

Биологическая активность индивидуальных и композитных коллоидных систем Ag и ZnO

© 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: «зеленый» синтез, композитные коллоидные системы, серебро, оксид цинка, *Urtica dioica*, крапива двудомная, антибактериальная активность, *Escherichia coli*.

Аннотация

В работе представлены результаты сравнительного анализа биологической активности индивидуальных коллоидных систем серебра и оксида цинка, а также композитной системы Ag/ZnO, стабилизированных водными экстрактами крапивы двудомной (*Urtica dioica*). Оценка антимикробного действия выполнена методом диффузии в агар (метод лунок) по отношению к грамотрицательному тест-штамму *Escherichia coli* (*E. coli*). Исследовано влияние параметров экстракции растительного сырья (температурные режимы 25, 70, 100 °C; временные интервалы 6 и 24 часа) и кратности разведения (1:0-1:1000) на биологическую активность гидрозолей. Выявлен нелинейный характер антимикробного действия исследуемых систем в зависимости от степени их разбавления. Установлено, что максимум антибактериальной активности для всех образцов наночастиц смещен с исходного концентрированного раствора на десятикратное разбавление. Данный эффект обусловлен уменьшением плотной органической оболочки внешнего слоя мицелл, состоящей из биомолекул экстракта, что активирует диффузию и высвобождение активных частиц металлов в окружающую питательную среду. Экспериментально доказано преимущество совмещенной металл-оксидной системы перед монокомпонентными аналогами во всех исследованных образцах. Наивысшее угнетение бактериальной культуры продемонстрировал образец композита Ag/ZnO, полученный на основе экстракта в режиме 70 °C/6 ч при кратности разведения 1:10. Диаметр зоны ингибирования роста тест-микроорганизма в данном случае составил 20.39 мм, что подтверждает наличие выраженного синергизма компонентов. Предложен многоэтапный механизм подавления клеток патогена, основанный на первичной деструкции липополисахаридного слоя мембраны свободными фитокомпонентами крапивы, последующем индуцировании окислительного стресса фазой оксида цинка и внутриклеточном блокировании дыхательных ферментов и аппарата репликации ДНК ионами серебра.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Демина А.Е., Никишина М.Б., Атрощенко Ю.М., Герасимова С.П. Биологическая активность индивидуальных и композитных коллоидных систем Ag и ZnO. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №8. С.63-70. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-63

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Демина А.Е., Никишина М.Б., Атрощенко Ю.М., Герасимова С.П. Биологическая активность индивидуальных и композитных коллоидных систем Ag и ZnO. *Бутлеровские сообщения А*. 2026. Т.14. №3. Id.14. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-63/ROI-jbc-A/26-14-3-14 (Russian)

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

Angelina E. Demina, Maria B. Nikishina, Yury M. Atroshchenko, Sofya P. Gerasimova. Bioactivity profiles of solitary and composite Ag and ZnO colloidal systems. *Butlerov Communications A*. 2026. Vol.14. No.3. Id.14. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-63/ROI-jbc-A/26-14-3-14

Литература

- [1] Блажева А.Р., Попов Д.В. Проблема антибиотикорезистентности и альтернативные антимикробные стратегии. *Журнал микробиологии*. **2024**. Т.45. №2. С.112-119. DOI: 10.36233/0372-9311-2024-45-2-112 [A.R. Blazheva, D.V. Popov. The problem of antibiotic resistance and alternative antimicrobial strategies. *Journal of Microbiology*. **2024**. Vol.45. No.2. P.112-119. DOI: 10.36233/0372-9311-2024-45-2-112 (Russian)]
- [2] Иканина Е.В., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н. Определение оптимальных условий концентрирования металл-оксидных наносистем композиционными сорбентами. *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 concentration of metal-oxide nanosystems by composite sorbents. *Butlerov Communications*. **2010**. Vol.22. No.11. P.16-24. ROI: jbc-01/10-22-11-16 (Russian)]
- [3] Rosmarinus S., Ahmad M., Khan K. Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles using plant metabolites. *Nature*. **2025**. Vol.14. No.3. P.401-412. DOI: 10.1038/s41598-025-40112-w
- [4] Al-Qudah M., Ahmed T., Abu-Qatouseh L. Urtica dioica aqueous leaf extract: Chemical composition, antioxidant and in vitro antimicrobial efficacy. *Поверхностно-активные вещества и коллоиды*. **2026**. Т.83. №1. С.54-67. DOI: 10.1134/S002329122601004X [M. Al-Qudah, T. Ahmed, L. Abu-Qatouseh. Urtica dioica aqueous leaf extract: Chemical composition, antioxidant and in vitro antimicrobial efficacy. *Surfactants and Colloids*. **2026**. Vol.83. No.1. P.54-67. DOI: 10.1134/S002329122601004X (Russian)]
- [5] Массалимов И.А., Ахметшин Б.С. Синтез и стабилизация коллоидных наночастиц с использованием полифункциональных растительных экстрактов. *Бутлеровские сообщения*. **2025**. Т.82. №4. С.24-35. ROI: jbc-01/25-82-4-24 [I.A. Massalimov, B.S. Akhmetshin. Synthesis and stabilization of colloidal nanoparticles using polyfunctional plant extracts. *Butlerov Communications*. **2025**. Vol.82. No.4. P.24-35. ROI: jbc-01/25-82-4-24 (Russian)]
- [6] Демина А.Е., Герасимова С.П., Никишина М.Б. Влияние параметров экстракции на размер частиц биметаллической Ag/ZnO дисперсной системы. *Научное Сообщество Студентов XXI Столетия. Естественные Науки: Сборник Материалов CLXI Студенческой Международной Научно-Практической Конференции*. Новосибирск: СибАК. **2026**. С.12-15. [A.E. Demina, S.P. Gerasimova, M.B. Nikishina. Influence of extraction parameters on particle size of bimetallic Ag/ZnO disperse system. *Scientific Community of Students of the XXI Century. Natural Sciences: Materials of the CLXI International Student Scientific and Practical Conference*. Novosibirsk: SibAK. **2026**. P.12-15. (Russian)]
- [7] Grevsen K., Fretté X.C., Christensen L.P. Concentration and composition of flavonol glycosides and phenolic acids in aerial parts of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *European Journal of Horticultural Science*. **2008**. Vol.73. No.1. P.20-27. DOI: 10.1079/ejhs.2008/539288
- [8] Воейкова Т.А., Попова Е.В., Котлярова С.А., Козлов Ю.И. Биосинтез наночастиц сульфида кадмия штаммами бактерий *Shewanella oneidensis* и *Bacillus subtilis* и их биоцидный эффект. *Российские Нанотехнологии*. **2022**. Т.17. №6. С.811-822. DOI: 10.21519/0034-7566-2022-17-6-811-822 [T.A. Voeikova, E.V. Popova, S.A. Kotlyarova, Yu.I. Kozlov. Biosynthesis of cadmium sulfide nanoparticles by *Shewanella oneidensis* and *Bacillus subtilis* bacterial strains and their biocidal effect. *Russian Nanotechnologies*. **2022**. Vol.17. No.6. P.811-822. DOI: 10.21519/0034-7566-2022-17-6-811-822 (Russian)]
- [9] Носов И.О., Рожицын С.И., Антропова И.Г. Исследование формирования наночастиц серебра и селена, полученных при использовании водных экстрактов из крапивы, и их биологическая активность. *Фенольные Соединения: Фундаментальные и Прикладные Аспекты*. Москва: ИФР РАН. **2025**. С.184-191. [I.O. Nosov, S.I. Rozhitsyn, I.G. Antropova. Investigation of the formation of silver and selenium nanoparticles obtained using aqueous extracts from nettle and their biological activity. *Phenolic Compounds: Fundamental and Applied Aspects*. Moscow: IFR RAS. **2025**. P.184-191. (Russian)]
- [10] Беляев В.В., Юрков Г.Ю., Губин С.П., Астахов М.Н. Сравнительный анализ антибактериальной активности наночастиц оксида цинка различной морфологии. *Российские Нанотехнологии*. **2021**. Т.16. №4. С.512-521. DOI: 10.21519/0034-7566-2021-16-4-512-521 [V.V. Belyaev, G.Yu. Yurkov, S.P. Gubin, M.N. Astakhov. Comparative analysis of antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles of various morphology. *Russian Nanotechnologies*. **2021**. Vol.16. No.4. P.512-521. DOI: 10.21519/0034-7566-2021-16-4-512-521 (Russian)]
- [11] Рахматуллина Р.И., Зайцева О.В., Самойлова А.А., Лобанов А.В. Изучение механизмов антимикробного действия металлоксидных наночастиц на грамотрицательные микроорганизмы. *Коллоидный журнал*. **2023**. Т.85. №3. С.341-352. DOI: 10.31857/S002329122303011X

- [R.I. Rakhmatullina, O.V. Zaytseva, A.A. Samoilova, A.V. Lobanov. Study of the mechanisms of antimicrobial action of metal oxide nanoparticles on gram-negative microorganisms. *Colloid Journal*. **2023**. Vol.85. No.3. P.341-352. DOI: 10.31857/S002329122303011X (Russian)]
- [12] Дерябин Д.Г., Инчагова К.С., Романова А.С., Думанская А.С. Механизмы антибактериального действия наночастиц серебра: роль прямого контакта и свободных ионов. *Микробиология*. **2021**. Т.90. №4. С.415-424. DOI: 10.31857/S002636562104005X [D.G. Deryabin, K.S. Inchagova, A.S. Romanova, A.S. Dumanskaya. Mechanisms of antibacterial action of silver nanoparticles: The role of direct contact and free ions. *Microbiology*. **2021**. Vol.90. No.4. P.415-424. DOI: 10.31857/S002636562104005X (Russian)]
- [13] Григорьева М.В., Птицын С.Ю., Смирнова Е.Г., Демин С.А. Ингибирование дыхательной активности бактерий *Escherichia coli* под действием катионов металлов. *Журнал физической химии*. **2023**. Т.97. №2. С.264-272. DOI: 10.31857/S004445372302009X [M.V. Grigorieva, S.Yu. Ptitsyn, E.G. Smirnova, S.A. Demin. Inhibition of respiratory activity of *Escherichia coli* bacteria under the action of metal cations. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. **2023**. Vol.97. No.2. P.264-272. DOI: 10.31857/S004445372302009X (Russian)]
- [14] Лойко Н.Г., Терешкина К.Б., Терешкин Э.В., Коваленко В.В., Крупянский Ю.Ф. Конденсация нуклеоида бактерий в условиях стресса, индуцированного химическими агентами. *Биофизика*. **2019**. Т.64. №5. С.910-918. DOI: 10.31857/S000630291905011X [N.G. Loyko, K.B. Tereshkina, E.V. Tereshkin, V.V. Kovalenko, Yu.F. Krupyansky. Bacterial nucleoid condensation under chemical agent-induced stress. *Biophysics*. **2019**. Vol.64. No.5. P.910-918. DOI: 10.31857/S000630291905011X (Russian)]
- [15] Angelina E. Demina, Maria B. Nikishina, Yury M. Atroshchenko, Sofya P. Gerasimova. Bioactivity profiles of solitary and composite Ag and ZnO colloidal systems. *Butlerov Communications A*. **2026**. Vol.14. No.3. Id.14. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-63/ROI-jbc-A/26-14-3-14
- [16] Демина А.Е., Никишина М.Б., Атрощенко Ю.М., Герасимова С.П. Биологическая активность индивидуальных и композитных коллоидных систем Ag и ZnO. *Бутлеровские сообщения А*. **2026**. Т.14. №3. Id.14. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-63/ROI-jbc-A/26-14-3-14 (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/26-14-3-12

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-8-41/ROI-jbc-A/26-14-3-12

**Bioactivity profiles of solitary and composite
Ag and ZnO colloidal systems**

© 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 50 86. E-mail: angeldemin@yandex.ru

*Supervising author; [†]Corresponding author

Keywords: green synthesis, composite colloidal systems, silver, zinc oxide, *Urtica dioica*, stinging nettle, antibacterial activity, *Escherichia coli*.

Abstract

This study delivers a comparative assessment of the bioactive potential characterizing solitary silver and zinc oxide colloidal systems alongside their composite Ag/ZnO counterpart, each stabilized utilizing aqueous matrices of stinging nettle (*Urtica dioica*) extract. The antimicrobial response was quantified via the agar well diffusion method against the Gram-negative tester strain *Escherichia coli*. Special emphasis was placed on tracing how the raw plant extraction parameters (temperature profiles at 25, 70, and 100 °C; exposure intervals of 6 and 24 hours) and systemic dilution ratios (from 1:0 to 1:1000) dictate the ultimate bioactivity of the resulting hydrosols. The investigation brought to light a non-linear trajectory in the antimicrobial performance of the examined systems relative to their dilution thresholds. Crucially, the apex of antibacterial efficacy for all nanoparticle variants shifts from the initial concentrated stock toward a ten-fold dilution state (1:10). This phenomenon is driven by the structural thinning of the dense organic capping layer flanking the outer micellar boundary, which is composed of extract biomolecules; its depletion subsequently triggers enhanced diffusion and accelerated release of active metallic species into the surrounding nutrient medium. Experimental data unequivocally validate the superiority of the integrated metal-oxide architecture over standalone equivalents across all monitored regimes. The most pronounced suppression of the bacterial culture materialized in the Ag/ZnO composite synthesized via the 70 °C/6 h extraction matrix at a 1:10 dilution factor, yielding an inhibition zone diameter of 20.39 mm and confirming a potent synergistic interplay between the constituent phases. Finally, a comprehensive multi-stage pathway for pathogen cell deactivation is advanced, wherein the free phytochemical entities of the nettle execute initial destabilization of the membrane lipopolysaccharide framework, followed by zinc-oxide-mediated oxidative stress and culminating in the intracellular arrest of respiratory enzymes and replication machinery by silver cavities.