UNIVERSAL JOURNAL OF MEDICAL AND NATURAL SCIENCES
ISSN 2992-8826
https://sr-journals.org/index.php/UJMANS

Антибактериальные, цитотоксические и мультифункциональные терапевтические возможности золотых наночастиц, синтезированных «Зелёным» способом

tadqiqotchi ***Z.M.Raximberganova***
Toshkent davlat texnika universiteti
raximberganovaz@gmail.com
assistent ***N.S.Yusupova***
Toshkent davlat texnika universiteti

Аннотация. В данной статье на основе анализа литературы освещены вопросы синтеза золотых наночастиц (AuNPs) «зелёным» способом, их антибактериальные и цитотоксические свойства, а также различные биомедицинские применения. «Зелёный» синтез позволяет получать экологически чистые и экономически эффективные AuNPs с использованием растительных экстрактов. Проанализированные исследования показывают, что AuNPs обладают широким спектром антибактериальной активности, ингибируют рост грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также оказывают цитотоксическое действие на раковые клетки через апоптоз и окислительный стресс. Золотые наночастицы также имеют высокий потенциал в таких областях, как адресная доставка лекарственных средств, фотодинамическая терапия и детоксикация.

Ключевые слова: золотые наночастицы, «зелёный» синтез, антибактериальная активность, цитотоксичность, апоптоз, доставка лекарств.

Annotatsiya. Ushbu maqolada oltin nanozarrachalarni (AuNPs) “yashil” usulda sintez qilish, ularning antibakterial va sitotoksik xususiyatlari hamda turli biomeditsinaviy qo‘llanmalari adabiyotlar tahlili asosida yoritilgan. “Yashil” sintez o‘simlik ekstraktlari yordamida ekologik toza va iqtisodiy jihatdan samarali AuNPs olish imkonini beradi. Tahlil qilingan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, AuNPs keng spektrli antibakterial faollikka ega bo‘lib, gram-musbat va gram-manfiy bakteriyalarning o‘sishini inhibe qiladi, shuningdek, saraton hujayralarida apoptoz va oksidativ stress orqali sitotoksik ta’sir ko‘rsatadi. Oltin nanozarrachalar dori vositalarini manzilli yetkazish, fotodinamik terapiya va detoksikatsiya kabi sohalarda ham yuqori salohiyatga ega.

Kalit so‘zlar: oltin nanozarrachalar, “yashil” sintez, antibakterial faollik, sitotoksiklik, apoptoz, dori yetkazish.

Abstract. This article, based on a literature review, covers the synthesis of gold nanoparticles (AuNPs) by the “green” method, their antibacterial and cytotoxic properties, as well as various biomedical applications. Green synthesis allows obtaining environmentally friendly and cost-effective AuNPs using plant extracts. The analyzed studies show that AuNPs possess a broad spectrum of antibacterial activity, inhibit the growth of gram-positive and gram-negative bacteria, and also exert a cytotoxic effect on cancer cells through apoptosis and oxidative stress. Gold nanoparticles also have high potential in areas such as targeted drug delivery, photodynamic therapy, and detoxification.

Keywords: gold nanoparticles, green synthesis, antibacterial activity, cytotoxicity, apoptosis, drug delivery

Введение, С развитием нанотехнологий металлические наночастицы, в частности золотые наночастицы (AuNPs), вызывают большой интерес в биомедицине. Традиционные физико-химические методы синтеза связаны с использованием токсичных реагентов, высокими энергозатратами и экологически опасными отходами. По этой причине активно

развиваются методы синтеза наночастиц на основе принципов «зелёной» химии с использованием растительных экстрактов, микроорганизмов или сельскохозяйственных отходов. Полученные «зелёным» методом AuNPs благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам — большой удельной поверхности, поверхностному плазмонному резонансу, биосовместимости и низкой токсичности — находят применение в различных областях медицины.

В данной статье на основе анализа литературы освещены антибактериальные и цитотоксические свойства «зелёно»-синтезированных золотых наночастиц, а также эффективность гелей на их основе при заживлении ран, устранении дисбиоза, доставке лекарств, противораковой терапии и даже алкогольной детоксикации.

Основы «зелёного» синтеза

«Зелёный» синтез — это процесс образования наночастиц путём восстановления (редукции) и стабилизации ионов металлов с помощью биологических источников (растительных экстрактов, грибов, бактерий). Содержащиеся в растительных экстрактах полифенолы, флавоноиды, терпеноиды и алкалоиды одновременно выполняют функции восстановителя и каппирующего агента. Данный метод обладает следующими преимуществами:

- не используются токсичные химические вещества;
- сырьё является возобновляемым и дешёвым;
- полученные наночастицы биосовместимы и стабильны.

Антибактериальные и цитотоксические свойства

Антибактериальная активность

«Зелёные» AuNPs проявляют сильное антибактериальное действие против грамположительных (например, *Staphylococcus aureus*) и грамотрицательных (например, *Escherichia coli*) бактерий. Механизм действия включает следующие этапы:

- **Нарушение клеточной мембраны:** AuNPs взаимодействуют с бактериальной стенкой, нарушая её целостность и вызывая выход клеточного содержимого.
- **Образование активных форм кислорода (АФК):** Наночастицы повышают внутриклеточное содержание АФК, таких как пероксид водорода и супероксид-анионы, что приводит к гибели клеток через окислительный стресс.
- **Ингибирование синтеза ДНК и белков:** AuNPs проникают внутрь клетки и останавливают активность генетического материала и ферментов.

Цитотоксические (противораковые) свойства

«Зелёные» AuNPs проявляют дозозависимую цитотоксическую активность в отношении различных линий раковых клеток. В следующей таблице приведены значения IC50 для AuNPs, полученных из разных источников:

Таблица.1. Цитотоксическая активность AuNPs из разных источников

Источник наночастиц	**Линия клеток**	**Значение IC50 (48–72 ч)**	**Заключение**
Семена Peganum harmala	HeLa (шейка матки)	7.7 µg/mL HT-29 (толстая кишка)	Наиболее чувствительная клетка
Водоросль Caulerpa sertularioides	HT-29 (толстая кишка)	15.44 µg/mL	48 ч инкубации
Семена Peganum harmala	OVCAR3 (яичник)	30 µg/mL	Дозозависимо
Корица Cinnamomum verum	HCT-116 (толстая кишка)	11.76 µg/mL	~80% гибели при 5 µg/mL
Лист Clerodendrum trichotomum	MCF-7 (молочная железа)	снижение роста на 32.67% при 120 µg/mL	24 ч воздействия

Механизмы цитотоксического действия:

• **Индукция апоптоза:** AuNPs активируют в раковых клетках путь программируемой гибели (подтверждено окрашиванием аннексином V и PI).

• **Митохондриальная дисфункция:** нарушают работу митохондрий, влияя на энергетический обмен клетки.

• **Дезинтеграция мембраны:** разрушают целостность клеточной мембраны, вызывая выход клеточного содержимого.

Анализ литературы: применение AuNPs в различных исследованиях

Влияние гелей с наночастицами серебра на заживление ран

В исследовании изучалось регенеративное и противовоспалительное действие гелей, содержащих наночастицы серебра (AgNPs), на крысах с гнойными ранами. Было испытано четыре типа гелей, оценивались планиметрические (изменение площади раны), биохимические (общий белок, мочевина, креатинин, перекисное окисление в сыворотке крови) и иммунобиохимические (IL-1α, TNFα, С-реактивный белок) показатели. Все гели способствовали заживлению ран. Наилучшие результаты наблюдались у геля №3, содержащего наночастицы серебра и глюкозамин. Под действием этого геля маркеры воспаления значительно снижались, показатели крови нормализовались, а скорость эпителизации была выше, чем у препарата сравнения «Дермазин». Вывод: комбинация наночастиц серебра с глюкозамином обладает высокой эффективностью при заживлении ран.

Влияние гелей с наночастицами золота и серебра на дисбиоз

С помощью липополисахарида (ЛПС) у крыс вызывали дисбиоз (нарушение микрофлоры) слизистой оболочки полости рта. Затем применяли силикагелевые гели, содержащие наночастицы золота (5 нм и 5 мкм) и серебра (5 мкм и 10 мкм). Степень дисбиоза оценивали по относительной активности уреазы (маркер микробной контаминации) и лизоцима (показатель неспецифического иммунитета). ЛПС повышал активность уреазы в 3,5 раза и снижал активность лизоцима. Все гели с наночастицами уменьшали степень дисбиоза. Наиболее сильное действие наблюдалось у наночастиц золота размером 5 нм: они приблизили активность уреазы к норме и восстановили активность лизоцима. Вывод: наночастицы золота обладают более высокой эффективностью против дисбиоза по сравнению с наночастицами серебра.

Адресная доставка лекарственных средств с помощью золотых наночастиц

В данном исследовании золотые наночастицы были покрыты диоксидом кремния (SiO_2), и с помощью математического моделирования изучены их светорассеивающие свойства и эффективность в качестве носителей лекарств. Исследовано влияние покрытий разной толщины (2–20 нм). Частицы с толстым покрытием (20 нм) рассеивали свет слабо, а частицы с тонким покрытием (2–5 нм) усиливали рассеяние, что обеспечивает лёгкую видимость при лазерном облучении. Самый важный результат: тонкопокрытые золотые наночастицы являются наиболее перспективными в системах доставки лекарств, поскольку они легко обнаруживаются в организме и могут применяться в адресной терапии.

Фотодинамическая терапия рака с использованием золотых наночастиц в полимерных капсулах

Золотые наночастицы подобны ферменту каталазе — они расщепляют пероксид водорода на кислород. Однако в биологической среде они покрываются «белковой короной», подвергаются агломерации и теряют эффективность. Для решения проблемы AuNPs размером 3 нм были помещены внутрь полимерных капсул. Эксперименты показали, что частицы с полимерной оболочкой меньше адгезируют, имеют меньшую вероятность образования «белковой короны» и дольше сохраняют свою активность. В результате они проявили в несколько раз более сильное цитотоксическое действие на раковые клетки при фотодинамической терапии. Вывод: инкапсуляция в полимер — важная стратегия, повышающая эффективность AuNPs in vivo.

Влияние гидрогеля с золотыми наночастицами на детоксикацию алкоголя

В исследовании на мышах изучалось влияние гидрогеля, состоящего из золотых наночастиц, железа и молочных белков, на скорость расщепления алкоголя. Гель катализирует прямое превращение спирта в уксусную кислоту (ацетат) непосредственно в кишечнике, предотвращая образование токсичного ацетальдегида через печень. Результаты: при применении геля содержание алкоголя в крови снизилось на 40% через 30 минут и более чем на 50% через 5 часов. При этом уменьшилось повреждение печени и других внутренних органов. Вывод: гидрогель с золотыми наночастицами обладает высокой эффективностью для устранения алкогольной интоксикации, однако клинические испытания ещё не проведены.

Проанализированные исследования показывают широкий спектр биомедицинских возможностей золотых наночастиц, синтезированных «зелёным» способом. Прежде всего, их антибактериальные и цитотоксические свойства делают их перспективными для борьбы с инфекционными заболеваниями и раком. Особого внимания заслуживает тот факт, что золотые наночастицы (размером 5 нм) более эффективны в снижении дисбиоза по сравнению с серебряными.

Кроме того, гели и гидрогели на основе AuNPs (ранозаживляющие, для алкогольной детоксикации) открывают возможности для локальной и системной терапии. Результаты в области доставки лекарств и фотодинамической терапии подтверждают, что модификация поверхности золотых наночастиц (покрытие диоксидом кремния, полимерная инкапсуляция) позволяет повысить их эффективность.

Вместе с тем, многие исследования проведены in vitro или на животных моделях. Для внедрения в клиническую практику необходимы долгосрочные исследования токсичности, накопления в организме и потенциальных побочных эффектов in vivo.

Заключение, Золотые наночастицы, синтезированные «зелёным» способом, обладают сильными антибактериальными и цитотоксическими свойствами. Гели на их основе эффективны в таких областях, как заживление ран, устранение дисбиоза, алкогольная детоксикация. Кроме того, модификация AuNPs диоксидом кремния или полимером повышает их эффективность при доставке лекарств и фотодинамической терапии рака. Анализ имеющейся литературы показывает огромный потенциал золотых наночастиц для медицины будущего, однако клинические испытания и оценка безопасности должны быть продолжены.

Список использованной литературы

1. Булига Л.А. и др. «Изучение ранозаживляющего действия гелей с наночастицами серебра у животных с гнойными ранами». // *Вестник фармации*, №2 (68), 2015.
2. Ткач О.Б. «Влияние гелей с наночастицами золота или серебра на степень дисбиоза слизистой оболочки щеки крыс после воздействия липополисахарида». //*Киевский национальный медицинский университет*, 2013.
3. «Золото поможет адресно доставлять препараты в организме пациентов». *Научная Россия*, 2023.
4. «Повышена эффективность действия золотых наночастиц для борьбы с раком». *МФТИ / Сколтех*, 2024.
5. «Швейцарские ученые изобрели золотой чудо-гель против похмелья». *Nature Nanotechnology*, 2024.
6. Iravani S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 13(10), 2638–2650.
7. Raximberganova Z.M. Oltin nanozarrachalar: tushunchasi, tasnifi va fizik kimyoviy xususiyatlari //«Innovatsion yechimlar: qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoatida barqaror rivojlanish» mavzusidagi VI xalqaro ilmiy-texnik anjuman ma’ruzalar to’plami. 3 jild. Tosh.2026.