НЧ сере-

Таблица 1

Антимикробное действие коллоидных растворов НЧ серебра при разных стабилизаторах (lg R)

Средство	Экспозиция (часы)	Возбудители внутрибольничных инфекций		
		<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>C. albicans</i>
НЧ Ag (0,0016%) + ПВП	1	< 0,39	< 0,43	< 0,57
	2	< 0,39	< 0,43	< 0,57
	4	< 1,08	< 0,43	< 0,57
	24	> 5,06	< 0,43	< 0,57
НЧ Ag (0,0016%) + ДСН	1	> 5,06	2,73	> 4,19
	2	> 5,06	5,01	> 4,19
	4	> 5,06	> 5,18	> 4,19
	24	> 5,06	> 5,18	> 4,19
НЧ Ag (0,0016%) + ПВП + ДСН	1	> 5,06	1,57	> 4,19
	2	> 5,06	2,07	> 4,19
	4	> 5,06	4,35	> 4,19
	24	> 5,06	> 5,18	> 4,19
Исходное количество микроорганизма (контроль культуры), lg		7,45	7,17	6,68

CHARACTERISTIC AND STABILITY OF ANTIMICROBIAL EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES IN COLLOID SOLUTIONS

Mikhienkova A., Mukha Yu.

It was established in the experiment that colloid solution of silver nanoparticles, obtained by chemical method with the particle size of 8-12 nm and concentration of basic solution 0,0016% showed an antimicrobial activity for test-microor-

ganisms E. coli, P. aeruginosa, S. aureus and C. albicans. It depended upon a number of factors. A mixture of surface-active sodium dodecyl sulphate and polymer polyvinylpyrrolidone was used as a stabilizing substance. Impact of the nature of stabilizing substances on the preservation of antimicrobial activity of experimental solutions was studied and their stability during a long period of time was also demonstrated.

бра нельзя полностью исключить [13]. В малых концентрациях ПАВ проявляют обратимую адсорбцию на поверхности клетки, что вызывает, однако, функциональные нарушения в клеточных мембранах. Это, по нашему мнению, усиливает бактерицидный эффект НЧ серебра. Так, имеются сведения о повышении чувствительности стафилококков к пенициллину при наличии низких концентраций ПАВ [14].

Бинарный стабилизатор повышает защитную функцию в отношении НЧ серебра за счет двойной оболочки из мицелл ДСН и покрывающего его полимера ПВП. Таким образом усиливается стабильность наночастиц. В то же время ПВП, кроме того, что является антитоксом серебра, в силу своих свойств [15] нейтрализует действие самого ДСН на клетку, что в итоге проявляется в некотором снижении бактерицидного действия раствора НЧ серебра, стабилизированного бинарным стабилизатором, по сравнению с применением одного ДСН.

Положительные результаты, полученные по экспериментальному подбору стабилизаторов, позволили приступить к изучению антимикробного действия растворов НЧ серебра, стабилизированных бинарной смесью, в зависимости от вида микроорганизмов и определения сроков сохранения.

По интенсивности антимикробной активности НЧ серебра на тест-объекты последние можно разделить на три группы (табл. 3): грамположительные бактерии (*S. aureus*), грамотрицательные (*E. coli*, *P. aeruginosa*) и грибы (*C. albicans*). Наиболее устойчивыми оказались *S. aureus* (необходимая редукция — 5,0 lg — наступала после 4 ч экспозиции). Наиболее чувствительными к действию НЧ серебра оказались дрожжеподобные грибы *C. albicans* (необходимая ре-

дукция — 4,0 lg — наступала в первый же час контакта). Грамотрицательная группа микроорганизмов (*E. coli*, *P. aeruginosa*) занимала срединное положение, требуемый уровень редукции — 5,0 lg — наблюдался через 1-2 ч контакта микроорганизмов с НЧ серебра.

Рабочие разведения раствора НЧ серебра (0,0008%, 0,0004%) также проявляли высокую антимикробную активность, особенно по отношению к *C. albicans*: оба разведения, как и основной, базовый — 0,0016%, в первый же час экспозиции снижали количество дрожжеподобных грибов на 4,0 lg (>4,27 lg). Бактерицидное действие этих разведений на *E. coli*, *P. aeruginosa* и *S. aureus* было ниже, однако через 4-24 ч экспозиции требуемый эффект (снижение количества микроорганизмов на 5,0 lg) был достигнут.

Параллельно поставленный контроль, коллоидный раствор $AgNO_3$ с такой же концентрацией серебра, как и в опыте, не оказывал какого-либо микробиоцидного действия. Стаби-

лизаторы (ДСН и ПВП) также антимикробной активностью не обладали (табл. 2).

Важным показателем качества любого продукта является срок его годности, в данном случае — сохранение антимикробной активности. В табл. 4 представлены сведения, полученные при изучении сроков сохранения микробиоцидной активности стабилизированных растворов НЧ серебра.

Наиболее высокая и стабильная антимикробная активность раствора НЧ серебра была зафиксирована через 1 ч экспозиции в отношении *E. coli* и *C. albicans*, которая не изменялась весь период наблюдения. Два других тест-микроорганизма, *S. aureus* и *P. aeruginosa*, в процессе хранения образцов проявили большую устойчивость: для достижения необходимой редукции (5,0 lg) требовалось от 2 до 4 ч контакта. Однако антимикробное действие на них было также стабильным.

Для характеристики антимикробного действия любого агента важным является выяс-

Таблица 2
Антимикробные свойства контрольных растворов стабилизаторов (lg R)

Стабилизатор	Экспозиция (часы)	Возбудители внутрибольничных инфекций			
		<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>	<i>C. albicans</i>
ДСН (0,064%)	1	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	2	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	4	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	24	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
ПВП (0,18%)	1	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	2	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	4	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	24	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
ДСН + ПВП	1	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	2	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	4	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
	24	< 1,63	< 1,20	< 1,32	< 0,86
Исходное количество микроорганизма (контроль культуры), lg		7,45	7,20	7,14	6,68

нение наличия бактерицидного или бактериостатического эффекта, а также выявление возможной реактивации микроорганизмов после устранения действующего агента. В табл. 5 представлены результаты изучения указанных свойств коллоидного раствора НЧ серебра, из которых следует, что бактериостатического действия или реактивации микроорганизмов в течение 30 дней наблюдения не выявлено. После внесения взвеси микроорганизмов в 0,0016% раствор НЧ серебра во всех отобранных пробах рост микроорганизмов отсутствовал, что свидетельствует в пользу наличия микробицидного действия.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют исключительно высокую антимикробную активность серебра (0,016; 0,008 и 0,004 мг/см³) к

следованиями, использование в качестве стабилизатора одного ПВП замедляет и резко снижает бактерицидный эффект НЧ серебра. Сочетание ПВП с ДСН практически полностью восстанавливает антимикробную активность НЧ серебра.

В общих чертах ингибирующее действие серебра на микроорганизмы сводится к трем основным механизмам: 1) формирование комплекса с сульфгидрильными группами инактивирует ферменты поверхности клетки и изменяет процессы дыхания в мембране клетки; 2) связанные с компонентами поверхности клетки частицы серебра прерывают дыхание бактерии и синтез АТФ; 3) взаимодействие ионов серебра с ДНК блокирует транскрипцию [16].

Поскольку действие серебра на микробную клетку происхо-

дит в две стадии (адсорбция НЧ, активный транспорт НЧ в клетку), то правомерно утверждать, что степень проникновения НЧ в значительной мере зависит от строения клеточной стенки микроорганизма, что было описано нами в опубликованной ранее работе [17].

Высокая антимикробная активность синтезированного коллоидного раствора и сохранение стабильности на протяжении длительного периода наблюдения позволяют рекомендовать его к широкому применению в медицине (профилактика и лечение инфекций кожи, слизистых, в зубо-протезной практике, травматологии, дезинфектологии и пр.), в пищевой промышленности (упаковочный материал, тара), в производстве бытовой техники (покрытие холодильников, посудомоечных машин, кондиционеров и т.п.) [18-21].

Выводы

1. Синтезированный химическим методом стабилизированный коллоидный раствор наносеребра (НЧ Ag) с размером частиц 8-12 нм обладал высокой антимикробной активностью в отношении всех использованных тест-микроорганизмов: *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* и *C. albicans*.

2. Предложен бинарный стабилизатор НЧ серебра, состоящий из поливинилпирролидона и додецилсульфата натрия в оптимальных соотношениях. Широко используемый в качестве стабилизатора поливинилпирролидон резко снижал антимикробную активность серебра, за исключением *E. coli*, редукция которой была равна $R > 5,06 \lg$ через 24 ч контакта.

3. Базовый коллоидный раствор НЧ серебра (0,0016%)

Антимикробная активность стабилизированных коллоидных растворов наночастиц серебра (lg R)

Концентрация НЧ серебра	Экспозиция (часы)	Возбудители внутрибольничных инфекций			
		<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>	<i>C. albicans</i>
0,0016%	1	> 5,22	4,06	< 1,57	> 4,27
	2	> 5,22	5,00	2,07	> 4,27
	4	> 5,22	5,40	4,35	> 4,27
	24	> 5,22	> 5,46	> 5,24	> 4,27
0,0008%	1	4,07	3,71	< 1,57	> 4,27
	2	5,11	4,35	< 1,57	> 4,27
	4	> 5,22	5,35	2,72	> 4,27
	24	> 5,22	> 5,46	> 5,24	> 4,27
0,0004%	1	3,97	0,58	< 1,57	> 4,27
	2	5,07	4,03	< 1,57	> 4,27
	4	> 5,22	4,46	< 1,57	> 4,27
	24	> 5,22	> 5,46	5,09	> 4,27
Исходное количество микроорганизма (контроль культуры), lg		7,37	7,25	7,39	6,42

Таблица 3

испытанным тест-микроорганизмам, которые являются возбудителями многих инфекционных процессов, особенно среди внутрибольничных инфекций. Высокий результат обеспечивают два основных показателя растворов НЧ серебра: малые размеры НЧ серебра (8-12 нм), а также подобранная комбинация стабилизаторов, препятствующая агрегации наночастиц и тем самым обуславливающая длительные сроки сохранения антимикробной активности.

Как было показано нашими ис-

Сохранение антимикробной активности базового коллоидного раствора (0,0016%) НЧ серебра, стабилизированного бинарной смесью

Сроки наблюдения (месяцы)	Возбудители внутрибольничных инфекций							
	<i>E. coli</i>		<i>P. aeruginosa</i>		<i>S. aureus</i>		<i>C. albicans</i>	
	экспозиция*	lg R	экспозиция*	lg R	экспозиция*	lg редукции	экспозиция*	lg редукции
тотчас	1 ч	> 5,22	2 ч	5,05	4 ч	4,35	1 ч	> 4,27
1	1 ч	> 5,30	2 ч	> 5,16	4 ч	> 5,19	1 ч	> 4,53
4	1 ч	> 5,30	2 ч	> 5,30	4 ч	> 5,30	1 ч	> 4,23
8	1 ч	> 5,69	2 ч	> 5,46	4 ч	5,02	1 ч	> 4,25

Примечание: * — указано время (часы) достижения редукции для бактерий — 5,0 lg, для грибов — 4,0 lg.

Таблица 4

Таблица 5

Микробиоцидное действие базового коллоидного раствора НС серебра (0,0016%), стабилизированного бинарной смесью

Сроки наблюдения (дни)	Количество тест-микроорганизмов (lg)			
	E. coli	P.aeruginosa	S.aureus	C.albicans
Тотчас (контроль)	7,45	7,61	7,14	6,68
10	0*	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	0	0	0

Примечание: * — отсутствие роста микроорганизмов в 1,0 см³.

оказывал антимикробный эффект через 1 ч экспозиции на E. coli — R>5,22 lg, C. albicans — R>4,27 lg, P. aeruginosa — R>4,06 lg и S. aureus — R<1,57 lg. Уменьшение концентрации наносеребра в рабочих растворах (0,0008% и 0,0004%) не вызывало снижения активности в отношении C. albicans. Необходимое антимикробное действие на остальные тест-микроорганизмы наступало через 4-24 ч экспозиции.

4. Синтезированный коллоидный раствор наносеребра сохранял антимикробную активность на протяжении всего срока наблюдения — 8 месяцев. Требуемая антимикробная активность наступала через 1-24 ч экспозиции.

5. Установлено, что наночастицы серебра оказывали стабильный микробиоцидный эффект на изучаемые тест-микроорганизмы. Бактериостатическое действие или реактивация не выявлены на протяжении 30 дней наблюдения при внесении штаммов в базовый 0,0016% коллоидный раствор наносеребра.

6. Высокая антимикробная активность наночастиц серебра и сохранение микробиоцидных свойств на протяжении длительного срока наблюдения позволяют рекомендовать использовать синтезированный коллоидный раствор НС Ag в различных областях медицины, биологии и промышленности, где требуется наличие антимикробного действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические подходы к оценке безопасности наноматериалов / Г.Г. Онищенко, А.И. Арчаков, В.В. Бессонов и др. // Гигиена и санитария. — 2007. — № 6. — С. 3-10.

2. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти / Б. Патон, В. Мос-

каленко, І. Чекман, Б. Мовчан // Вісн. НАН України. — 2009. — № 6. — С. 18-26.

3. Жихарев И.В. Нанотехнологии в мире и Украине: проблемы и перспективы / И.В. Жихарев, В.И. Ляшенко // Економічний вісник Донбасу. — 2007. — № 1. — С. 117-145.

4. Goddard E.D. Principle of Polymer Science and Technology in Cosmetics and Personal Care / E.D. Goddard, J.V. Gruber. — New York, 1999. — P. 391-464.

5. Patakfalvi R. Kinetics of silver nanoparticle growth in aqueous polymer solutions / R. Patakfalvy, Z. Virany, I. Dekany // Coll. Polym. Sci. — 2004. — Vol. 283. — P. 299-305.

6. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы / Ю.А. Крутяков, А.А. Кудринский, А.Ю. Оленин и др. // Успехи химии. — 2008. — Т. 77, № 3. — С. 242-269.

7. Формирование, физико-химические и антибактериальные свойства стабилизированных наноструктур серебра на поверхности диспергированного кремнезема / Ю. Муха, А. Еременко, Н. Смирнова и др. // Химия, физика и технология поверхности: сб. науч. тр. — К., 2009. — Вып. 15. — С. 255-266.

8. Antibacterial Action and Physicochemical Properties of Stabilized Silver and Gold Nanostructures on the Surface of Disperse Silica / I. Mukha, A. Eremenko, G. Korchak, A. Mikhiyenko // Journal of Water Resource and Protection. — 2010. — Vol. 2, № 2. — P. 131-136.

9. One-step, size-controllable synthesis of stable Ag nanoparticles / Ch. Tian, B. Mao, E. Wang et al. // Nanotechnology. — 2007. — Vol. 18. — P. 285607-285614.

10. EN 13624:2003 Chemical disinfectants and antiseptics. Quantitative suspension test for the evaluation of fungicidal activity for instruments used in medical area. Test method and requirements (phase 2, step 1). — Brussels: European Committee for Standardization, 2003. — 36 p.

11. EN 13727:2003 Chemical disinfectants and antiseptics — Quantitative suspension test for the evaluation of bactericidal activity of chemical disinfectants for instruments used in the medical area — Test method and requirements (phase 2, step 1). — Brussels: European Committee for Standardization, 2003. — 36 p.

12. Ребрикова Н.Л. Исследования действия наносеребра и нитрата серебра на рост микроскопических грибов. Перспективы использования наносеребра для защиты реставрационных материалов / Н.Л. Ребрикова // Immunopathology, Allergology, Infectology. — 2010. — № 1. — С. 224.

13. Kora A.J. Superior bactericidal activity of SDS capped silver nanoparticles: Synthesis and characterization / A.J. Kora, R. Manjusha, J. Arunachalam // Materials Science and Engineering. — 2009. — Vol. 29. — P. 2104-2109.

14. Елинов Н.П. Влияние катионных, анионных, неионогенных ПАВ и антибиотиков на утечку гиалуронидазы из клеток золотистого стафилококка / Н.П. Елинов, А.П. Эльсукари // Антибиотики. — 1970. — № 2, т. 15. — С. 158-161.

15. Сидельковская Ф.П. Химия N-винилпирролидона и его полимеров / Ф.П. Сидельковская. — М.: Наука, 1970. — 150 с.

16. Препарати срібла: вчора, сьогодні і завтра / О.Б. Щербаков, Г.І. Корчак, О.В. Сурмашева та ін. // Фармацевтичний журнал. — 2006. — № 5. — С. 55-67.

17. Антимікробні та токсичні властивості наночастинок срібла у стабілізованих розчинах та у композиційній системі на основі високодисперсного кремнезему / А. Сердюк, В. Бабій, Г. Корчак та ін. // Довкілля та здоров'я. — 2010. — № 4. — С. 3-8.

18. Gin R.K.Y. Monitoring of active but non-culturable bacterial cells by flow cytometry / R.K.Y. Gin, C.L. Poh // Biotechnol. Bioeng. — 2005. — № 89. — P. 24-31.

19. Soudy I. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E.coli as a model for Gram-negative bacteria / I. Soudy, B. Salopek-Soudy // Colloid Interface Sci. — 2004. — № 275. — P. 177-182.

20. Antifungal activity of the silver ion against contaminated fabric / W.K. Jung, S.H. Kim, H.C. Koo et al. // Mycoides. — 2007. — № 50. — P. 265-269.

21. Thurman R.B. The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses / R.B. Thurman, C.P. Gerba // CRC Crit. Rev. Environ. Control. — 1989. — № 18. — P. 295-315.

Надійшла до редакції 12.08.2010.