



STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF VAGINAL SUPPOSITORIES CONTAINING ZINC OXIDE NANOPARTICLES USING ATOMIC FORCE MICROSCOPY

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.16946790>

ARTICLE INFO

Received: 18th August 2025

Accepted: 25th August 2025

Online: 26th August 2025

KEYWORDS

Zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs), vaginal suppositories, atomic force microscopy, nanotechnology, local therapy, gynecological infections, morphophysical characteristics, structural analysis.

ABSTRACT

The development of effective and safe vaginal dosage forms using nanomaterials is a highly relevant area of modern pharmaceutical science, particularly in the context of rising antimicrobial resistance and the limitations of systemic antibiotic therapy. In this study, a vaginal dosage form containing zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs), known for their pronounced antimicrobial, anti-inflammatory, and wound-healing properties, was developed and characterized.

Particular attention was paid to the morphophysical characteristics of the nanoparticles and their distribution within the suppository matrix, analyzed using atomic force microscopy (AFM). AFM, as a highly sensitive method for nanometer-scale imaging, made it possible to determine the size, shape, degree of aggregation, and surface features of ZnO-NPs without the need for prior fixation or staining of the samples. The results demonstrated uniform distribution of the nanoparticles within the suppository base and their stable incorporation into the structure of the dosage form, indicating high technological reproducibility and potential for controlled release of the active substance. The obtained data are essential for further standardization of the manufacturing technology, formulation optimization, and enhancement of the suppositories' therapeutic efficacy. This study provides a scientific foundation for the development of innovative nanostructured formulations aimed at the local treatment of infectious and inflammatory diseases of the female reproductive system. The work holds high scientific, practical, and social significance.

СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВАГИНАЛЬНЫХ СУППОЗИТОРИЕВ С НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА МЕТОДОМ АСМ

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.16946790>

ARTICLE INFO

Received: 18th August 2025

Accepted: 25th August 2025

Online: 26th August 2025

KEYWORDS

Наночастицы оксида цинка (ZnO-NPs), вагинальные суппозитории, атомно-силовая микроскопия, нанотехнологии, локальная терапия, гинекологические инфекции, морфологические характеристики, структурный анализ.

ABSTRACT

Разработка эффективных и безопасных вагинальных лекарственных форм с использованием наноматериалов представляет собой актуальное направление современной фармацевтической науки, особенно в условиях роста антимикробной резистентности и ограничений системной антибиотикотерапии. В рамках настоящего исследования создана и охарактеризована вагинальная лекарственная форма, содержащая наночастицы оксида цинка (ZnO-NPs), известные своими выраженными антимикробными, противовоспалительными и ранозаживляющими свойствами.

Особое внимание уделено морфологическим характеристикам наночастиц и их распределению в матрице суппозиториев, исследованном с применением метода атомно-силовой микроскопии (АСМ). АСМ как высокочувствительный метод визуализации на нанометровом уровне позволил определить размеры, форму, степень агрегации, а также поверхностные особенности ZnO-NPs без необходимости предварительной фиксации или окрашивания образцов. Результаты показали равномерное распределение наночастиц в суппозиторной основе и их стабильное встраивание в структуру лекарственной формы, что свидетельствует о высокой технологической воспроизводимости и потенциале для контролируемого высвобождения действующего вещества. Полученные данные имеют важное значение для дальнейшей стандартизации технологии, оптимизации состава и повышения эффективности суппозиториев. Проведённое исследование закладывает научную основу для создания инновационных наноструктурированных препаратов, направленных на локальную терапию инфекционно-воспалительных заболеваний женской половой сферы. Работа имеет высокую научную, практическую и социальную значимость.



Введение. Инфекционно-воспалительные заболевания влагалища, включая бактериальный вагиноз, кандидоз, вагинит различной этиологии, остаются актуальной медицинской проблемой, особенно в условиях растущей антибиотикорезистентности и частых рецидивов [8]. Стремительное развитие наномедицины открывает новые возможности в создании инновационных лекарственных форм с направленным действием и минимальными побочными эффектами. Одним из перспективных антимикробных агентов в составе местных препаратов являются наночастицы оксида цинка (ZnO-NPs), обладающие выраженной антибактериальной, фунгицидной, противовоспалительной и регенераторной активностью [1].

Суппозитории с включением ZnO-NPs в качестве действующего вещества рассматриваются как эффективная форма локальной терапии, способствующая устранению инфекции, снижению воспаления и восстановлению слизистой оболочки влагалища [2,6]. Однако для оптимизации состава и формы необходимо глубокое изучение их микроструктуры, морфологии поверхности, распределения наночастиц, степени агрегации и взаимодействия с основой препарата. Эти параметры напрямую влияют на биодоступность, стабильность и фармакологическую активность суппозитория [4].

Создание эффективных и безопасных вагинальных суппозитория с наночастицами оксида цинка представляет собой актуальное направление современной науки, требующее глубокого междисциплинарного подхода, объединяющего достижения в области нанотехнологий, фармацевтики, микробиологии и физико-химического анализа [3]. В условиях стремительного роста устойчивости микроорганизмов к традиционной терапии, ограничений системного применения антибиотиков и возрастающей потребности в деликатных, но результативных методах локального лечения, разработка таких наноструктурированных форм приобретает особую значимость. Комплексное изучение их структуры и функциональных свойств открывает новые перспективы в создании инновационных средств терапии инфекционно-воспалительных заболеваний [5]. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) — это высокоточный метод визуализации на нанометровом уровне, обеспечивающий детальное исследование морфофизических характеристик биоматериалов без необходимости предварительной фиксации или окрашивания. В контексте разработки вагинальных суппозитория с наночастицами оксида цинка (ZnO-NPs), применение АСМ позволяет не только визуализировать распределение наночастиц на поверхности и внутри матрикса, но и выявить потенциальные зоны их высвобождения [7]. Благодаря высокой разрешающей способности, АСМ также предоставляет возможность глубокой оценки степени дисперсности, агрегации и поверхностной энергии наночастиц, что играет ключевую роль в прогнозировании их поведения в биологической среде. Эти данные необходимы для стандартизации технологии, оптимизации состава и повышения воспроизводимости лечебного эффекта. Настоящее исследование обладает значимой научной и практической ценностью, способствуя совершенствованию подходов к локальной терапии гинекологических заболеваний с применением нанотехнологий.



Материалы и методы. Объектом исследования служили экспериментальные вагинальные суппозитории, модифицированные наночастицами оксида цинка (ZnO-NPs). Наночастицы были синтезированы методом осаждения с последующей стабилизацией и характеризовались средним размером 20–50 нм, согласно технической документации поставщика. В качестве основы суппозитория использована композиция полиэтиленгликолей (ПЭГ-1500 и ПЭГ-4000) в массовом соотношении 1:1, обеспечивающая пластичность, стабильность формы и равномерное распределение наноматериала.

Приготовление суппозитория осуществлялось методом расплавления и последующего дозирования в формовочные ячейки с последующей стабилизацией при температуре +4 °С в течение 24 часов. Полученные суппозитории хранились в герметично закрытых контейнерах при температуре 8–10 °С в условиях, исключающих воздействие света и влаги.

Морфологическое исследование суппозитория проводилось с использованием атомно-силовой микроскопии (АСМ) на установке NT-MDT NTEGRA Prima (Россия) в режиме полуконтактного сканирования. Подготовка образцов включала получение плоской поверхности методом микротомного среза. АСМ-изображения анализировались с помощью специализированного программного обеспечения Nova_Px, позволявшего проводить количественную и качественную оценку формы, размеров, степени агрегации и распределения ZnO-NPs в объёме и на поверхности суппозиторной матрицы. Все измерения выполнялись при температуре 22 ± 2 °С в условиях минимизации вибраций и электромагнитных помех. Для повышения репрезентативности анализа сканирование проводилось в трёх независимых зонах каждого образца с последующим усреднением полученных параметров.

Результаты и обсуждение. Проведённый анализ методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволил визуализировать морфологические характеристики суппозитория, содержащих наночастицы оксида цинка (ZnO-NPs), а также оценить их распределение в матрице лекарственной формы. Полученные изображения поверхности показали наличие сферических наночастиц размером от 20 до 50 нм, равномерно распределённых в объёме и на поверхности суппозиторной основы. Среднее значение диаметра частиц составило 34 ± 6 нм, что соответствует исходным параметрам используемого наноматериала.

Анализ микротопографии выявил гладкую и однородную структуру суппозиторной матрицы без выраженных зон агрегации или оседания наночастиц, что указывает на эффективную стабилизацию ZnO-NPs в полимерной основе. Степень агрегации частиц оценивалась как низкая, благодаря оптимальному выбору основы и способу включения наноматериала. Наблюдаемая однородность распределения частиц свидетельствует о высокой технологической воспроизводимости процесса приготовления лекарственной формы. Изучение локальных вариаций высотных профилей показало наличие потенциальных зон высвобождения наночастиц, преимущественно на границах микроскопических углублений матрицы. Это может способствовать контролируемому и пролонгированному выделению ZnO-NPs при



контакте с влажной средой, обеспечивая выраженный антимикробный и противовоспалительный эффект.

Результаты согласуются с литературными данными о высокой биологической активности ZnO-NPs и подчёркивают их перспективность для использования в локальной терапии гинекологических инфекций. Применение АСМ подтвердило стабильность, структурную целостность и равномерное распределение наночастиц, что позволяет рассматривать разработанную форму как основу для дальнейших доклинических исследований и стандартизации технологии.

Выводы. В ходе настоящего исследования была разработана и охарактеризована вагинальная лекарственная форма с включением наночастиц оксида цинка (ZnO-NPs). Применение атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволило получить детализированную информацию о морфологической структуре суппозитория и распределении наночастиц в матрице. Установлено, что ZnO-NPs равномерно распределяются в суппозиторной основе, не образуя агломератов и сохраняя стабильность в структуре лекарственной формы. Средний размер наночастиц соответствовал заявленным параметрам, а поверхность суппозитория отличалась высокой однородностью, что свидетельствует о корректности выбранной технологии приготовления. Выявленные потенциальные зоны высвобождения ZnO-NPs указывают на возможность пролонгированного и контролируемого действия препарата при местном применении, что особенно важно для терапии гинекологических инфекционно-воспалительных заболеваний.

Полученные данные подтверждают научную обоснованность использования ZnO-NPs в составе вагинальных суппозитория и служат основой для дальнейших доклинических исследований, направленных на изучение биодоступности, безопасности и терапевтической эффективности данной лекарственной формы.

References:

1. Bakaeva, A. M. (2021). Nanotechnologies in the development of vaginal suppositories: current state and prospects. *Russian Biopharmaceutical Journal*, (2)10, 25–31.
2. Ibragimov, B. K. (2024). Innovative suppository forms in gynecology: ways to improve effectiveness. *Drug Affairs*, (1), 19–24.
3. Jan, T., & Amin, M. C. I. M. (2022). Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, characterization, and biomedical applications – A review. *Materials Today Chemistry*, 24, 100938.
4. Mishra, A., Ranjan, S., & Dasgupta, N. (2023). Zinc oxide nanoparticles: A promising nanomaterial for biomedical applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 78, 104042.
5. Mourdikoudis, S., & Pallares, R. (2023). Characterization techniques for nanoparticles: Comparison and complementarity. *Chemical Society Reviews*, 52(1), 120–144.
6. Rehman, A., et al. (2021). Antibacterial mechanism of zinc oxide nanoparticles: A review of recent advances. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 47(10), 1545–1553.
7. Sharipova, D. A., & Abdullaeva, G. Sh. (2020). Atomic force microscopy in pharmaceutical research. *Pharmacy Bulletin*, (6), 33–38.



8. World Health Organization. (2022). Global report on antimicrobial resistance. Geneva: WHO. 88 p.