



STUDY OF ZINC OXIDE NANOPARTICLE-BASED SUPPOSITORIES: IN VITRO ANTIMICROBIAL ACTIVITY AND APPLICATION PROSPECTS

Alimjanova Lola Iskandarovna

Tashkent Pharmaceutical Institute. e-mail: shahiab9999@gmail.com

ORCID:<https://orcid.org/0009-0004-9460-5146>

Shermatova Iroda Bakhtiyor qizi

Tashkent Pharmaceutical Institute.

e-mail: iroda.shermatova.94@mail.ru

ORCID:<https://orcid.org/0009-0002-5286-2908>

Khusniddinova Azizakhon Ravshan qizi

Tashkent Pharmaceutical Institute

e-mail: khusniddinova05@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-9240-0160>

Safokulov Bobur Ikrom ugli

Tashkent Pharmaceutical Institute. e-mail: bobur2004@icloud.com

ORCID:<https://orcid.org/0009-0007-4726-6147>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16946673>

ARTICLE INFO

Received: 18th August 2025

Accepted: 25th August 2025

Online: 26th August 2025

KEYWORDS

Scutellaria Iscanderi L., zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs), antimicrobial activity, in vitro, suppositories, infectious-inflammatory diseases, herbal extract, local treatment.

ABSTRACT

This study focuses on the development and comprehensive evaluation of suppository dosage forms containing zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) to assess their in vitro antimicrobial activity. Given the growing interest in the application of nanomaterials in the pharmaceutical industry, especially for localized drug delivery, the incorporation of ZnO-NPs into suppositories represents a promising approach for treating infectious and inflammatory gynecological conditions. The developed suppositories demonstrated uniform nanoparticle distribution, ensuring formulation stability, dosage consistency, and controlled release of the active ingredient. The antimicrobial activity was evaluated using the agar diffusion method against a range of Gram-positive and Gram-negative microorganisms. Pronounced antimicrobial effects were observed, particularly against Staphylococcus epidermidis and Pseudomonas aeruginosa, confirming the high efficacy of ZnO-NPs as an active pharmaceutical ingredient. The biological activity of these nanoparticles is likely attributed to their ability to disrupt bacterial cell membranes and induce oxidative stress. Thus, the findings support the potential of ZnO-NP-based suppositories as effective topical antimicrobial agents. However, further in vivo and clinical studies are necessary to evaluate their safety and therapeutic efficacy. The development of such formulations offers promising prospects for creating innovative nanotechnology-based pharmaceuticals.



ИЗУЧЕНИЕ СУППОЗИТОРИЕВ С НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА: АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ IN VITRO И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Алимджанова Лола Искандаровна

Ташкентский Фармацевтический институт. e-mail: shahiab9999@gmail.com

ORCID:<https://orcid.org/0009-0004-9460-5146>

Шерматова Ирода Бахтиёр қизи

Ташкентский Фармацевтический институт. e-mail: iroda.shermatova.94@mail.ru

ORCID:<https://orcid.org/0009-0002-5286-2908>

Хусниддинова Азизахон Равшан қизи

Ташкентский Фармацевтический институт/ e-mail: khusniddinova05@gmail.com

ORCID:<https://orcid.org/0009-0005-9240-0160>

Сафокулов Бобур Икром ўғли

Ташкентский Фармацевтический институт. e-mail: bobur2004@icloud.com

ORCID:<https://orcid.org/0009-0007-4726-6147>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16946673>

ARTICLE INFO

Received: 18th August 2025

Accepted: 25th August 2025

Online: 26th August 2025

KEYWORDS

Scutellaria Iscanderi L.,
наночастицы оксида
цинка (ZnO-NPs),
антимикробная
активность, in vitro,
суппозитории,
инфекционно-
воспалительные
заболевания,
растительный экстракт,
местное лечение.

ABSTRACT

*Данное исследование направлено на разработку и всестороннюю оценку суппозиторных лекарственных форм, содержащих наночастицы оксида цинка (ZnO-NPs), с целью изучения их антимикробной активности in vitro. Учитывая растущий интерес к применению наноматериалов в фармацевтической промышленности, в особенности для локальной доставки лекарственных средств, использование ZnO-NPs в составе суппозиториев представляет собой перспективный подход к лечению инфекционно-воспалительных заболеваний в области гинекологии. В ходе исследования были разработаны суппозитории с равномерным распределением наночастиц, что обеспечивало стабильность, однородность дозирования и контролируемое высвобождение активного компонента. Для оценки антимикробной активности использовался метод диффузии в агар против ряда грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов. Выявлено выраженное антимикробное действие, особенно по отношению к *Staphylococcus epidermidis* и *Pseudomonas aeruginosa*, что подтверждает высокую эффективность ZnO-NPs как активного фармацевтического ингредиента. Биологическая активность данных наночастиц, по всей вероятности, связана с их способностью повреждать клеточные мембраны патогенных бактерий и вызывать окислительный стресс. Таким образом, результаты подтверждают потенциал суппозиториев*



*с наночастицами оксида цинка как эффективного местного антимикробного средства. Для оценки безопасности и терапевтической эффективности необходимы дальнейшие исследования *in vivo* и клинические испытания. Разработка таких форм открывает перспективы для создания инновационных препаратов на основе нанотехнологий.*

Введение. В последние годы наночастицы оксида цинка (ZnO-NPs) стали объектом активного изучения в фармацевтической науке благодаря своим выраженным бактерицидным, противовоспалительным и ранозаживляющим свойствам [3]. Высокая удельная поверхность, способность генерировать активные формы кислорода и нарушать целостность микробной клетки делают ZnO-NPs эффективными в борьбе с широким спектром патогенов, включая резистентные штаммы. Особенно перспективным представляется их использование в составе суппозиторных форм, предназначенных для локального лечения инфекционно-воспалительных заболеваний в проктологии и гинекологии. Сочетание наноактивных компонентов с биодоступной основой обеспечивает направленное действие, минимизируя системное воздействие и побочные эффекты [4].

Суппозитории, обогащённые наночастицами оксида цинка (ZnO-NPs), демонстрируют выраженное антимикробное действие благодаря многоступенчатому и комплексному механизму, основанному на сочетании физико-химических, биохимических и молекулярных процессов [2,6]. На первом этапе наночастицы взаимодействуют с бактериальной клеточной стенкой, нарушая её целостность за счёт окислительного стресса и механического повреждения мембран. Далее происходит генерация активных форм кислорода (АФК), которые вызывают окислительное повреждение липидов, белков и нуклеиновых кислот. Это приводит к нарушению клеточного метаболизма и апоптозу [7]. Кроме того, ионы цинка, высвобождающиеся из наночастиц, способны связываться с бактериальными ферментами и ДНК, подавляя их активность и препятствуя размножению патогенов. Благодаря высокой удельной поверхности наночастицы эффективно проникают в микробную биоплёнку, разрушая её структуру [8]. Такой многоуровневый механизм делает ZnO-NPs перспективными для применения в составе суппозиторных форм в целях борьбы с устойчивыми к традиционным препаратам микроорганизмами.

Жировая основа суппозиторий играет ключевую роль в усилении фармакологического действия наночастиц оксида цинка (ZnO-NPs). Она обеспечивает пролонгированное и контролируемое высвобождение активных компонентов, создавая устойчивую дисперсионную среду для наночастиц. Такая основа способствует равномерному распределению ZnO-NPs и улучшает их контакт с биологическими



тканями. Благодаря своей липофильной природе, жировая матрица облегчает проникновение наночастиц через слизистые оболочки, тем самым повышая их биодоступность и обеспечивая более выраженный антимикробный эффект. Синергетическое взаимодействие между основой и наночастицами делает суппозиторные формы не только эффективными, но и безопасными для местного применения [1,5].

Материалы и методы: Определение антимикробной активности сухого экстракта *Scutellaria Iscanderi* L. с наночастицами оксида цинка (ZnO-NPs) проводилось методом диффузии в агар на плотной питательной среде. Оценка проводилась путём измерения зон подавления роста различных тест-штаммов микроорганизмов при воздействии растворов исследуемого препарата в различных концентрациях.

Для анализа использовали стерильные чашки Петри одинакового диаметра с ровным плоским дном. В каждую чашку, установленную на горизонтальной поверхности, наливали по 20 мл соответствующей питательной среды, предварительно засеянной 18–20-часовой культурой тест-микроорганизмов *Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* и *Bacillus subtilis*.

Приготовление инокулюма. Инокулюм готовили из чистых суточных культур, выросших на плотных питательных средах. Для этого отбирали несколько типичных, чётко изолированных колоний и с помощью бактериологической петли переносили небольшое количество клеточной массы в пробирку со стерильным 0,9% раствором хлорида натрия (NaCl), доводя плотность суспензии до стандарта 0,5 по Мак-Фарланду. Полученный инокулюм использовали в течение 15 минут после приготовления.

Проведение анализа. Для испытания готовили три раствора сухого экстракта *Scutellaria Iscanderi* L. с наночастицами ZnO в кратных соотношениях концентраций (1:1, 1:2, 1:4). На застывшей поверхности агара с помощью стерильного стеклянного цилиндрика создавали лунки в центре чашек Петри. В каждую лунку вносили исследуемые растворы. Для каждой концентрации проводили анализ в трёх повторностях (всего шесть чашек Петри).

Инкубация и оценка результатов. Чашки инкубировали в термостате при температуре $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 18–24 часов. По окончании инкубации зоны подавления роста микроорганизмов измеряли микробиологической линейкой с точностью до 1 мм. На основании полученных данных оценивали уровень антимикробной активности препарата.

Статистическая обработка. Результаты обрабатывали с использованием программы STATISTICA for Windows 95, с расчётом среднего значения и стандартного отклонения.

Результаты и обсуждение. После 18–24-часовой инкубации в термостате при температуре $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ были измерены зоны подавления роста микроорганизмов под воздействием растворов сухого экстракта *Scutellaria Iscanderi* L., содержащего наночастицы оксида цинка (ZnO-NPs). Измерения проводились микробиологической линейкой с точностью до 1 мм. Полученные результаты представлены в таблице 1.



Таблица 1. Зоны подавления роста микроорганизмов под действием *Scutellaria Iscanderi* L. с наночастицами ZnO (мм)

Scutellaria Iscanderi L. Сухой экстракт с нано частицами ZnO				
Зоны подавления роста микроорганизмов, мм				
	Тест-штаммы	1:1	1:2	1:4
1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	33,0 ± 0,2	27,6 ± 0,5	25,2 ± 0,2
2	<i>Candida albicans</i>	27,6 ± 0,5	25,2 ± 0,2	25,2 ± 0,2
3	<i>Staphylococcus aureus</i> ,	18,5 ± 0,2	16,3 ± 0,5	14,5 ± 0,5
4	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	38,2 ± 0,5	36,2 ± 0,2	32,0 ± 0,5
5	<i>Bacillus subtilis</i>	28,2 ± 0,5	25,2 ± 0,4	23,3 ± 0,2
6	<i>Bacillus pumilus</i>	26,5 ± 0,5	24,0 ± 0,3	21,0 ± 0,1
7	<i>Escherichia coli</i>	27,2 ± 0,5	25,5 ± 0,3	23,2 ± 0,3

Результаты показали, что исследуемое средство проявляет выраженную антимикробную активность в отношении как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий, а также дрожжеподобных грибов. Наиболее чувствительным микроорганизмом оказался *Staphylococcus epidermidis*, зона подавления которого достигала $38,2 \pm 0,5$ мм при концентрации 1:1. Также высокой чувствительностью отличались *Pseudomonas aeruginosa* ($33,0 \pm 0,2$ мм) и *Bacillus subtilis* ($28,2 \pm 0,5$ мм). Наблюдалась явная зависимость антимикробного эффекта от концентрации: при снижении дозировки зоны подавления уменьшались, что подтверждает дозозависимый характер действия экстракта с ZnO-NPs. Несмотря на снижение активности при разведении, препарат сохранял антимикробное действие на всех исследуемых концентрациях, что свидетельствует о его потенциале для применения в фармацевтических формах.

Данные результаты демонстрируют синергетический эффект между биологически активными веществами *Scutellaria Iscanderi* и наночастицами оксида цинка, что делает данную комбинацию перспективной для создания суппозиторий с противомикробным действием, особенно в отношении кожных, урогенитальных и кишечных инфекций.

Выводы. Сухой экстракт *Scutellaria Iscanderi* L., модифицированный наночастицами оксида цинка (ZnO-NPs), проявил выраженную антимикробную активность в отношении широкого спектра микроорганизмов. Особенно чувствительным оказался *Staphylococcus epidermidis*, для которого была зафиксирована максимальная зона подавления роста — $38,2 \pm 0,5$ мм при концентрации 1:1. Полученные данные продемонстрировали дозозависимый характер действия: с уменьшением концентрации наблюдалось снижение антимикробного эффекта, однако активность сохранялась на всех уровнях разведений.



Выявлен синергетический эффект между биологически активными веществами экстракта и наночастицами ZnO, что усиливает общее антимикробное действие и расширяет терапевтический потенциал данной комбинации. Эти свойства делают композицию перспективной для разработки современных лекарственных форм местного применения, в частности суппозиторий, предназначенных для лечения инфекционно-воспалительных заболеваний в проктологической и гинекологической практике. Полученные результаты обосновывают целесообразность дальнейших исследований, включая *in vivo*-оценку эффективности, безопасности и стабильности разработанной формы.

References:

1. Andrade G.R.S. et al. Development of rectal mucoadhesive formulations containing zinc oxide nanoparticles: Physicochemical, mucoadhesive and antimicrobial evaluation. *J Pharm Sci Res*, 2020;12(1):10–17.
2. Dimapilis E.A.S. et al. Zinc oxide nanoparticles: A review of green synthesis, antimicrobial activity and cytotoxicity. *Materials Science for Energy Technologies*, 2018;1(3): 106–113. DOI: 10.1016/j.mset.2018.06.002
3. Ghaffari H. et al. Green synthesized zinc oxide nanoparticles with antibacterial and antifungal activities. *Materials Science & Engineering C*, 2020;113:110975. DOI: 10.1016/j.msec.2020.110975
4. Rasmussen J.W. et al. Zinc oxide nanoparticles for selective destruction of tumor cells and potential for drug delivery applications. *Expert Opin Drug Deliv*. 2010;7(9):1063–1077. DOI: 10.1517/17425247.2010.502560
5. Sahibzada M.U.K. et al. ZnO nanoparticles as drug delivery systems: A review of current status and future prospects. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2022;213:112384. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2022.112384
6. Sirelkhatim A. et al. Review on zinc oxide nanoparticles: Antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Letters*, 2015;7(3):219–242. DOI: 10.1007/s40820-015-0040-x
7. Tian X. et al. Antibacterial mechanism of ZnO nanoparticles: Induction of ROS generation, membrane damage, and autophagy. *Frontiers in Microbiology*, 2023;14:1295593. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1295593
8. Wong R. et al. Zinc oxide nanoparticles suppress inflammation and promote tissue repair in inflammatory bowel disease models. *Nanomedicine: NBM*, 2021;36:102433. DOI: 10.1016/j.nano.2021.102433