

Физико-химические характеристики индивидуальных и композитных коллоидных систем серебра и оксида цинка, полученных методом «зеленого» синтеза

© Демина⁺ Ангелина Евгеньевна, Никишина* Мария Борисовна,
Атрощенко Юрий Михайлович, Герасимова Софья Павловна

Кафедра химии. Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого.
пр. Ленина, 125. г. Тула, 300026. Россия. Тел.: +7 (4872) 65-78-08. E-mail: angeldemin@yandex.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: фотосинтез, «зеленая» химия, крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), наночастицы серебра, оксид цинка, композитные системы, коллоидная стабильность, дзета-потенциал, размер частиц.

Аннотация

В настоящей работе изучены закономерности зарождения дисперсной фазы и дальнейшего формирования моно- и гетероструктур на основе серебра и оксида цинка, протекающих в среде водорастворимых органических компонентов экстракта крапивы двудомной (*Urtica dioica*) в качестве экологически безопасных реагентов. Методами спектрофотометрии и динамического рассеяния света установлены корреляции между температурно-временными режимами экстракции растительного сырья и дисперсными характеристиками формирующихся гидрозолей. В ходе дисперсионного анализа синтезированных индивидуальных и композитных коллоидных систем выявлена комплексная взаимосвязь между концентрацией растительных биомолекул в экстрактах и размерами металлических наночастиц. Экспериментально зафиксирован эффект стерической стабилизации мелкодисперсных фракций в узком диапазоне значений от 12 до 31 нм при использовании концентрированных нативных экстрактов. Установлено, что критическое разведение систем до соотношения 1:1000 инициирует дефицит биоконпонентов в растворе, который приводит к уменьшению толщины защитного органического слоя мицелл и последующий неконтролируемый рост агрегатов до микронных размеров. На основе серии измерений электрокинетического потенциала синтезированных коллоидных растворов доказано формирование устойчивых гетероструктур, в которых поверхность образующихся биметаллических наночастиц преимущественно модифицирована молекулами оксида цинка или его прочными комплексами с компонентами экстракта. Синтезированные биметаллические коллоидные системы при высоких степенях разбавления демонстрируют значения дзета-потенциала в интервале от -21.2 до -22.9 мВ и эффективно сдерживают рост частиц в контролируемом диапазоне, полностью предотвращая их коагуляцию в отличие от монокомпонентных коллоидов серебра. Полученные результаты позволяют создавать новые технологические пути регулирования дисперсности и агрегативной устойчивости полупроводниковых и металлических фаз, полученных методом «зеленого» синтеза.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Демина А.Е., Никишина М.Б., Атрощенко Ю.М., Герасимова С.П. Физико-химические характеристики индивидуальных и композитных коллоидных систем серебра и оксида цинка, полученных методом «зеленого» синтеза. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №8. С.52-62. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-52

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Демина А.Е., Никишина М.Б., Атрощенко Ю.М., Герасимова С.П. Физико-химические характеристики индивидуальных и композитных коллоидных систем серебра и оксида цинка, полученных методом «зеленого» синтеза. *Бутлеровские сообщения* А. 2026. Т.14. №3. Id.13. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-52/ROI-jbc-A/26-14-3-13 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Angelina E. Demina, Maria B. Nikishina, Yury M. Atroshchenko, Sofya P. Gerasimova. Physicochemical characteristics of individual and composite colloidal systems of silver and zinc oxide obtained by the "green" synthesis method. *Butlerov Communications A*. 2026. Vol.14. No.3. Id.13. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-52/ROI-jbc-A/26-14-3-13

Литература

- [1] Енейкина Т.А., Романько Н.А., Альмашев Р.О. Исследование стабилизационных свойств поливинилового спирта. *Бутлеровские Сообщения*. **2012**. Т.29. №3. С.92-99. ROI: jbc-01/12-29-3-92 [T.A. Eneykina, N.A. Romanko, R.O. Almashev. Investigation of the stabilizing properties of polyvinyl alcohol. *Butlerov Communications*. **2012**. Vol.29. No.3. P.92-99. ROI: jbc-01/12-29-3-92 (Russian)]
- [2] Баталова В.Н., Скворцова Л.Н., Мокроусов Г.М., Наумова Л.Б., Ву Д.Д. Фотокаталитическое разрушение органических загрязнителей воды с использованием Fe-содержащих природных и синтетических материалов. *Бутлеровские Сообщения*. **2012**. Т.31. №7. С.73-84. ROI: jbc-01/12-31-7-73 [V.N. Batalova, L.N. Skvortsova, G.M. Mokrousov, L.B. Naumova, J.J. Wu. Photocatalytic destruction of organic water pollutants using Fe-containing natural and synthetic materials. *Butlerov Communications*. **2012**. Vol.31. No.7. P.73-84. ROI: jbc-01/12-31-7-73 (Russian)]
- [3] Белопухов С.Л., Жевнеров А.В., Калабашкина Е.В., Дмитриевская И.И. Определение микроэлементного состава продукции льноводства. *Бутлеровские Сообщения*. **2012**. Т.32. №10. С.72-75. ROI: jbc-01/12-32-10-72 [S.L. Belopukhov, A.V. Zhevnerov, E.V. Kalabashkina, I.I. Dmitrevskaya. Determination of microelement composition of flax products. *Butlerov Communications*. **2012**. Vol.32. No.10. P.72-75. ROI: jbc-01/12-32-10-72 (Russian)]
- [4] Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С., Массалимов Б.И., Мустафин А.Г. Синтез наночастиц сульфата кальция с использованием полисульфида кальция. *Бутлеровские Сообщения*. **2025**. Т.82. №4. С.24-35. ROI: jbc-01/25-82-4-24 [I.A. Massalimov, B.S. Akhmetshin, Sh.S. Mustafakulov, B.I. Massalimov, A.G. Mustafin. Synthesis of calcium sulfate nanoparticles using calcium polysulfide. *Butlerov Communications*. **2025**. Vol.82. No.4. P.24-35. ROI: jbc-01/25-82-4-24 (Russian)]
- [5] Иканина Е.В., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н. Определение оптимальных условий динамического концентрирования меди (II) композиционным сорбентом методом математического моделирования. *Бутлеровские Сообщения*. **2010**. Т.22. №11. С.16-24. ROI: jbc-01/10-22-11-16 [E.V. Ikanina, V.F. Markov, L.N. Maskaeva. Determination of optimal conditions for dynamic concentration of copper (II) by composite sorbent by mathematical modeling method. *Butlerov Communications*. **2010**. Vol.22. No.11. P.16-24. ROI: jbc-01/10-22-11-16 (Russian)]
- [6] Тё А.В., Скворцова Л.Н., Захарова Э.А. Отделение ионов марганца(II), железа(III), меди(II) и никеля(II) на сильноокислотных катионах для последующего определения в воде неорганических форм мышьяка методом инверсионной вольтамперометрии. *Бутлеровские Сообщения*. **2015**. Т.42. №5. С.112-119. ROI: jbc-01/15-42-5-112 [A.V. Tyo, L.N. Skvortsova, E.A. Zakharova. Separation of manganese(II), iron(III), copper(II) and nickel (II) ions on strongly acidic cations for subsequent determination of inorganic arsenic forms in water by stripping voltammetry. *Butlerov Communications*. **2015**. Vol.42. No.5. P.112-119. ROI: jbc-01/15-42-5-112 (Russian)]
- [7] Бердинская М.В., Заяц А.В., Голованова О.А. Синтез и исследование биорезорбируемости кремний-замещенного гидроксилapatита. *Бутлеровские Сообщения*. **2014**. Т.37. №1. С.48-54. ROI: jbc-01/14-37-1-48 [M.V. Berdinskaya, A.V. Zayats, O.A. Golovanova. Synthesis and bioreabsorbability study of silicon-substituted hydroxyapatite. *Butlerov Communications*. **2014**. Vol.37. No.1. P.48-54. ROI: jbc-01/14-37-1-48 (Russian)]
- [8] Валеева Р.Т., Шурбина М.Ю., Мухачев С.Г., Тунцев Д.В. Предварительная обработка отходов агропромышленного комплекса с целью получения гидролизатов – компонентов питательных сред. *Бутлеровские Сообщения*. **2023**. Т.76. №11. С.159-168. ROI: jbc-01/23-76-11-159 [R.T. Valeeva, M.Yu. Shurbina, S.G. Mukhachev, D.V. Tuntsev. Pre-treatment of agro-industrial complex waste in order to obtain hydrolysates – components of nutrient media. *Butlerov Communications*. **2023**. Vol.76. No.11. P.159-168. ROI: jbc-01/23-76-11-159 (Russian)]
- [9] Попок В.Н. Влияние добавок на скорость горения нитратных высокоэнергетических композиций при атмосферном давлении. *Бутлеровские Сообщения*. **2014**. Т.37. №3. С.57-62. ROI: jbc-01/14-37-3-57 [V.N. Popok. Influence of additives on burning rate of nitrate high-energy compositions at atmospheric pressure. *Butlerov Communications*. **2014**. Vol.37. No.3. P.57-62. ROI: jbc-01/14-37-3-57 (Russian)]
- [10] Никишина М.Б., Иванова Е.В., Атрошенко Ю.М., Шахкельдян И.В., Блохин И.В., Мухторов Л.Г., Кобраков К.И., Песцов Г.В. Биологическая активность коллоидных растворов серебра, полученных с помощью экстракта *Salix caprea*. *Бутлеровские Сообщения*. **2019**. Т.60. №10. С.54-59. ROI: jbc-01/19-60-10-54 [M.B. Nikishina, E.V. Ivanova, Yu.M. Atroshchenko, I.V. Shakheldyan, I.V. Blokhin, L.G. Mukhtarov, K.I. Kobrakov, G.V. Pestsov. Biological activity of colloidal silver solutions obtained using *Salix caprea* extract. *Butlerov Communications*. **2019**. Vol.60. No.10. P.54-59. ROI: jbc-01/19-60-10-54 (Russian)]
- [11] Никишина М.Б., Иванова-Морозова Е.В., Атрошенко Ю.М. Биологическая активность коллоидов серебра, полученных на основе водного экстракта золотарника обыкновенного. *Бутлеровские Сообщения*. **2023**. Т.75. №8. С.108-115. ROI: jbc-01/23-75-9-108 [M.B. Nikishina, E.V. Ivanova-Morozova, Yu.M. Atroshchenko. Biological activity of silver colloids obtained on the basis of aqueous extract of *Solidago virgaurea*. *Butlerov Communications*. **2023**. Vol.75. No.8. P.108-115. ROI: jbc-01/23-75-9-108 (Russian)]
- [12] Angelina E. Demina, Maria B. Nikishina, Yury M. Atroshchenko, Sofya P. Gerasimova. Physicochemical characteristics of individual and composite colloidal systems of silver and zinc oxide obtained by the "green" synthesis method. *Butlerov Communications A*. **2026**. Vol.14. No.3. Id.13. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-52/ROI-jbc-A/26-14-3-13

Полная исследовательская публикация Демина А.Е., Никишина М.Б., Атрощенко Ю.М., Герасимова С.П.
[13] Демина А.Е., Никишина М.Б., Атрощенко Ю.М., Герасимова С.П. Физико-химические характеристики индивидуальных и композитных коллоидных систем серебра и оксида цинка, полученных методом «зеленого» синтеза. *Бутлеровские сообщения А.* 2026. Т.14. №3. Id.13. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-52/ROI-jbc-A/26-14-3-13 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-A/26-14-3-13

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-52/ROI-jbc-A/26-14-3-13

Physicochemical characteristics of individual and composite colloidal systems of silver and zinc oxide obtained by the "green" synthesis method

Angelina E. Demina,⁺ Maria B. Nikishina,* Yury M. Atroshchenko, Sofya P. Gerasimova
*Department of Chemistry. Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University. Lenin Ave., 125.
Tula, 300026. Russia. Phone: +7 960 611 5086. E-mail: angeldemin@yandex.ru*

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: phytosynthesis, "green" chemistry, stinging nettle (*Urtica dioica* L.), silver nanoparticles, zinc oxide, composite systems, colloidal stability, zeta potential, particle size.

Abstract

The current study deciphers the mechanisms governing the nucleation of the dispersed phase and the subsequent development of silver and zinc oxide mono- and heterostructures synthesized within an environment of water-soluble organic constituents from stinging nettle (*Urtica dioica*) extract acting as ecologically benign reagents. Through spectrophotometry and dynamic light scattering, direct correlations were established between the temperature-time profiles of the plant material extraction and the specific dispersion parameters of the emerging hydrosols. A comprehensive analysis of the synthesized individual and composite colloidal systems revealed an intricate interdependence between the plant-derived biomolecule concentration in the extracts and the ultimate dimensions of the metal nanoparticles. Experimental evidence confirmed a steric stabilization effect for the finely dispersed fractions restricted to a narrow window of 12 to 31 nm when utilizing concentrated native extracts. Conversely, critical dilution of the systems to a 1:1000 ratio triggers a deficit of biocomponents in the solution, which induces a depletion of the protective organic layer surrounding the micelles, thereby causing subsequent uncontrolled aggregation up to micron-scale dimensions. Based on a comprehensive series of electrokinetic potential measurements of the synthesized colloidal solutions, the formation of robust heterostructures was verified, wherein the surface of the resulting bimetallic nanoparticles is predominantly modified by zinc oxide molecules or their stable complexes with the extract components. Even under high dilution states, these synthesized bimetallic colloidal systems maintain zeta potential values within the range of –21.2 to –22.9 mV, effectively restricting particle growth within a controlled regime and completely preventing coagulation, in stark contrast to monocomponent silver colloids. These findings pave the way for novel technological routes to manipulate the dispersion and aggregative stability of semiconductor and metallic phases generated *via* green synthesis protocols.