

БАКТЕРИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В РАСТВОРАХ И НА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЕМА

Г.Р. Яшан¹, Г.В. Крылова¹, А.М. Еременко¹, Н.П. Смирнова¹,
В.П. Жалко-Титаренко², В.Ф. Мариевский², И.С. Чекман³

¹ Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко Национальной академии наук Украины
ул. Генерала Наумова 17, 03164 Киев-164, annaerem@ukr.net

² Институт эпидемиологии и инфекционных заболеваний
им. Л.В. Громашевского, ул. Амосова 5, 03038 Киев-38

³ Национальный Медицинский Университет им. О.О.Богомольца
ул. Богомольца 4, 01024 Киев-24

В работе исследована бактерицидная активность фотохимически генерированных наноразмерных частиц (НЧ) серебра, золота и их бинарных композиций (БМНЧ), со средним размером 20 – 30 нм, стабилизированных цетилтриметиламмоний бромидом (ЦТАБ), по отношению к патогенным микроорганизмам E. coli, их оптические свойства и структура в растворах и на поверхности высокодисперсного кремнезема (ВДК). Спектры поглощения НЧ золота, серебра и их биметаллических композитов содержат полосы поверхностного плазмонного резонанса соответствующих НЧ. Образование наноструктур БМНЧ типа сплав или ядро-оболочка подтверждается результатами измерений ПЭМ и СЭМ. Обнаружено необратимое связывание НЧ с поверхностью ВДК, что свидетельствует об образовании композитного материала НЧ/ВДК. Моно- и биметаллические наночастицы в виде коллоидов и связанные с поверхностью высокодисперсного кремнезема обладают выраженным бактерицидным действием (в меньшей степени – внедренные в пленки SiO₂) по отношению к патогенным микроорганизмам E. Coli, Staphylococcus lugdunensis и Micrococcus halobius.

Введение

В конце 19 века были предложены препараты на основе коллоидных частиц металлического серебра (препарат колларгол) и золя окиси серебра (препарат протаргол), модификации которых прослужили в медицине более ста лет. Эффективность бактерицидного действия коллоидного серебра объясняется способностью подавлять работу фермента, с помощью которого обеспечивается кислородный обмен у простейших организмов [1].

Наночастицы серебра имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами и значительно усиливает его бактерицидное действие. Применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением бактерицидных свойств.

Взаимодействие серебра с одноклеточными (бактерии) и бесклеточными микроорганизмами (вирусы) представляется следующим: серебро реагирует с клеточной мембраной бактерии, которая представляет собой структуру из особых белков (пептидогликанов), соединенных аминокислотами для обеспечения механической прочности и стабильности.

Серебро взаимодействует с внешними пептидогликанами, блокируя их способность передавать кислород внутрь клетки бактерии, что приводит к "душоью"

микроорганизма и его гибели. Таким образом, механизм действия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра сорбируются клеточной оболочкой, которая выполняет защитную функцию. Серебро проникает внутрь клетки и ингибирует ферменты дыхательной цепи, а также разобщает процессы окисления и окислительного фосфорилирования в микробных клетках, в результате чего клетка гибнет. Различные механизмы действия ионов и нанокластеров серебра на дрожжевые грибки *Candida utilis* обсуждаются в [2]. В последние годы появляются сообщения о внедрении НЧ серебра в текстильные материалы, применяемые, в частности, в больницах, для придания им антимикробных свойств. Простой метод получения такого материала состоит в пропитке ткани коммерческим коллоидным серебром при комнатной температуре. Полученная ткань обладает высоким бактерицидным действием по отношению к *S.aureus* и *K.pneumoniae* [3].

Имеются данные, свидетельствующие об образовании комплексов нуклеиновых кислот с тяжелыми металлами, вследствие чего нарушается стабильность ДНК и, соответственно, жизнеспособность бактерий. Этот процесс возможен с участием золота. Вместе с тем нет однозначного мнения о токсическом действии НЧ золота, которые широко применяются как биосенсоры, нетоксичные контрастные агенты, а также в целях диагностики [4]. Поэтому представляет интерес проверить антимикробную активность наноразмерного золота, а также биметаллических наночастиц Ag/Au в коллоидных растворах и в матрицах кремнезема, где золото может входить в кристаллическую решетку серебра.

Биметаллические наночастицы (БМНЧ) благородных металлов привлекают особое внимание благодаря их высоким каталитическим, бактерицидным свойствам, интересным оптическим и электрохимическим характеристикам, которые отличаются от свойств монометаллических частиц [5 – 9]. Вместе с тем явно недостаточное внимание уделено исследованию БМНЧ в твердых матрицах и влиянию подложки на их оптические и другие свойства, в частности, бактерицидные.

Цель данной работы – получение бактерицидного материала на основе наноразмерного золота, серебра и их биметаллической композиции, нанесенных на поверхность ВДК.

Известно, что совмещение лечебных препаратов (антибиотиков, витаминов и др.) с поверхностью ВДК успешно решает задачу пролонгированного действия лекарства при его десорбции с поверхности биологически совместимого ВДК [10 – 11]. Мы предполагаем иной, не десорбционный принцип бактерицидного действия материала НЧ/ВДК. Подавление роста бактерий происходит при непосредственном контакте микроорганизмов с НЧ в коллоидном растворе или на поверхности кремнезема, вероятно вследствие их адсорбции. Вместе с тем, обсуждение механизма процесса дезактивации микроорганизмов выходит за рамки настоящей работы.

По условиям фотохимического синтеза НЧ, предложенного нами, коллоидные НЧ в растворе стабилизированы ЦТАБ или додецилсульфатом натрия (ДСН). Их адсорбция на поверхности ВДК необратима. Полученный композиционный материал при этом сохраняет оптические свойства НЧ, и может быть применен в виде сухих порошков или водных суспензий. Исследована бактерицидная активность фотохимически генерированных НЧ Ag, Au и Ag/Au БМНЧ в виде коллоидных растворов и в суспензиях НЧ/ВДК по отношению к патогенным микроорганизмам *E. Coli*. В некоторых случаях была проверена бактерицидная активность НЧ серебра, внедренных в тонкие пленки SiO₂.

Кроме того, проведена проверка активности некоторых композитов по отношению к *Staphylococcus lugdunensis* и *Micrococcus halobius* с использованием фотодинамического метода. Для характеристики использовались UV-vis, электронная микроскопия в режиме просвечивания (ПЭМ) и отражения (СЭМ), микробиологические методы для

серологических исследований по отношению к культуре тест-микроба *E. Coli* и метод фотодинамической терапии.

Экспериментальная часть

1. Фотохимическая генерация НЧ серебра, золота и их БМНЧ в водном растворе.

Коллоидные растворы наночастиц серебра, золота и БМНЧ были получены облучением соответствующих растворов HAuCl_4 , AgNO_3 в присутствии фотокатализатора $\text{SiO}_2/\text{БФ}_{\text{адс}}$ (порошок силикагеля с адсорбированным БФ) в растворе вода – изопропанол. Источниками кетил-радикалов являются изопропиловый спирт и БФ. Методика получения описана в [12].

В работе были использованы: силикагель (SG-150Å) с удельной поверхностью $300 \text{ м}^2/\text{г}$ (Aldrich), $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Aldrich), AgNO_3 (Aldrich), цетилтриметиламмоний бромид (ЦТАБ) (Aldrich), ДСН (Aldrich) бензофенон (Fluka), изопропиловый спирт (Fluka) и гексан (Fluka). БФ очищали двойной перекристаллизацией из этанола. Изопропиловый спирт и гексан несколько раз очищали перегонкой.

Порошки $\text{SiO}_2/\text{БФ}$ применялись в качестве катализаторов фотохимической реакции восстановления ионов золота и серебра в водном растворе $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ М}$ HAuCl_4 , AgNO_3 или их смеси, в присутствии изопропилового спирта (0,4М), ДСН ($4,5 \cdot 10^{-3} \text{ М}$) или ЦТАБ ($1,5 \cdot 10^{-3} \text{ М}$). Облучали растворы в атмосфере аргона ртутной лампой высокого давления в кварцевой кювете объемом 40 мл.

2. Получение пленок SiO_2 с внедренными частицами благородных металлов.

Исходные реактивы AgNO_3 , HAuCl_4 , 98% TEOS (Aldrich) и использовались без дополнительной очистки. Триблоксополимер PluronicP₁₂₃, (BASF) $(\text{PEO})_{20}(\text{PPO})_{70}(\text{PEO})_{20}$ использовался как темплатный агент при золь-гель синтезе пленок. Мезопористые кремнеземные пленки получали золь-гель методом путем гидролиза тетраэтоксисилана с использованием в качестве темплата триблоксополимера P123, аналогично приведенному в [12]. Ионы золота и серебра вводились в прекурсор на стадии золь-гель перехода. Пленки гидрогеля прокаливали при $500 \text{ }^\circ\text{C}$ на протяжении 3 ч.

3. Адсорбция НЧ и БМНЧ серебра, золота на поверхности ВДК А-300

Покрытие поверхности предварительно прокаленного при $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ВДК стабилизированными наночастицами производилось из их водных растворов. Количество нанесенного металла контролировалось по спектрам поглощения раствора до и после процесса адсорбции.

4. Регистрация спектров поглощения и электронно-микроскопические исследования

Спектры поглощения растворов и пленок регистрировались на спектрометре Lambda UV-Vis (Perkin Elmer). Для измерения ТЭМ каплю раствора, содержащего наночастицы золота и серебра, высушивали на графитированной медной сетке. ПЭМ снимки наночастиц были сделаны при 100 кВ на просвечивающем электронном микроскопе JOEL JEM-100С. Для записи СЭМ пленки наносились на кремневые подложки и снимались в режиме отражения на микроскопе LEOL 1530 (с ускоряющим напряжением 100 кВ).

5. Исследования бактерицидной активности НЧ в коллоидных растворах и на поверхности ВДК

Антибактериальная активность коллоидов НЧ и композиций НЧ/ SiO_2 исследована разработанным в Институте эпидемиологии и инфекционных заболеваний микробиологическим методом для серологических исследований по отношению к культуре тест-микроба *E. coli* 1257. Засеянные микробами чашки Петри – контрольные и аналитические, т.е. с добавлением 0,01% водных суспензий НЧ и БМНЧ, выдерживались 24 ч в термостате при $37 \text{ }^\circ\text{C}$. Разница логарифмов количества колоний в посевах из контроль-

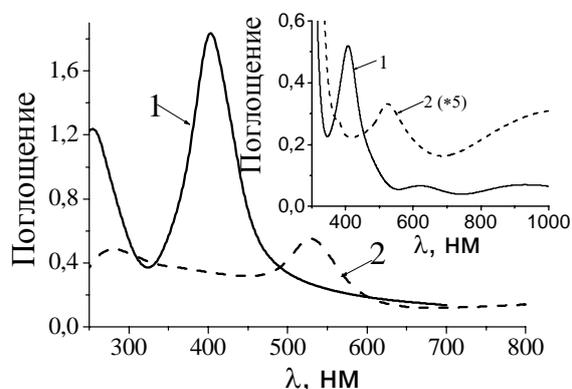
ной и аналитической проб дает числовое значение скорости отмирания микробной популяции в единицу времени.

Исследования бактерицидной активности пленок HЧ/SiO_2 и коллоидов фотодинамическим методом проводились в отделе проф. В.В. Тучина в Институте оптики и фотоники при Саратовском Государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия [13]. Были выбраны бактерии видов *Staphylococcus lugdunensis* и *Micrococcus halobius*. В качестве источника широкополосного света использовали галогеновую лампу с диапазоном длин волн от 380 до 800 нм. В ходе эксперимента варьировали дозу облучения от 6 до 90 Дж. Для проведения эксперимента использовалась суточная культура исследуемого штамма. Конечное разведение бактериальной взвеси составляло 5 тыс. микробных клеток на 1 мл. Из данного разведения бактериальную взвесь объемом 0,2 мл наносили на стекла с пленкой из наночастиц. Использовали образцы при внесении бактериальной взвеси в 0,01 % растворы наночастиц Ag и Au, или в присутствии пленки Ag/SiO_2 , и проводили инкубацию при 37 °C в течение 24 ч.

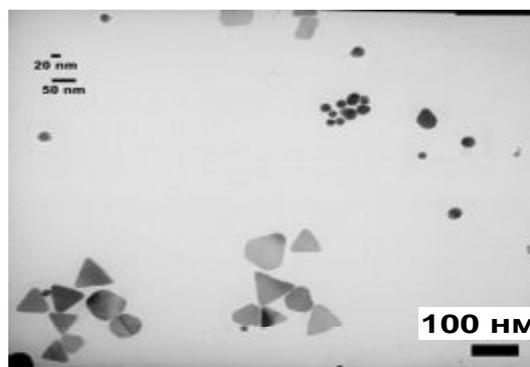
Результаты и обсуждение

1. *Получение и характеристика моно- и биметаллических наночастиц золота и серебра.*

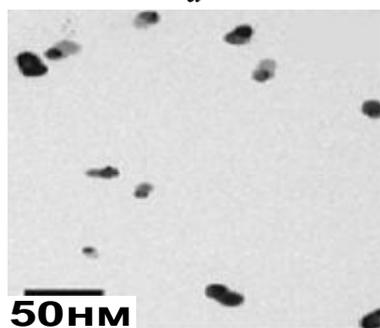
В присутствии пленок или порошков кремнезема, модифицированных молекулами бензофенона $\text{SiO}_2/\text{БФ}$ как фотосенсибилизатора и ДСН или ЦТАБ как стабилизатора, были получены наночастицы с узким распределением по размерам. Полосы поверхностного плазмонного резонанса (ППР) в спектрах поглощения, подтверждающие образование наноразмерных частиц, возникают вследствие возбуждения коллективного колебания электронного газа на поверхности наночастиц под воздействием электромагнитного поля световой волны. На рис. 1 представлены спектры поглощения индивидуальных НЧ серебра и золота в коллоидном растворе и в матрице пленок кремнезема и их микроскопические изображения.



a



б



в

Рис. 1. a – Спектры поглощения: 1 – коллоидный раствор наночастиц Ag; 2 – коллоидный раствор наночастиц Au; на вставке: спектры поглощения пленок: 1 – $\text{SiO}_2\text{-Ag}$ 10 %, и 2 – $\text{SiO}_2\text{-Au}$ 10 % пленок. ТЭМ снимки НЧ Au(б) и Ag(в).

При УФ облучении раствора, содержащего ионы золота и серебра в мольном соотношении 1:1, в спектре поглощения появляется полоса ППР сплава Ag/Au (рис. 2). Максимум поглощения 453 нм находится между максимумами полос ППР Ag при 400 нм и Au при 530 нм. Как правило, положение полосы поглощения сплава зависит от соотношения золото – серебро и находится между полосами их поглощения[9].

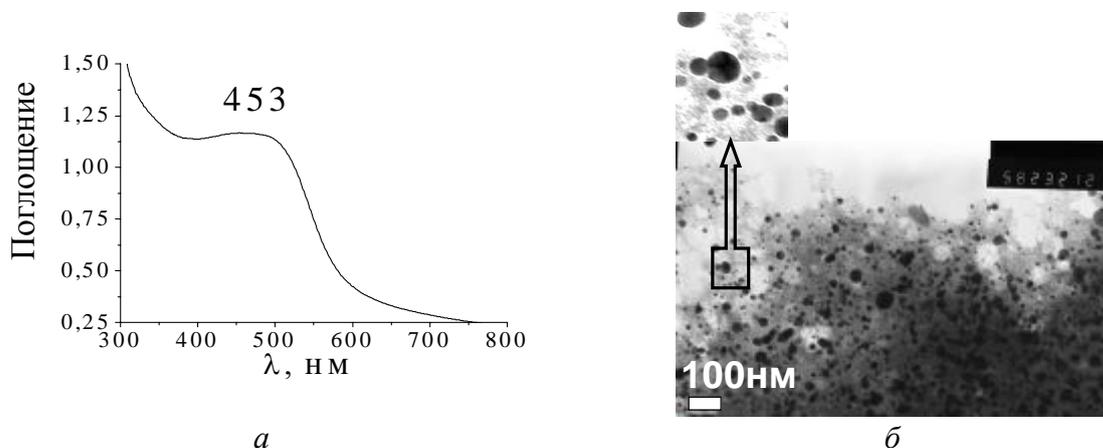


Рис. 2. Оптический спектр сплава БМНЧ Ag/Au, полученных при одновременном фотовосстановлении ионов в растворе (а). ТЭМ изображение БМНЧ (б). Масштаб 100 нм.

Из сравнения рис. 1 и 2 очевидна разница в морфологии полученных индивидуальных наночастиц и в их бимолекулярной композиции. НЧ золота имеют форму треугольников, трубок и сфер, серебра – сферические частицы неправильной формы (рис. 1, б, в). Сплав БМНЧ представлен в основном частицами сферической формы (рис. 2, б).

2. Адсорбция НЧ на поверхности ВДК.

Изображение зависимости количества связанных моно- и БМНЧ золота и серебра поверхностью ВДК от их равновесной концентрации в растворе, аналогичное изотермам адсорбции, представлено на рис. 3, а. Здесь же схематически представлена модель связывания НЧ, окруженной молекулами стабилизатора, с поверхностью кремнеземной частицы и электронно-микроскопическое изображение НЧ серебра на поверхности ВДК Ag/SiO₂.

По-видимому, сферическая форма НЧ серебра и БМНЧ, покрытых молекулами ЦТАБ, обуславливает их хорошее связывание с поверхностью ВДК (рис. 3) Причиной стабильности полученного композита, возможно, является то, что мицеллообразующий катион способен притягивать и флокулировать коллоидные частицы кремнезема, формирующиеся из высокодисперсного кремнезема в водном растворе, с образованием прочной водородной связи. Большой, по сравнению с обычными молекулами, размер наночастиц, окруженных ЦТАБ'ом, позволяет достаточно условно применять термин «изотерма» при рассмотрении связывания их поверхностью носителя – ВДК.

Здесь можно выделить некоторые особенности. Во-первых, перегиб на кривой, соответствующий «насыщению монослоя» ВДК частицами металлов, происходит при концентрации НЧ, которая находится на порядок ниже ККМ для ЦТАБ. Во-вторых, кривые не выходят на насыщение, что может свидетельствовать о коагуляции НЧ на поверхности и их связывании находящимся на поверхности слоем молекул ЦТАБ, адсорбированных из раствора и не вовлеченных в процесс солюбилизации НЧ металлов в процессе их получения. Кроме того, следует отметить существенно меньшее количество связанных наночастиц золота по сравнению с серебром и БМНЧ на

поверхности ВДК. Возможно, причина состоит в том, что молекулы с аминогруппами не образуют термодинамически стабильные связи с поверхностью Au [14]. При этом частицы металлов связаны поверхностью ВДК прочно, практически необратимо и не вымываются при контакте и перемешивании с водой, что свидетельствует об образовании комплексного материала со свойствами, присущими наноразмерным благородным металлам. Спектры поглощения систем НЧ/ВДК совпадают с таковыми для растворов НЧ. Т.е. ЦТАБ стабилизирует как фотогенерированные наночастицы благородных металлов на стадии их формирования, так и коллоидный раствор кремнезема, выполняя, таким образом, двойную функцию при получении композитного материала.

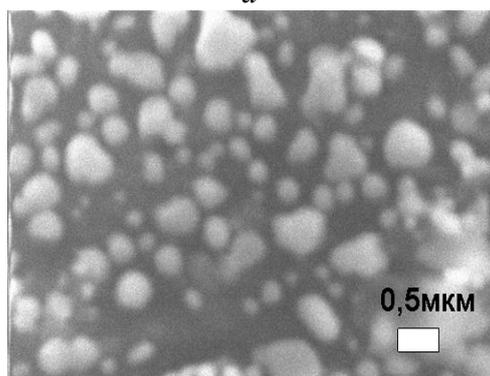
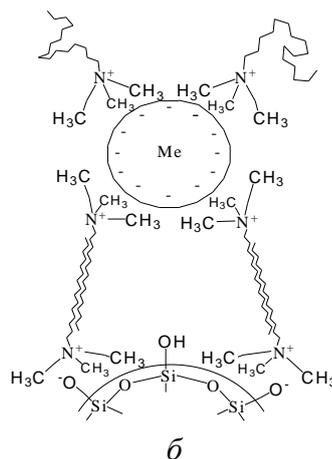
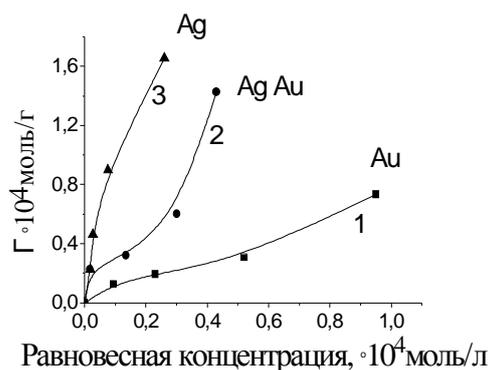


Рис. 3. Зависимость количества связанных НЧ и БМНЧ с поверхностью ВДК от их равновесной концентрации в растворе (а), схема связывания наночастиц с поверхностью ВДК (б), (в) СЭМ снимок порошка SiO₂ Ag 10%.

3. Антимикробная активность коллоидных растворов НЧ по отношению к бактериям типа *Escherichia coli*.

Полученные суспензии на основе НЧ Ag, Au и их биметаллических соединений, адсорбированных на поверхности ВДК, были исследованы в микробиологическом эксперименте по подавлению роста бактерий типа *Escherichia coli* (рис. 4, табл.).

Развитая поверхность наноразмерных частиц благородных металлов, с высоким содержанием атомов НЧ на поверхности, может привести к повышению антимикробной активности по сравнению с массивными частицами металла.

В работе исследована активность коллоидных растворов Ag (1), Au (2) и их биметаллических композитов Ag/Au с соотношением 1:1 (№ 3, 4) в коллоидном растворе и в суспензии ВДК, и для сравнения Ag/Au/ВДК с соотношением наночастиц благородных металлов 1:3 (5).

На рис. 4 приведены кинетические кривые отмирания бактерий *Escherichia coli*, в таблице – константы скорости этого процесса. Следует отметить, что кинетические кривые и константы скорости распада бактерий *Escherichia coli* практически совпадают для

коллоидов НЧ и композитов НЧ/ВДК при одинаковом количестве металлов. Видно, что полураспад бактерий происходит за время 20 – 30 мин.

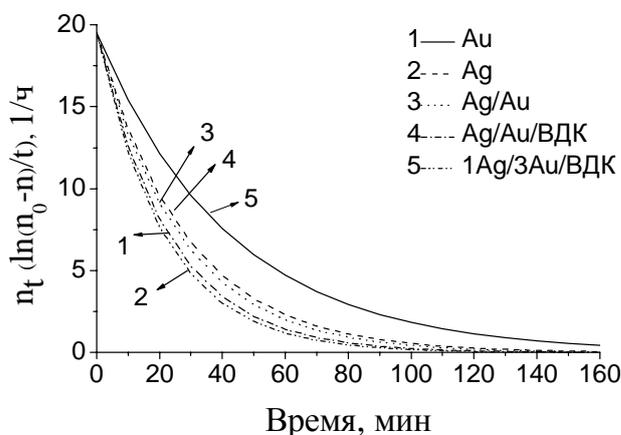


Рис. 4. Кинетика отмирания бактерий *Escherichia coli* в присутствии НЧ золота и БМНЧ в растворе и в суспензии ВДК.

№ образца	Препарат	Константа скорости отмирания бактерий, $\ln(n_0 - n)/t$, (1/ч)
1	Au/коллоид	2,621
2	Ag/коллоид	2,832
3	Ag/Au/коллоид	2,136
4	Ag/Au/ВДК	2,277
5	1Ag/3Au/ВДК	1,419

Оказалось, что практически все исследованные композиты обладают сходной между собой бактерицидной активностью. Однако увеличение содержания НЧ золота по отношению к серебру (образец 5) понижает скорость отмирания бактерий (табл.). Морфология образцов 4 и 5, содержащих оба металла, различна. В первом случае образуется сплав Ag/Au на поверхности ВДК, во втором – структура серебряное ядро – золотая оболочка, как следует из положения максимумов в оптических спектрах. Причина понижения активности такого композита в настоящее время неясна, и требует дальнейших исследований. Вместе с тем, следует отметить высокую бактерицидную активность образца 2 – Au/коллоид. В целом, все исследованные системы обладают высоким бактерицидным действием и могут применяться для обеззараживания воды и других сред.

2. Фотодинамическая терапия для бактерии вида *Staphylococcus lugdunensis* и *Micrococcus halobius* с использованием коллоидных растворов и пленок с внедренными НЧ.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) имеет ряд серьезных преимуществ перед традиционными методами антибактериальной терапии ввиду того, что эффективность фотодинамического воздействия не зависит от спектра чувствительности патогенных микроорганизмов к антибиотикам. Сопrotивляемость микроорганизмов к реакционным агентам (синглетному кислороду и свободным радикалам) является низкой. Возможность локализации области воздействия путем доставки излучения непосредственно в очаг инфекции обеспечивает отсутствие деструктивного влияния на организм в целом.

Влияние широкополосного света в сочетании с наночастицами Ag-SiO₂ в виде пленки на стеклянном субстрате приводило к снижению численности микробных

популяций. Угнетение вида *Staphylococcus lugdunensis* происходило в среднем на 20 %, вида *Micrococcus halobius* – 50 % (рис. 5).

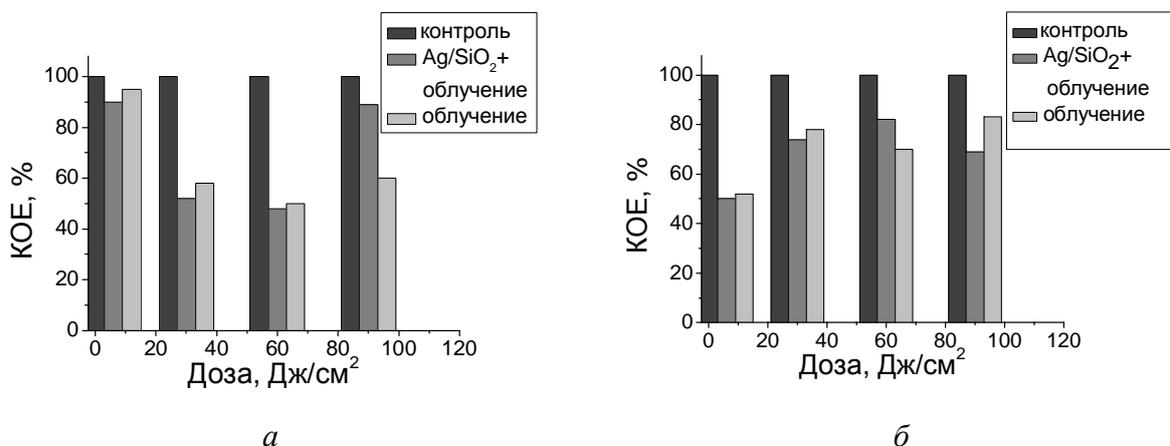


Рис. 5. Изменение количества тест-микробов под влиянием широкополосного света: *а* – *Micrococcus halobius*; *б* – *Staphylococcus lugdunensis*. КОЕ – колониеобразующие единицы

Здесь же для сравнения приведены данные контрольного опыта и облучения без пленки Ag-SiO₂. Относительно невысокая активность пленки может объясняться двумя причинами: часть НЧ серебра находится под поверхностью пленки и не вступает в прямой контакт с бактериями; кроме того, количество серебра в данном опыте значительно меньше, чем в случае применения порошковых композитов с развитой поверхностью – толщина пленки около 100 нм, ее вес 0,001 г.

При использовании растворов наночастиц Ag и Au, наблюдалось полное отсутствие роста грам-отрицательной культуры *Escherichia coli*. Не было роста и на контрольных чашках, на которые высевали обработанные наночастицами бактерии, не подвергнутые облучению. Действие света без использования наночастиц не привело к какому-либо значительному снижению численности популяций микроорганизмов (рис. 6).

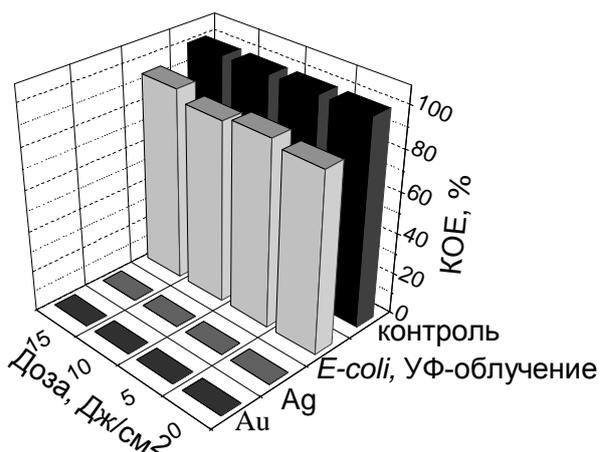


Рис. 6. Зависимость количества колониеобразующих единиц исследованной культуры *Escherichia coli* от дозы облучения.

Таким образом, полученные композиты на основе НЧ золота и серебра показывают высокую бактерицидную активность как в обычных условиях, так и под действием света. Нанесение НЧ на поверхность ВДК приводит к получению нового композитного материала, обладающего бактерицидным действием по отношению к ряду вредных микроорганизмов.

Литература

1. Савадян Э.Ш., Мельникова В.М., Беликова Г.П. Современные тенденции использования серебросодержащих антисептиков // Антибиотики и химиотерапия. – 1989. – № 11. – С. 874 – 878.
2. Кореневский А., Сорокин В., Каравайко Г. Взаимодействие ионов серебра с клетками *Candida Utilis*. // Микробиология. – 1993. – Т. 62. С. 1085 – 1092.
3. Lee H., Yeo S., Jeong S. Antibacterial effect of nanosizes silver colloidal solution on textile fabrics // *J. Mater. Sci.* – 2003. – V. 38. – P. 2199 – 2204.
4. El-Sayed I., Huang X., El-Sayed M. SPR scattering and adsorption of anti-EGFR antibody conjugated gold nanoparticles in cancer diagnostics // *Nanoletters* – 2005. – V. 5, № 5. – P. 829 – 834.
5. Hodak J.H., Henglein A., Hartland G.V. Photophysics of nanometer sized metal particles: electron-phonon coupling and coherent excitation of breathing vibrational modes // *J. Phys. Chem.* – 2000. – V. 104. – P. 9954 – 9965.
6. Photochemical deposition of SERS active silver nanoparticles on silicagel and their application as catalysts for the reduction of aromatic nitro compounds / S. Kundu, M. Mandal, S.K. Ghosh, T. Pal. // *J. Colloid Interface Sci.* – 2004. – V. 272. – P. 134 – 144.
7. Prashant V. Kamat. Photophysical, photochemical and photocatalytic aspects of metal nanoparticles // *J. Phys. Chem. B.* – 2002. – V. 106. – P. 7729 – 7744.
8. Immunoassay using the probe-labeled Au/Ag core-shell nanoparticles based on surface-enhanced Raman scattering / X. Ji, Sh. Xu, L. Wang, M. Liu, K. Pan, H. Yuan, L. Ma, W. Xu, J. Li, Y. Bai, T. Li // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.* – 2005. – V. 257, № 258. – P. 171 – 175.
9. Devarajan S., Vimalan B., Sampath S. Phase transfer of Au–Ag alloy nanoparticles from aqueous medium to an organic solvent: effect of aging of surfactant on the formation of Ag-rich alloy compositions // *J. Colloid Interface Sci.* – 2004. – V. 278. – P. 126 – 132.
10. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния / Под ред. Чуйко А.А. – Киев: Наук. думка, 2003. – 415 с.
11. Bugla-Ploskonska G., Leszkiewicz A. Bactericidal properties of silica particles with silver islands located on the surface // *International Journal of Antimicrobial Agents.* – 2007. – V. 29. – P. 738 – 748.
12. Крилова Г., Єременко А., Смірнова Н. Фотохімічне одержання стабільних наночастинок золота у водних розчинах та в силікатній матриці // Всеукр. конф. молодих вчених „Наноматеріали в хімії біології та медицині”. – Київ: ІХП НАН України, 2006. – С. 68.
13. Broadband like action on opportunistic microorganisms photosensitized by TiO_2 and Ag-SiO₂ nanoparticles films / E. Tuchina, D. Rudik, G. Krylova, N. Smirnova, A. Eremenko, V. Tuchin. // *Proc. of SPIE.* – 2006. – V. 1. – P. 6163 – 6169.
14. Михайлова И.В., Геращенко И.И. Стабильность и адсорбционные свойства суспензий ВДК в присутствии катионных ПАВ // *Колл. журн.* – 2002. – Т. 64, № 5. – С. 645 – 650.

BACTERICIDE PROPERTIES OF GOLD AND SILVER IN SOLUTION AND ON HIGH DISPERSE SILICA SURFACE

G. Yashan¹, G. Krylova¹, A. Eremenko¹, N. Smirnova¹,
V. Zhalko-Tytarenko², V. Marievskiy², I. Chekman³

¹*Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine
General Naumov Str. 17, 03164 Kyiv-164, annaerem@ukr.net*

²*Gromashevsky Institute of Epidemiology and Infection Diseases of Academy of Medical
Sciences of Ukraine*

Amosov Str. 5, 03038 Kyiv-38

³*Bogomolets National Medical Institute
Bogomolets Str. 4, 01024 Kyiv-24*

Bactericide activities of photochemically generated nanosized nanoparticles of gold and silver have been studied as well as those of their binary compositions with average size of 20 to 30 nm stabilized with cetyltrimethylammonium bromide against pathogenic microorganisms of E. coli, their optical properties and structure in solutions and on high disperse silica surface. Absorption spectra of gold, silver, and bimetallic nanocomposite particles include bands of surface plasmon resonance. Formation of alloy-type of core-shell nanostructures is supported by microscopy results. An irreversible binding has been found of nanoparticles with silica surface. When in colloids or adsorbed on silica, mono- and bimetallic nanoparticles are bactericidal against pathogenic microorganisms E. coli, Staphylococcus lugdunensis, and Micrococcus halobius.