

ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF THE COMPOSITE ON THE BASIS OF KAOLIN AND SILVER NANOPARTICLES

Surmasheva O.V., Romanenko L.I., Korchak G.I., Nikonova N.O., Gorval A.K., Berezovchuk S.M., Didikin G.G.

АНТИМІКРОБНА АКТИВНІСТЬ КОМПЗИТУ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ ТА НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА



¹ СУРМАШЕВА О.В.,
¹ РОМАНЕНКО Л.І.,
¹ КОРЧАК Г.І., ¹ НИКОНОВА Н.О.,
¹ ГОРВАЛЬ А.К.,
² БЕРЕЗОВЧУК С.М.,
² ДІДІКІН Г.Г.

¹ ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України", м. Київ
² Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, м. Київ

УДК 615.33:678.046.3

Ключові слова: каолін (біла глина), "Кремневіт", наночастинки срібла, антимікробна дія, фізичні властивості.

Одним з перспективних напрямків удосконалення дезінфікуючих та лікарських засобів є розвиток досліджень у сфері нанобіотехнологій. Досягнення науки останніх десятиліть у цій галузі дозволили отримати чисті наночастинки (НЧ) багатьох металів [1]. У медицині найбільш поширене вивчення дії НЧ срібла (НЧ Ag) завдяки їхній високій антимікробній активності [2].

Важливим напрямком розвитку нанотехнологій є створення модифікацій наночастинок з різними сполуками, що ідентифікують як композити. При створенні композитів НЧ срібла належить одне з провідних місць. З часом до складу наноконструктивів стали залучати все більше різновидів сполук. Серед них відома з давніх часів біла глина (каолін, *Volus alba*), яка справедливо розглядається як природний нанооб'єкт [3]. З точки зору фізичних па-

раметрів це насамперед використання високодисперсних фракцій глини, до яких належить відомий препарат "Кремневіт". Останній має перевагу перед іншими завдяки вмісту незначної кількості слюди та кварцу, гранулометричному складу та високій адсорбції мікроорганізмів [4]. Водночас біла глина не володіє бактерицидною активністю. Тому Міжнародному центру електронно-променевої технології при Інституті електрозварювання імені Патона Є.О. нами було запропоновано створити композит з НЧ срібла на основі препарату "Кремневіт".

Технологія електронно-променевого випарювання у вакуумі з послідовним осадженням парової фази з успіхом застосовується при отриманні покриттів з наночастинками неорганічних сполук [5]. Останнім часом велике практичне значення набули подібні

АНТИМІКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЗИТА НА ОСНОВЕ КАОЛИНА И НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

¹ Сурмашева Е.В., ¹ Романенко Л.И.,
¹ Корчак Г.И., ¹ Никонова Н.А., ¹ Горваль А.К.,
² Березовчук С.М., ² Дидикин Г.Г.

¹ ГУ "Институт гигиены и медицинской экологии им. А.Н. Марзеева НАМН Украины", г. Киев

² Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев

Цель исследования. Изучение антимикробной активности и физических параметров композита на основе каолина и наночастиц серебра.

Материалы и методы. Создан композит на основе препарата каолина "Кремневит" и наночастиц серебра (НЧ Ag), полученных методом электронно-лучевого выпаривания в вакууме с последующим осаждением паровой фазы. Антимикробную активность определяли по отношению к *E. coli* суспензионным методом. Контролем служил раствор азотнокислого серебра. Определение размера, формы и распределения НЧ Ag выполнено на растровом электронном микроскопе Tescan Vega ЗМ. Стабильность водных суспензий композита регистрировали методом лазерной корреляционной спектроскопии на спектрометре "Zeta Sizer-3", концентрацию серебра — методом атомно-эмиссионной спектроскопии.

Результаты исследования и их обсуждение.

Полученный композит обладал высокой антимикробной активностью по отношению к *E. coli*. Композит, разбавленный до концентрации 0,27 мкг/г по серебру, оказывал бактерицидный эффект на микроорганизмы в концентрации ($4,5 \times 10^6$) КОЕ/мл за 24 часа контакта, а разбавленный до 2,7 мкг/г — за 4 часа контакта. Электронной микроскопией определен размер НЧ Ag на уровне 10-60 нм, НЧ Ag имели сферическую форму. Наиболее характерный размер наночастиц каолина — 60-140 нм. НЧ Ag образуют стабильную структуру с частицами каолина. После 50 дней отстаивания суспензия композита в концентрации 0,001% по серебру сохраняла высокую антимикробную активность, концентрация НЧ Ag в надосадочной жидкости была на уровне ($0,054 \pm 0,01$) мкг/г. Высокая антимикробная активность полученного композита позволяет рекомендовать его для применения в медицине с целью профилактики и лечения инфекций различной локализации как энтеросорбент при желудочно-кишечных инфекциях, при дисбактериозах, а также в других областях биологии и народного хозяйства.

Ключевые слова: каолин (белая глина), "Кремневит", наночастицы серебра, антимикробное действие, физические свойства.

© Сурмашева О.В., Романенко Л.І., Корчак Г.І., Ніконова Н.О., Горваль А.К., Березовчук С.М., Дідікін Г.Г. СТАТТЯ, 2015.

композиції, які складаються з різномірних слабо взаємодіючих структурних елементів.

Метою досліджень було вивчення антимікробної дії та фізичних параметрів композиту на основі каоліну та наночастинок срібла.

Матеріали та методи. Попередньо було виконано дослідження деяких властивостей препарату "Кремневіт", а саме: його гранулометричного, фазового складу та адсорбційної активності щодо мікроорганізмів [4].

Наночастинки срібла отримували шляхом високодисперсного випарювання металевого срібла у вакуумі електронним променем, який генерувався електронно-променевою гарматою, з наступним фізичним осадженням парової фази на підложку з препарату білої глини "Кремневіт" [5].

Дослідження фізичних параметрів "Кремневіту" та отриманого композиту проводили декількома методами.

Електронно-мікроскопічне дослідження виконано на проникаючому електронному мікроскопі (ПЕМ) JOEL JEM-100С з прискорюючою напругою 100 кВ. Програму Image I "NIH" 44 використовували для визначення розмірів наночастинок на знімках. Дослідження поверхні отриманого нанокompозиту з метою визначення форми, розміру та розподілення НЧ Ag за розмірами виконано на растровому електронному мікроскопі (РЕМ) Tescan Vega 3М. Отримані результати представлено у вигляді фотографій мікроструктур (електронно-мікроскопічні дослідження було виконано за сприяння Міжнародного центру електронно-променевих технологій при Інституті електрозварювання імені Є.О. Патона НАНУ).

Стабільність водних суспензій композиту реєстрували методом лазерної кореляційної спектроскопії на спектрометрі "Zeta Sizer-3". Концентрацію срібла визначали методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (АЕС-ІСП) на приладі Optima 2 100 DV фірми Perkin Elmer (США). Дослідження виконано у ДУ "Інститут медицини праці НАМН України".

Антимікробну активність зразків композиту досліджували суспензійним методом щодо *E. coli* ATCC 6538. Контролем слугувало азотно-кисле срібло (AgNO_3). З усіх зразків та контролю готували вихідний 0,02% розчин за концентрацією срібла. Отриманий зразок обробляли ульт-

развуком. Послідовні розбавлення вихідного розчину робили на дистильованій воді. Попередньо зроблені розбавлення на фосфатному буфері були забраковані, оскільки срібло вступало у реакцію з фосфатами, що призводило до утворення осаду.

До отриманих розбавлень вносили суспензію *E. coli* на рівні 10^6 КУО/мл, струшували на змішувачі Vortex та залишали для контакту на 24 год за температури 22°C , після чого по 0,1 мл паралельно висівали на 3 чашки Петрі з живильним середовищем. Посіви інкубували протягом 18 год, потім підраховували колонії *E. coli*, які виростили на чашках Петрі, та визначали бактерицидну дію розбавлень композиту та AgNO_3 у Іг

Таблиця 1
Антимікробна активність композиту "Кремневіт + НЧ Ag" (вихідна концентрація НЧ $(271,0 \pm 5,18)$ мкг/г)

Проба	Концентрація НЧ Ag, мкг/см ³	Експозиція	Кількість <i>E. coli</i> , КУО/см ³	
			дослід	контроль
1	2,7	24 год	0	$4,5 \cdot 10^6$
2	0,27		0	
3	0,027		850	
4	0,0135		зливний ріст	

Таблиця 2

Антимікробна активність AgNO_3

Проба	Концентрація іонів Ag, мкг/см ³	Експозиція	Кількість <i>E. coli</i> , КУО/см ³	
			дослід	контроль
1	27	24 год	0	$4,5 \cdot 10^6$
2	2,7		0	
3	0,27		зливний ріст	
4	0,135		зливний ріст	

Таблиця 3

Антимікробна активність різних концентрацій НЧ Ag у композиті та контролі AgNO_3

Експозиція, год.	Зразки, кількість мікроорганізмів <i>E. coli</i> у 0,5 см ³ (КУО)			
	1	2	3	4
Одразу	171000	171000	171000	171000
2	760	2500	1400	46000
4	0	88	40	23000
6	0	15	0	500

Примітки: 1 – концентрація НЧ Ag $(379,0 \pm 5,12)$ мкг/см³;
2 – концентрація НЧ Ag $(250,0 \pm 8,43)$ мкг/см³;
3 – концентрація НЧ Ag $(271,0 \pm 5,18)$ мкг/см³;
4 – контроль, концентрація AgNO_3 , $(270,0 \pm 5,34)$ мкг/см³.

ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF THE COMPOSITE ON THE BASIS OF KAOLIN AND SILVER NANOPARTICLES

¹Surmasheva O.V., ¹Romanenko L.I.,
¹Korchak G.I., ¹Nikonova N.O., ¹Gorval A.K.,
²Berezovchuk S.M., ²Didikin G.G.

¹State institution "A.N. Marzeyev Institute of Hygiene and Medical Ecology of NAMS of Ukraine", Kyiv

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

The purpose of the study. The study of antimicrobial activity and physical properties of composite on the basis of kaolin and silver nanoparticles was the purpose of the study.

Materials and methods. The composite on the basis of the preparation of kaolin "Kremnevit" and silver nanoparticles (NPS Ag) obtained by electron-beam evaporation in vacuum with subsequent deposition from the vapour phase has been created. Antimicrobial activity against *E. coli* was determined by suspension method. As the control was a solution of silver nitrate. Determination of the size, shape and distribution of NPS Ag has been performed by a scanning electron microscope of Tescan Vega GP. The stability of aqueous suspensions of the composite was recorded by laser correlation spectrometry in spectrometer

"Zeta Sizer-3", the concentration of silver by the method of atomic emission spectroscopy.

The research results and their discussion.

The obtained composite had high antimicrobial activity against *E. coli*. Composite diluted to a concentration of 0,27 mcg/g by silver exerted a bactericidal effect on microorganisms at a concentration of (4.5×10^6) CFU/ml for 24 hours, and diluted up to 2.7 mcg/g — for 4 hours of contact. Electron microscopy sized NPS Ag for the level of 10-60 nm, NPS Ag had a spherical shape. The most common size of the nanoparticles of kaolin is from 60-140 nm. NPS Ag form a stable structure with particles of kaolin. After 50 days of aging the suspension of the composite with concentration of 0.001% by silver had maintained its high antimicrobial activity, the concentration of NPS Ag in the supernatant was $(0,054 \pm 0,011) \mu\text{g/g}$. The high antimicrobial activity of the obtained composite material allowed recommend it for application in medicine for the prevention and treatment of infections of different localization, as enter sorbent in the gastro-intestinal infections, dysbacteriosis, as well as in other areas of biology and economy.

Keywords: kaolin (white clay), "Kremnevit", silver nanoparticles, antimicrobial activity, physical properties.

редукції. Аналогічно контролювали кількість *E. coli*, яку вносили у досліджувані зразки.

Застосування контролю AgNO_3 дозволяло робити висновки щодо антимікробної активності іонного срібла (розчин AgNO_3) та НЧ Ag (розчин композиту).

Результати та їх обговорення. Антимікробну активність визначали у зразках композиту з концентрацією срібла від $(250,0 \pm 8,43)$ мкг/г до $(379,0 \pm 5,12)$ мкг/г.

У таблиці 1 представлено результати визначення антимікробної активності композиту з вихідною концентрацією НЧ Ag $(271,0 \pm 5,18)$ мкг/г.

У даній серії експериментів було заплановано експозицію 24 год і чотири послідовних розбавлення, оскільки не було уявлення щодо бактерицидної активності НЧ срібла у створеній композиції. Аналогічний підхід було застосовано до контролю — AgNO_3 (табл. 2).

Як видно з таблиці 1, досліджуваний композит мав високу антимікробну дію. *E. coli* у чисельності $4,5 \cdot 10^6$ КУО/см³ гинули за 24 години контакту за концентрації наночастинок срібла 0,27 мкг/см³ (редукція — 5,5 lg). Це дозволяє стверджувати, що вихідний зразок композиту ("Кремневіт" + НЧ Ag) мав дуже високу антимікробну активність і знищував

значну кількість мікроорганізмів за короткий проміжок часу.

Визначення антимікробної дії іонів азотнокислого срібла щодо такої ж кількості *E. coli* (як у досліджуваному композиті) вказує на відповідну активність розчину з концентрацією 2,7 мкг/см³ (табл. 2). Порівняння показників таблиць 1 і 2 свідчить, що суспензія наносрібла більш ніж у 10 разів активніша за азотнокисле срібло.

З урахуванням сфери можливого практичного застосування композиту доцільно було надати більш детальну характеристику його антимікробної активності. Виконано погодинне визначення ан-

тимікробної дії трьох зразків з різними вихідними концентраціями НЧ Ag. Як і у попередніх дослідках, усі зразки (у тому числі й AgNO_3) були доведені до однакової концентрації за сріблом — 2,7 мкг/см³. Вже за 4 години НЧ срібла виявили високу антимікробну дію, у той час як динаміка антимікробного ефекту AgNO_3 була значно повільнішою (табл. 3)

Порівняння вказаних результатів свідчить про доцільність створення композиту з препаратом "Кремневіт" і НЧ Ag та його перевагу.

Після отримання композиту "Кремневіт + НЧ Ag" було вико-

Рисунок 1
Частинки кремневіту, розмір частинок від 60 нм до 140 нм. Електронна мікроскопія (збільшення x 58000)

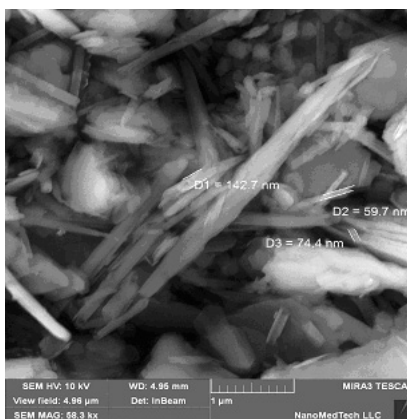
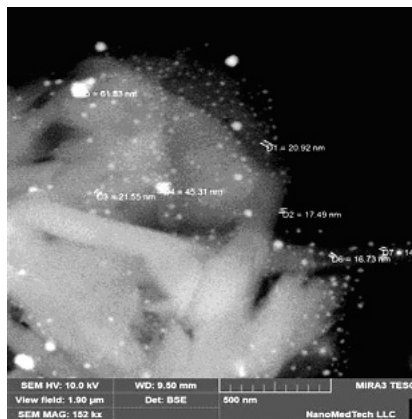


Рисунок 2
Кремневіт з наночастинками Ag, розмір частинок від 14 нм до 61 нм. Електронна мікроскопія (збільшення x 152000)



нано електронномікроскопічні дослідження самого препарату "Кремневіт" та композиту з використанням растрового електронного мікроскопа. Зображення частинок "Кремневіту" представлено на рисунку 1, на якому позначені розміри наночастинок від 60 нм до 140 нм, що дозволяє віднести препарат до природних нанооб'єктів.

Електронномікроскопічне зображення НЧ Ag, адсорбованих на частинках "Кремневіту", представлено на рисунку 2, на якому позначено НЧ від 14 нм до 60 нм. Щодо форми НЧ, то вона сферична. За даними літератури, частинки такої форми здійснюють найменшу токсичну дію на клітини теплокровних. Крім того, частинки такої форми розміром понад 10 нм також не вважаються шкідливими для організму [6, 7].

того, попередньо було встановлено, що завдяки малій концентрації суспензії великі частинки не маскують нанорозмірні частинки. Досліджено зразок, який був щойно отриманий та ретельно перемішаний (зразок 1), зразок, який відстоювався 24 години (зразок 2), та зразок, який відстоювався 22 дні (зразок 3). У зразках 2 та 3 досліджували надосадову рідину після вказаного відстоювання. Визначали такі параметри: розмір частинок за фракціями, кількість частинок кожної фракції, об'єм кожної фракції. Отримані результати представлено у таблицях 4-6.

Порівняльний аналіз трьох послідовних за часом вимірювань свідчить про поступове осадження великих за розмі-

ром частинок та можливість виявлення завдяки цьому нанорозмірних частинок композиту.

Так, зразок № 3 складався з двох фракцій: наночастинок розміром 30-100 нм (87,7%) та наночастинок розміром 100-1000 нм (12,3%). Ці фракції є носіями НЧ Ag, що підтверджено результатами визначення концентрації срібла у надосадовій рідині після 50 діб відстоювання відповідних розбавлень зразка композиту (табл. 7).

З отриманих результатів можна зробити такий висновок: частинки каоліну та НЧ Ag активно взаємодіють. Утворюється стійка стабільна структура, яка володіє антимікробною активністю. Підставою для такого твердження є фізична структура каоліну. Основним компонентом "Кремневіту" є кристали каолініту, які складаються з багатьох шарів декількох видів накладання та мають два типи зарядів — позитивний і негативний. Структура каолініту та наявність пор між контактуючими частинами сприяють стійкій адсорбції НЧ Ag на його частинках, що підтверджено наявністю срібла у надосадовій рідині після 50 діб відстоювання суспензії.

Створення композиту на основі каоліну та срібла було зумовлене, крім вже викладеного вище, наступним. Відома висока адсорбційна актив-

Зразок № 1. Комплексна характеристика показників вихідної суспензії композиту після перемішування

Фракція	Розмір наночастинок, нм	Кількість, %	Об'єм, %
1	170-1400	92,4	14,3
2	1400-4500	7,6	85,7

Таблиця 4

Зразок № 2. Комплексна характеристика показників вихідної суспензії за 24 години відстоювання композиту

Фракція	Розмір наночастинок, нм	Кількість, %	Об'єм, %
1	190-650	90,8	58,0
2	650-1600	9,2	42,0

Таблиця 5

Середній розмір наночастинок срібла при використаній технології залежить від тривалості процесу їх отримання. За 3 хвилини експозиції розмір частинок, як правило, дорівнює 25 нм. При збільшенні часу до 10 хвилин спостерігається збільшення частинок до 50-60 нм [5].

Враховуючи здатність НЧ до агрегації у водних чи інших розчинах, провели визначення фактичних розмірів та стабільності структури у водній суспензії частинок кремневіту з адсорбованими на них наночастинами срібла методом лазерної кореляційної спектроскопії на спектрометрі "Zeta Sizer-3". Досліджували 0,001% розчин суспензії (концентрація наночастинок срібла 0,27 мкг/см³), який виявляв високу бактерицидну активність. Крім

Зразок № 3. Комплексна характеристика показників вихідної суспензії композиту за 22 доби відстоювання

Фракція	Розмір наночастинок, нм	Кількість, %	Об'єм, %
1	30-100	87,7	7,1
2	100-1000	12,3	92,9

Таблиця 6

Визначення срібла у надосадовій рідині після 50 діб відстоювання

№ з/п	Статус зразка	Ступінь розбавлення суспензії, %	Концентрація срібла у розбавленні, мкг/г	Концентрація срібла у надосадовій рідині, мкг/г
1	Суспензія композиту	0,01	2,7	0,22 ± 0,012
2	Суспензія композиту	0,001	0,27	0,054 ± 0,011
3	Вихідний зразок композиту	-	-	379 ± 5,12

Таблиця 7

ність та адсорбційна ємність каоліну, його застосування як сорбента при лікуванні опіків, інших уражень шкіри та як ентеросорбента при шлунково-кишкових захворюваннях, дисбактеріозах та як поставачальника в організм мікро- та макроелементів.

Серед наявних наночастинок металів при створенні композиту перевагу надали срібла, оскільки відома низька ймовірність виникнення резистентності мікроорганізмів до цього бактерициду [8]. Крім того, срібло здійснює проти-запальну дію, особливо при загоєнні ран, опіків [9, 10], що посилює аналогічну дію каоліну. Щодо наночастинок срібла, які входять до складу композиту, то вони мають сферичну форму, яку вважають найменш активною та токсичною щодо біологічних структур [6, 7]. Токсичність залежить також від концентрації НЧ. У наших дослідженнях концентрація срібла у вигляді наночастинок була дуже низькою, хоча володіла високою бактерицидною дією.

Висновки

1. Композит на основі препарату "Кремневіт" з наночастинами Ag сферичної форми та розміром 10-60 нм, отриманих за електронно-променевою технологією, має високу антимікробну активність: концентрація 0,27 мкг/г за наночастинами Ag знищувала 5,5 lg E. coli за 24 години контакту, що у 10 разів вище, ніж дія іонного срібла за тих саме умов.

2. Виявлення у надносадів рідині 0,001% суспензії композиту наночастинок глини з адсорбованими наночастинами Ag за 50 діб зберігання на рівні $(0,054 \pm 0,011)$ мкг/г свідчить про активну взаємодію компонентів та наявність стабільної структури, що не потребує додаткової стабілізації і володіє антимікробною активністю.

3. Висока антимікробна дія композиту "Кремневіт" з НЧ Ag, стабільність отриманої структури, лікувальні властивості самого каоліну дозволяють рекомендувати подальше вивчення властивостей композиту з метою створення профілактичних та лікувальних засобів для зовнішнього та внутрішнього застосування у

медицині, біології та різних галузях промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наноматериалы. Регуляторные вопросы / В.И. Масычева, Е.Д. Даниленко, А.О. Белкина и др. // Ремедиум. — 2008. — № 9. — С. 12-163.

2. Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles / C. Baker, A. Pradhan, L. Pakstis et al. // J. Nanosci. Nanotechnol. — 2005. — Vol. 5. — P. 244-249.

3. Корчак Г.І. Властивості природного нанооб'єкта — каоліну // Довкілля та здоров'я. — 2014. — № 4. — С. 45-48.

4. Корчак Г.І. Адсорбційна активність каоліну (Мікробіологічні дослідження) / Г.І. Корчак, О.В. Сурмашева, Л.І. Романенко, А.І. Маринин, В.В. Олишевський, А.Б. Марченко. // Довкілля та здоров'я. — 2014. — № 4. — С. 37-41.

5. Мовчан Б.А. Наноструктурные покрытия серебра и меди на порошках неорганических и органических веществ, осаждаемых из паровой фазы в вакууме / Б.А. Мовчан, И.С. Ковинский // Физико-химические проблемы современного материаловедения. — В 2-х т. — Т. 2. — К. : Академперіодика, 2013. — С. 127-139.

6. Novel templating synthesis of necklace-shaped mono- and bimetallic nanowires in hybrid organic-inorganic mesoporous material / A. Fukuoka, Y. Sakamoto, S. Guan et al. // J. Am. Chem. Soc. — 2001. — Vol. 123. — P. 3373-3374.

7. Pal S. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticles? A study of the Gram-negative bacterium *Escherichia coli* / S. Pal, Y.K. Tak, J.M. Song // Appl. Environ. Microbiol. — 2007. — Vol. 73. — P. 1712-1720.

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

9. Chaloupka K. Nanosilver as a new generation of nanoprodukt in biomedical applications / K. Chaloupka, Y. Malam, A.M. Seifalian // Trends Biotechnol. — 2010. — Vol. 28. — P. 580-588.

10. Miura N. Cytotoxic effect and apoptosis induction by silver nanoparticles in HeLa cells / N. Miura,

Y. Shinohara // Biochem. Biophys. Res. Commun. — 2009. — Vol. 390. — P. 733-737.

REFERENCES

1. Masycheva V.I., Danilenko E.D., Belkina A.O., Ivankina T.Yu., Kisurina M.I., Sysyova G.M. Remedium. 2008 ; 9 : 12-17 (in Russian).

2. Baker C., Pradhan A., Pakstis L., Pochan D.J., Shah S.I. J. Nanosci Nanotechnol. 2005 ; 5 : 244-249.

3. Korchak H.I. Dovkillia ta zdorovia. 2014 ; 4 : 45-48 (in Ukrainian).

4. Korchak H.I., Surmasheva O.V., Romanenko L.I., Marinin A.I., Olishvskyi V.V., Marchenko A.B. Dovkillia ta zdorovia. 2014 ; 4 : 37-41 (in Ukrainian).

5. Movchan B.A., Kovinskii I.S. Nanostrukturnye pokrytiia serebra i medi na poroshkakh neorganicheskikh i organicheskikh veshchestv, osazhdaemykh iz parovoi fazy v vakuume [Nanostructural Cover of Silver and Copper on the Powders of Inorganic and Organic Substances, Precipitated from Vapour Phase in Vacuum]. In : Fiziko-khimicheskie problemy sovremennogo materialovedeniia [Physico-Chemical Problems of Modern Hyology]. Kiev : Akademperiodika ; 2013 : 127-139 (in Russian).

6. Fukuoka A., Sakamoto Y., Guan S., Inagaki S., Sugimoto N., Fukushima Y. J Am Chem Soc. 2001 ; 123 : 3373-3374.

7. Pal S., Tak Y.K., Song J.M. Appl. Environ. Microbiol. 2007 ; 73 : 1712-1720.

8. Shcherbakov O.B., Korchak H.I., Skorokhod I.M. et al. Farmatsevtichnyi zhurnal. 2006 ; 5 : 55-67 (in Ukrainian).

9. Chaloupka K., Malam Y., Seifalian A.M. Trends Biotechnol. 2010 ; 28 : 580-588.

10. Miura N., Shinohara Y. Biochem Biophys Res Commun. 2009 ; 390 : 733-737.

Надійшла до редакції 07.07.2015