

О Т З Ы В

на автореферат диссертационной работы Крутякова Юрия Андреевича «Синтез, свойства и агробиотехнологические применения стабилизированных наночастиц серебра», представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология

Докторская диссертация Ю.А. Крутякова посвящена вопросам получения высокодисперсных водных систем на основе стабилизированного наносеребра, изучению их коллоидно-химических и биологических свойств в контексте последующего применения в качестве пестицидов для защиты и стимуляции роста сельскохозяйственных растений и лекарственных препаратов для лечения продуктивных животных.

В условиях роста населения, климатических изменений, уменьшения посевных площадей современный агропромышленный комплекс сталкивается с рядом вызовов, связанных с необходимостью повышения урожайности сельхозкультур, снижения экологической нагрузки на агроценозы и борьбы с устойчивостью патогенов к традиционным действующим веществам пестицидов в растениеводстве и лекарственных препаратов в животноводстве. Автор диссертации обоснованно отмечает, что использование узкоспециализированных органических фунгицидов в сельском хозяйстве привело к росту резистентности фитопатогенов к ним, тогда как применение СЗР с широким спектром действия и низким потенциалом возникновения устойчивости (соединения меди, дитиокарбаматы цинка и марганца и др.) связано с высокими токсикологическими и экологическими рисками. В этом контексте препаративные формы СЗР, в качестве действующего вещества содержащие стабилизированные наночастицы серебра и других неорганических высокодисперсных материалов, несут высокий потенциал повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, поскольку при направленной функционализации поверхности такие материалы могут приобретать широкий спектр биологического действия на живые объекты, включая антибактериальную и фунгицидную активность в отношении патогенов, ростостимулирующие свойства и способность к формированию индуцированной устойчивости высших растений к биотическим и абиогенным факторам внешней среды. Важно, что это может быть достигнуто при гектарных нормах внесения наночастиц пестицидов, на несколько порядков меньших в сравнении с существующими. Так, нормы внесения хлорокиси меди и дитиокарбаматов цинка и марганца могут измеряться сотнями граммов и даже килограммами на гектар, тогда как нормы внесения разработанных Ю.А. Крутяковым в рамках диссертационного исследования пестицидов составляют десятые и единицы граммов на гектар в пересчете на новое действующее вещество – функционализированные частицы коллоидного серебра.

Среди наиболее интересных результатов, полученных в рамках диссертационного исследования, можно отметить следующие.

Ю.А. Крутяков предложил новые классы стабилизирующих агентов, включая полиалкилгуанидины и амфополикарбоксиглицилаты, которые не только эффективно стабилизируют водные дисперсные системы, но и усиливают

биологическую активность наночастиц. Так, использование амфополикарбоксиглицината натрия позволило создать дисперсии, устойчивые к экстремальным условиям (высокие концентрации дисперсной фазы, многократное замораживание-оттаивание, высокие концентрации электролитов). Это заметный успех в области препаративной коллоидной химии, так как ранее подобная стабильность достигалась для крайне немногих систем.

Автор разработал методику контролируемого фотохимического синтеза нанокмпозитов Ag@AgCl. Метод основан на фотовосстановлении предшественников и позволяет регулировать узкое распределение частиц (порядка 80 нм) за счёт квазиравновесия процессов фрагментации наночастиц и их роста.

Показано, что стабилизация НЧ серебра биологически активными соединениями, такими как хлорид бензилдиметил[3-(миристоиламино)пропил]-аммония, позволяет значительно усилить их антимикробные свойства. Кроме того, выявлен синергетический эффект при совместном применении НЧ серебра с антибиотиками, что особенно важно для борьбы с устойчивыми штаммами патогенов.

В работе выявлены новые комплексные закономерности между коллоидно-химическими параметрами наночастиц серебра (ζ -потенциал, агрегативная устойчивость) и их биологической активностью. Например, показано, что только наличие у наночастиц одновременно высокого по модулю ζ -потенциала (более 40 мВ) и устойчивости к коагуляции электролитами обеспечивает максимальную биологическую эффективность. Эти данные могут лечь в основу моделей QNAR, использование которых упрощает прогнозирование токсичности наноматериалов на этапах скрининговых тестов.

Автор впервые обнаружил, что наночастицы серебра, стабилизированные гидрохлоридом полигексаметиленбигуанида, увеличивают активность пероксидаз и полифенолоксидазы в листьях растений, одновременно уменьшая её в корнях. Этот эффект объясняется активацией реакций индуцированной устойчивости в надземной части и приводит к активации процессов нодуляции и бобово-ризобияльного симбиоза, приводя к росту урожайности сои.

Экспериментальная и методологическая база работы весьма внушительна. Автор сочетает классические коллоидно-химические и новые фотохимические методы синтеза наночастиц, а также глубокое инструментальное исследование их структуры и поверхности с современным биотестированием объектов: от оценки МИК, ЕС50 для бактерий, мицелиальных грибов и дрожжей *in vitro* до полевых и производственных испытаний на сельскохозяйственных культурах и клинических исследований на целевых группах животных. Токсикологические тесты соответствуют международным стандартам, что дополнительно подтверждает достоверность результатов и их признание на глобальном уровне.

В качестве несущественного замечания можно указать, что в работе представлены данные по экотоксичности наночастиц серебра для некоторых модельных организмов (пчелы, дождевые черви, птицы, гидробионты) однако для наиболее полной оценки экологических рисков необходимо расширить спектр исследуемых объектов, включая почвенные микроорганизмы и высшие водные растения (ряска).

Сделанное замечание не влияет на общую высокую положительную оценку работы. Диссертация Крутякова Юрия Андреевича «Синтез, свойства и агrobiотехнологические применения стабилизированных наночастиц серебра» отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.5.6. Биотехнология (химические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а сам автор заслуживает присуждения учёной степени доктора химических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология.

Бачурин Сергей Олегович



доктор химических наук (03.01.04 – Биохимия), профессор (03.00.04 – Биохимия), академик РАН.

Главный научный сотрудник обособленного подразделения Института физиологически активных веществ (ИФАВ РАН) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук»,
142432, г. Черноголовка, Северный пр. д. 1,
тел. +7 496 522-51-64, Email: bachurin@ipac.ac.ru; <https://ipac.ac.ru/>

Подпись Бачурина Сергея Олеговича, д.х.н., академика РАН, главного научного сотрудника ИФАВ РАН удостоверяю:

Ученый секретарь ИФАВ РАН, к.х.н. Аникина Л.В.



«15» апреля 2025 г.