

УДК 546.07.723-31

**ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ИНЕРТНЫХ НОСИТЕЛЯХ
(СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ)**

А.М. Черемнов

Научный руководитель: доцент, к.х.н. Г.В. Лямина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: amc6@tpu.ru

**PREPARATION OF SILVER NANOPARTICLES ON INERT CARRIERS
(COMPARISON OF METHODS)**

A.M. Cheremnov

Scientific Supervisor: docent, candidate of chemical sciences, G.V. Lyamina

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: amc6@tpu.ru

***Abstract.** In the present study, there were reviewed articles that discussed methods for synthesizing silver nanoparticles for medical applications. The methods considered were classified into three categories: physical, chemical and methods using biological components. As a result, it was determined that the most economical and environmentally friendly methods of synthesis are methods using biocomponents as methods with the least number of stages, necessary components and waste.*

Введение. Серебро известно своими бактерицидными и антисептическими свойствами, однако из-за токсичности оно мало применимо, как эффективная замена антибиотиков. Наиболее частой темой исследования медицинского применения серебра является использование его для обеззараживания ран в составе мазей, повязок, бактерицидных покрытий на имплантах, стимулирования деления клеток [1–3].

Целью работы является критериальное сравнение научных работ, посвященных синтезу наночастиц серебра, применяемых в качестве антибактериальных сред.

Методы синтеза наночастиц серебра на носителях. Существует несколько групп методов синтеза наночастиц серебра (НЧ Ag): физические, химические, смешанные. Отдельно рассматривают методы «зеленого синтеза» (табл. 1). Два наиболее часто используемых способа стабилизации наночастиц это включение их в матрицы и закрепление на поверхностях различной природы.

В качестве примера *физических методов* синтеза можно рассмотреть работу [4], авторы которой наносили слои серебра толщиной 3, 6, 9 и 12 нм на подложки из полиэфирэфиркетона. Это полукристаллический высокотемпературный материал, который отличается высокой устойчивостью к ползучести, деформационной теплостойкостью и химической стойкостью. Перспективы применения данного материала в медицине обусловлены его высокой чистой и отсутствием добавок.

Осаждение проводили с использованием магнетронного распылительного устройства в вакууме при комнатной температуре. Результаты электронной микроскопии показали, что увеличение размера НЧ Ag приводило к росту шероховатости и зернистости, увеличение содержания – к росту компактности.

Исследование антибактериальной активности (*S. mutans* или *S. Aureus*) показало, что контрольные образцы не обладают антибактериальными свойствами. Все образцы с осажденным серебром демонстрировали антибактериальную активность выше 99%. Такой результат позволяет расширить перспективы замены медицинских инструментов и имплантов на исследуемый полимер.

Таблица 1

Методы получения наночастиц серебра на носителях (в матрицах)

Метод	Практическое применение
Магнетронное распыление НЧ на подложки из полиэфирэфиркетона [4]	Замена металлических частей инструментов и имплантов медицинского назначения
Синтез НЧ в среде гуарового биополимера [6]	Изготовление упаковки с антимикробными свойствами
Синтез НЧ на сферах SiO ₂ [8]	Антибактериальная фотодинамическая терапия
Синтез НЧ в системе с поливинилпирролидоном (PVP) [5]	Антибиотики
Полимеризация композитов полиакриламид-декстран и наногидрогелей с НЧ [9]	Адресная доставка лекарств
Покрывание магниевого сплава НЧ Ag с гидротальцитом, Mg и Al [10]	Магниевые сплавы с лучшими механическими и антибактериальными свойствами
Синтез НЧ в растворе с экстрактом фундука [7]	Антибиотики
Синтез НЧ в растворе с экстрактом соломоцвета шероховатого [11]	Инсектициды
Синтез НЧ в среде гуарового биополимера [12]	Микробицидные пленки для текстильных изделий, упаковки и биомедицинских устройств
Синтез НЧ в золе с щелочной протеазой [13]	Удаление волос в кожевенной промышленности
Синтез НЧ в растворе с экстрактом тиноспоры сердцелистной [14]	Антибиотики

Как типичный пример использования *химических методов* можно привести работы по получению наночастиц серебра с PVP и NaBH₄ [5]. В последнее время активно развиваются экологичные способы. Например, в [6] описан способ получения НЧ серебра в биополимере, который синтезировали из гуаровой камеди. Это добавка используется в пищевой промышленности для повышения вязкости. Этот полимер предложено использовать как стабилизатор. Синтез НЧ проводили в водном растворе полимера при pH = 8, который быстро нагревали до 65°C. Затем впрыскивали раствор нитрата серебра при перемешивании и продувке азотом. После охлаждения раствор нейтрализовали, добавляли этанол и отделяли продукт центрифугированием. Исследования морфологии показали сферическую форму НЧ размером ~10 нм. При тестировании против микроорганизмов (*E. coli*, *V. cholerae*, *S. aureus*, *B. pumilus*) биополимер проявлял интенсивную антимикробную активность. Авторы предлагают использовать пленки из композита для упаковки биомедицинских препаратов и пропитки текстиля.

Третья группа методов предполагает использование вещества растительного происхождения. Экстракты растений, суспензии из измельченных листьев, зерен и семян представляют собой смеси переменного состава, содержащие полимеры, олигомеры, низкомолекулярные агенты с функциональными группами, которые могут выполнять функции комплексообразователя, восстановителя и стабилизатора наночастиц.

Например, в работе [7] представлено описание «зеленого синтеза» с применением листьев фундука, измельченных жидким азотом и растворенных в воде. Полученный экстракт отфильтровывали, нагревали до полного удаления растворителя, добавляли к раствору AgNO₃ и выдерживали до изменения цвета с салатого на бурый, что указывало на образование НЧ Ag. С помощью электронной

микроскопии было показано, что частицы имеют металлические ядра от 8 до 23 нм в оболочках, состоящих из серебра и, видимо, органических лигандов. Антибактериальная активность НЧ, рассматриваемая на 8-ми штаммах бактерий, была выше, чем у тетрациклина или сравнима с ним.

Заключение. В результате анализа литературы показано, что получение НЧ Ag методами «зеленого синтеза» является перспективным направлением. Они предполагают меньшее количество стадий синтеза, снижение вредных отходов и более экологически безопасны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Linkov I., Steevens J.A. *Nanomaterials: Risks and Benefits*, 1st ed. – Springer Netherlands, 2009. – 472 p.
2. Шурыгина И.А., Шурыгин М.Г. Перспективы применения наночастиц металлов для целей регенеративной медицины // *Сибирское медицинское обозрение*. – 2018. – № 4. – С. 31-34.
3. Андрусишина И.Н. и др. Структура, свойства и токсичность структура, свойства и токсичность наночастиц оксидов серебра и меди наночастиц оксидов серебра и меди // *Биотехнология*. – 2011. – Т. 4, № 6. – С. 51-57.
4. Liu X. et. al. Antibacterial properties of nano-silver coated PEEK prepared through magnetron sputtering // *Dental Materials*. – 2017. – V. 33(9). – P. 348-359.
5. Михиенкова А.И., Муха Ю.П. Наночастицы серебра: характеристика и стабильность антимикробного действия коллоидных растворов // *Довкілля та здоров'я*. – 2011. – № 1. – С. 55 – 59.
6. Abdullah M.D. et. al. Cationic guar gum orchestrated environmental synthesis for silver nano-bio-composite films // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – V. 134. – P. 30-35.
7. Korkmaz N. et. al. Biogenic nano silver: Synthesis, characterization, antibacterial, antibiofilms, and enzymatic activity // *Advanced Powder Technology*. – 2020. – V. 31(7). – P. 2942 – 2949.
8. Wysocka-Król K. et. al. Nano-silver modified silica particles in antibacterial photodynamic therapy // *Applied Surface Science*. – 2018. – P. 260-267.
9. Prusty K., Swain S.K. Nano Silver Decorated Polyacrylamide/Dextran Nanohydrogels hybrid composites for Drug Delivery Applications // *Materials Science & Engineering C*. – 2018. – V. 85. – P. 130 – 138.
10. Zhao Y. et. al. One-step in situ synthesis of nano silver-hydroxalcalite coating for enhanced antibacterial and degradation property of magnesium alloys // *Materials Letters*. – 2020. – V. 265. – P. 65 – 68.
11. Sharima A., Kumar S., Tripathi P. A facile and rapid method for green synthesis of *Achyranthes aspera* stem extract-mediated silver nano-composites with cidal potential against *Aedes aegypti* L. // *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2017. – V. 26(4) – P. 698-706.
12. Abdullah M.D. et. al. Cationic guar gum orchestrated environmental synthesis for silver nano-bio-composite films // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – V. 134. – P. 30-35.
13. Joshi N. et. al. Development of nano-silver alkaline protease bio-conjugate depilating eco-benign formulation by utilizing potato peel based medium // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – V. 152. – P. 261-270.
14. Joshi N. et. al. Interruption in membrane permeability of drug-resistant *Staphylococcus aureus* with cationic particles of nano-silver // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – V. 152. – P. 261-269.