

Лукашевич В.А., Лещенко Ю.В., Ветошкин А.А., Пржевальская Д.А., Дюбо Ю.В.  
Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь;  
bio.lukashevVA2@bsu.by

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ «ЗЕЛЕНОГО» СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА И АНАЛИЗ ИХ БИОЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ

*Представлены результаты работы по разработке техники «зеленого» синтеза наночастиц серебра с использованием растительных экстрактов и биологически-инертных стабилизаторов. Проведено тестирование их физических характеристик при помощи атомно-силовой и электронной микроскопии. Представлены данные о биоцидной активности полученных наночастиц с использованием гидропонного и бензимидазольного тестов. Продемонстрировано, что наночастицы серебра, полученные путем «зеленого» наносинтеза, обладают фунгицидной активностью по отношению к *Septoria nodorum* и *Fusarium culmorum*, сопоставимой или превосходящей ионы серебра.*

*The techniques for “green” synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and biocompatible chemicals have been developed. Obtained nanoparticles have been characterized using atomic force and electron microscopy. The biocidal activity of green nanoparticles has been assessed by hydroponic and benzylimidazole tests. Results of these tests have shown that “green” silver nanoparticles have biocidal activity, which was similar or higher than that of ionic form of silver.*

*Ключевые слова:* наночастицы; наносинтез; «зеленый» синтез; атомно-силовая микроскопия; электронная микроскопия; спектроскопия.

*Keywords:* nanoparticles; nanosynthesis; «green» synthesis; atomic force microscopy; electron microscopy; spectroscopy.

### Введение

Наночастицы находят широкое применение в различных сферах жизни человека, от микроэлектроники до медицины и гигиены, в связи с чем производство наночастиц постоянно растет. Возникает проблема необходимости введения наночастиц в биологические системы, что требует промышленного получения биосовместимых, экологически безопасных частиц, обладающих широким спектром биологических активностей [1]. Подобное производство возможно обеспечить развитием техники «зеленого» наносинтеза, суть которого заключается в использовании растительных экстрактов в качестве системы восстановления и стабилизации металлических наночастиц. Стабилизирующая оболочка органического происхождения, получаемая в ходе так-называемого «зеленого» наносинтеза, придает наночастицам специфические свойства, связанные с уникальным биохимическим составом растительного экстракта и режимом проведения реакции наносинтеза [1; 2].

Целью настоящей работы являлось создание методики «зеленого» синтеза серебряных наночастиц, обладающих высокой биоцидной активностью. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) подобрать условия наносинтеза, апробировать различные растительные экстракты в качестве систем восстановления и стабилизации наносеребра и методы первичной спектрофотометрической детекции наночастиц;
- 2) разработать подходы анализа физических параметров серебряных наночастиц, полученных методом «зеленого» наносинтеза, на основе атомно-силовой и электронной микроскопии;
- 3) установить характер воздействия наночастиц серебра, полученных методами «зеленого» наносинтеза, на развитие инфекций *Septoria nodorum* и *Fusarium culmorum*; сравнить их биоцидную активность с ионами серебра.

### Материалы и методы

В работе использовалась стандартная техника холодного наносинтеза. Протоколы получения и введение экстрактов в растворы с ионами серебра подбирались опытным путем в результате рутинного тестирования спектрофотометрических показателей полученных суспензий. Появление пика соответствующего характеристического пика поглощения в 400 нм являлось маркером синтеза наночастиц. Проводилась оценка экстрактов четырех видов растений (ели европейской, хвой сосны обыкновенной, корнеплода моркови посевной и клубня картофеля посевного). В дальнейшем после верификации наносинтезасуспензии наночастиц проходили детальное тестирование с использованием атомно-силовой (АСМ) и сканирующей электронной микроскопии. Бицидная активность тестировалась путем протравливания зараженных семян или обработки зараженных листьев яровой пшеницы (*Triticum aestivum*); источником инфекции служили плесневые грибы *Fusarium culmorum* и *Septoria nodorum*.

### Выводы

В результате проведенных опытов можно сделать следующие выводы:

- данные световой спектроскопии подтвердили наличие наночастиц в полученных на основе четырех растительных экстрактов суспензиях серебряных наночастиц, о чем свидетельствуют спектры поглощения в области 400 нм;

- результаты тестов с использованием АСМ-микроскопии продемонстрировали наличие в растительных экстрактах большого числа наночастиц органического происхождения; устранение данной фракции возможно при помощи центрифугирования экстракта до соединения его с ионами серебра;

- при заражении семян *Septoria nodorum* наиболее высокие показатели всхожести отмечаются для проростков, полученных из семян, протравленных суспензией серебряных наночастиц, полученных на основе экстракта хвой (ели европейской);

- в случае заражения семян *Fusarium culmorum* наночастицы серебра, синтезированные на основе экстрактов моркови посевной и ели европейской, повышали всхожесть на 97 % и 89 %, соответственно, относительно контрольных образцов (без протравливания); по данным бицидным показателям «зеленые» наночастицы превосходили ионы серебра и наночастицы серебра, синтезированные химическим путем;

- бензимидазольный тест показал высокую эффективность наночастиц, синтезированных при помощи техники «зеленого» наносинтеза на основе экстрактов сосны обыкновенной, ели европейской и моркови посевной, по отношению к распространению *Fusarium culmorum* и *Septoria nodorum*;

- полученные данные указывают на целесообразность разработки препаратов на основе серебряных наночастиц, полученных методами зеленого наносинтеза в качестве эффективных бицидных агентов при борьбе с *Fusarium culmorum* и *Septoria nodorum*.

### Библиографические ссылки

1. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous solution of *Ficus benghalensis* leaf extract and characterization of their antibacterial activity / A. Saxena [et al.] // *Materials Letters*. 2012. Vol. 67, № 1. P. 91–94.
2. Dubey S.P., Lahtinen M., Sillanpää M. Green synthesis and characterizations of silver and gold nanoparticles using leaf extract of *Rosa rugosa* // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2010. Vol. 364, № 1–3. P. 34–41.