

В Диссертационный совет РХТУ.1.5.01 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»
125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9

Отзыв на автореферат диссертационной работы Ершова Вадима Алексеевича «Гидрозоле серебра, стабилизированный карбонат-ионами: оптические характеристики наночастиц, окислительное растворение и антибактериальные свойства», представленный на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.5.15. Экология (отрасль науки - химические)

Актуальность темы диссертационной работы. Наночастицы серебра обладают рядом уникальных физико-химических, оптических и бактерицидных свойств. Разработка методов синтеза наночастиц серебра с заданными параметрами (например, форма, размер, лигандное окружение), изучение их свойств, ведется многими научными группами в различных странах, включая Россию. Исследованию антибактериальной активности наночастиц серебра также посвящено большое количество научных работ.

Наноразмерное серебро имеет широкий спектр применения в различных областях, включая медицину, сельское хозяйство, производство и хранение пищевых продуктов, промышленность, электронику и другие сферы деятельности человека, что обусловлено уникальными физическими, химическими и биологическими свойствами серебра. С другой стороны, неконтролируемое распространение наночастиц серебра вызывает их проникновение в среду обитания, а токсичные свойства серебра порождают серьезные экологические проблемы.

В течение 2022 года было опубликовано более 3000 статей, посвященных недавно обнаруженным свойствам наночастиц серебра (Ag NPS) и областям их применения, и на рынке представлено более 1000 продуктов на основе этих частиц.

Актуальной проблемой является определение концентрации атомов серебра в коллоидных дисперсиях (чаще всего в гидрозолях) на фоне одновременно присутствующих ионных частиц серебра. Наиболее простой и перспективной аналитической процедурой является определение оптических характеристик наночастиц Ag методом УФ-видимой спектроскопии.

Научная новизна диссертационной работы. Цель диссертационной работы В.А. Ершова состояла в разработке метода синтеза гидрозоля серебра в соответствии с принципами «зелёной химии», а также изучение трансформации полученного гидрозоля в различных типах вод и его воздействия на микрофлору. Соискатель использовал системный

подход в изучении характеристик и свойств наночастиц серебра, синтезированных по разработанному им методу, направленному на установление их влияния на окружающую среду.

В результате выполнения диссертационной работы В.А. Ершовым разработан метод синтеза наночастиц серебра путем восстановления ионов Ag^+ карбоксильными анион-радикалами $\text{CO}_2^{\cdot-}$, образующимися из оксалат-ионов $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ под воздействием УФ-излучения. При этом метод соответствует принципам зеленой химии, гидрозоль не содержит токсичных примесей. Использование данного гидрозоля позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Показано, что в процессе формирования гидрозоля не происходит увеличения размеров наночастиц, что отличает предложенный метод от традиционного химического восстановления Ag^+ .

Установлено, что карбонат-стабилизированные наночастицы серебра подавляют рост грамотрицательных клеток бактерий *Escherichia coli* и *Pseudomonas putida* и грамположительных *Paenibacillus jamilae* при концентрациях $\sim 1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-4}$ моль/л. В гидрозолях серебра, полученных методом фотохимического восстановления, при их применении, на клетки бактерии непосредственно воздействует только серебро, так как отсутствуют какие-либо токсичные восстановители, стабилизаторы или продукты их распада.

Подтвержден и обоснован комплексный механизм антибактериальной активности наночастиц серебра, включающий косвенное действие ионов серебра и контактное действие самих наночастиц, вызывающее в результате их окислительного растворения образование активных форм кислорода (ROS).

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке метода синтеза гидрозоля серебра, содержащего наночастицы серебра и входящие в состав природной воды ионы, в частности, карбонат-анионы. Такой гидрозоль может быть рекомендован в качестве модельного для исследования воздействия серебра в форме наночастиц на микроорганизмы, поскольку в его составе отсутствуют полимерные стабилизаторы, снижающие биологическую доступность частиц, а также восстановители и продукты их разложения, которые неизбежно присутствуют при применении традиционных методов получения наночастиц серебра. Данное обстоятельство позволяет исключить влияние токсичных восстановителей и стабилизаторов при оценке антибактериальных свойств серебра.

Разработанный метод определения концентрации атомов серебра в наночастицах гидрозоля при помощи спектрофотометрического анализа является простым и недорогим,

при этом не требуется дополнительное дорогостоящее оборудование и мероприятия по пробоподготовке.

Отличительной особенностью работы Ершова В.А. является системный подход в изучении характеристик и свойств наночастиц серебра, синтезированных по разработанному автором методу, направленный на установление их влияния на окружающую среду: с одной стороны, подробно описывается метод синтеза и механизм образования наночастиц серебра, стабилизированных гидрокарбонат-ионами, с другой стороны, изучается трансформация как самого гидрозоля во времени без внесения дополнительных компонентов, так и при смешивании с водами различного состава, а также установлены пределы толерантности некоторых микроорганизмов к синтезированным наночастицам и механизм данного процесса.

Таким образом, тема работы является актуальной, а полученные результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью.

Важно отметить, что гидрозоль серебра, синтезированный методом, описанным в диссертационной работе, может и в дальнейшем использоваться для исследований в области окружающей среды ввиду того, что наночастицы серебра стабилизированы веществом, широко встречающимся в природных водах – гидрокарбонат-ионами, при этом гидрозоль не отягощен токсичными соединениями.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. Указано, что природные воды обладают высокой ионной силой, которая является основной причиной сжатия двойного электрического слоя, в результате чего ослабляются стабилизирующие кулоновские силы отталкивания, действующие между частицами. Исследовалось ли коагулирующее действие каждого из ионов в отдельности?

2. Известно, что максимальная чувствительность спектрофотометрического метода анализа достигается при использовании излучения на максимуме спектра молярного коэффициента поглощения. Визуально максимум или плечо в области 250 нм на спектре гидрозоля серебра не определяется. Почему не была проведена деконволюция спектра в этой области для определения его максимума?

Замечания не снижают общей положительной оценки представленной диссертационной работы.

Диссертационная работа Ершова В.А. на тему: «Гидрозоль серебра, стабилизированный карбонат-ионами: оптические характеристики наночастиц, окислительное растворение и антибактериальные свойства», представленная на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.5.15. Экология (отрасль науки - химические), соответствует требованиям пп. 2.1-2.9 Положения о порядке

присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного Приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД и требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также соответствует паспорту специальности 1.5.15 – Экология (отрасль науки – химические) в части п. 1 «Исследования влияния абиотических факторов технологических процессов и продукции химической и нефтегазовой отрасли на живые организмы в природных и лабораторных условиях с целью установления пределов толерантности и устойчивости организмов к техногенному воздействию», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.5.15. Экология (отрасль науки – химические).

Кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии имени И. П. Алимарина Института тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова, МИРЭА – Российского технологического университета

Р.Д. Соловов

Подпись Р.Д. Соловова заверяю.

Заместитель первого проректора МИРЭА – Российского технологического университета

Ю.А. Ефимова

Доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой аналитической химии имени И. П. Алимарина Института тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова, МИРЭА – Российского технологического университета

А.А. Ищенко

Подпись А.А. Ищенко заверяю.

Заместитель первого проректора МИРЭА – Российского технологического университета

21.11.2023



Ю.А. Ефимова