



ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ/FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.65> EDN: EXQMIS

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ЗЕЛЕННЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ

Обзор

Оконов С.С.^{1,*}, Овсяук Е.А.²^{1,2} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (seonn13[at]gmail.com)

Предложена: 29.04.2026; Принята: 21.05.2026; Опубликовано: 17.06.2026

Аннотация

В данной статье представлены результаты комплексного анализа современного состояния «зеленых» технологий синтеза антибактериальных наночастиц металлов с использованием растительных экстрактов, как более экологически чистой и экономически эффективной альтернативы традиционным физико-химическим методам. Целью исследования было систематизация и обобщение методик получения наноструктурных материалов и оценка перспектив внедрения и интеграции подобных биогенных агентов в пищевые системы. Приведены общие протоколы получения металлических наночастиц, а также описан трехстадийный механизм образования наноструктур (активация, рост и терминация), где вторичные метаболиты растений выступают в качестве восстановителей металлов, а также в качестве стабилизирующих агентов. Проведен синтез по данным протоколам с последующей характеристикой и апробацией с помощью сканирующего электронного микроскопа. На основе сравнительного анализа экспериментальных данных подтверждена прямая корреляция между размерными характеристиками наночастиц (4–50 нм) и их антибактериальной активностью в отношении *Staphylococcus aureus*. Был проведен синтез серебряных наночастиц, с последующей апробацией с помощью сканирующей электронной микроскопией (SEM). Рассмотрены перспективы применения полученных наноструктур в пищевой промышленности для производства активных упаковочных материалов для обеспечения микробиологической безопасности и пролонгации срока хранения пищевых продуктов, также проанализированы актуальные вопросы по токсикологической безопасности и миграционных рисках при интеграции подобных материалов с пищевыми продуктами.

Ключевые слова: «зеленый синтез», наночастицы серебра, растительные экстракты, пищевые системы, пролонгация сроков годности, активная упаковка.

THE PROSPECTS FOR USING "GREEN" TECHNOLOGIES TO PRODUCE ANTIMICROBIAL AGENTS FOR USE IN FOOD SYSTEMS

Review article

Okonov S.S.^{1,*}, Ovsuk E.A.²^{1,2} ITMO University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (seonn13[at]gmail.com)

Suggested: 29.04.2026; Accepted: 21.05.2026; Published: 17.06.2026

Abstract

This article presents the results of a complex analysis of the current state of "green" technologies for the synthesis of antibacterial metal nanoparticles using plant extracts, as a more environmentally friendly and cost-effective alternative to traditional physicochemical methods. The aim of the study was to systematise and summarise methods for producing nanostructured materials and to evaluate the prospects for the implementation and integration of such biogenic agents into food systems. General protocols for the production of metal nanoparticles are given, and a three-stage mechanism for the formation of nanostructures (activation, growth and termination) is described, in which plant secondary metabolites act as metal reducing agents and as stabilising agents. Synthesis was carried out according to these protocols, followed by characterisation and validation using a scanning electron microscope. Based on a comparative analysis of the experimental data, a direct correlation was confirmed between the size characteristics of the nanoparticles (4–50 nm) and their antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*. Silver nanoparticles were synthesised, followed by characterisation using scanning electron microscopy (SEM). The prospects for the use of the resulting nanostructures in the food industry for the production of active packaging materials to ensure microbiological safety and extend the shelf life of food products are examined; current issues regarding toxicological safety and migration risks associated with the integration of such materials with food products are also analysed.

Keywords: "green synthesis", silver nanoparticles, plant extracts, food systems, extended shelf life, active packaging.

Введение

В современной промышленности и научно-технологической сфере наблюдается смещение фокуса на применение более экологичных и устойчивых технологий, как альтернативу физико-химическим методам. Существуют такие «зеленые» подходы, в которых подразумевается использование биологической, живой среды для получения различных материалов, в том числе наноструктур. Подобные материалы, синтезированные, к примеру, с помощью

растительности, помимо экологической безопасности, потенциально могут иметь более высокий спрос в пищевой промышленности, как более натуральная и экологически чистая альтернатива.

Технологии «зеленого» синтеза

Технология «зеленого» синтеза базируется на использовании метаболического потенциала биологических систем, включая бактерии [1], грибные культуры [2], дрожжи [2], водоросли [3], однако наибольший технологический интерес для пищевой промышленности представляют растительные экстракты [4], [5], [6] и отходов агропромышленного или сельскохозяйственного производства [7], поскольку они являются возобновляемыми и легкодоступными источниками биоактивных соединений. Химический состав растительного экстракта представляет собой сложную смесь фитохимических веществ, которые выступают в роли восстановителей ионов металлов до элементного состояния.

Проводимые исследования показывают, что в экстрактах растений присутствуют различные соединения, которые потенциально могут быть использованы для получения высокоценных химикатов, биоактивных соединений, фармацевтических препаратов, биотоплива, биоцидов, ингибиторов коррозии и лекарственных препаратов. Данные экстракты могут быть получены из растительных отходов различных производств, пищевых отходов. В подобных растительных материалах содержатся различные ценные химические соединения, обладающие способностью выступать, как эффективный, устойчивый и экологически чистый восстановитель ионов металла. Помимо этого, они также обладают моделирующими и стабилизирующими свойствами, выступают в качестве герметизирующего агента и препятствуют агломерации приготовленных наночастиц.

Процесс формирования наночастиц в растительной среде описывается трехстадийной моделью [8]. На первой стадии — активации — происходит первичное биовосстановление ионов металла в результате взаимодействия с функциональными группами вторичных метаболитов. Здесь экстракт выступает в качестве донора электронов. Вторая стадия — стадия роста — характеризуется нуклеацией и последующим объединением атомов в устойчивые наночастицы, где растительный экстракт выполняет роль агрегатора, определяющего кинетику роста и морфологические параметры системы. Финальная стадия терминации критически важна для обеспечения стабильности коллоида. На этом этапе фитохимические органические группы формируют на поверхности частицы адсорбционный слой (capping agent), который обеспечивает стерическую и электростатическую стабилизацию, предотвращая неконтролируемую агрегацию частиц.

В качестве прекурсоров, которые будут подвергаться восстановлению, могут быть использованы углеродные (к примеру, графен, и другие состояния углерода [3], [9]) или, металлические материалы, такие как соли благородных или переходных металлов — серебра, меди, золота [10], [11]. В качестве самой наночастицы в антибактериальных целях используют в основном частицы металлов или их оксидов. Одними из самых используемых антибактериальных металлов являются серебро [12], медь и ее оксиды (причем оксиды меди используются в различных целях чаще, чем металлические частицы меди) [13], золото [14], цинк (в случае цинка, также чаще используют именно оксид — ZnO) [15]. В отдельных случаях, ученые комбинировали наночастицы для усиления эффекта, к примеру, в совместной работе малайзийских, немецких и китайских ученых была синтезирована комбинированная наночастица оксида цинка и серебра [16].

Антибактериальная активность наночастиц, синтезированных методом «зеленого» синтеза, демонстрирует высокую вариативность в зависимости от материала и размера структур. В таблице 1 представлены некоторые наночастицы, синтезированные в антибактериальных целях методом зеленого синтеза с использованием различных растительных экстрактов

Таблица 1 - Антибактериальные наночастицы, синтезированные методом «зеленого синтеза» с использованием растительного экстрактов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.65.1>

Наноструктуры	Использованный растительный экстракт	Размеры наночастиц, нм	Антибактериальные показатели (против грамположительной бактерии « <i>Staphylococcus aureus</i> »)		Ссылка
			Зона ингибирования роста бактерий, мм	Минимальная ингибирующая концентрация (МИС), мг/л	
Наночастицы CuO	Корневища имбиря « <i>Zingiber officinale</i> »	4,35	12 ± 0,3	-	[17]
Наночастицы ZnO	Корневища имбиря « <i>Zingiber officinale</i> »	14,54	10,5 ± 0,4	-	[17]
Нанокompозит Ag/AgCl	Оболочка дуриана « <i>Durio</i> »	15-25	12	8,27	[12]

Наноструктуры	Использованный растительный экстракт	Размеры наночастиц, нм	Антибактериальные показатели (против грамположительной бактерии « <i>Staphylococcus aureus</i> »)		Ссылка
			Зона ингибирования роста бактерий, мм	Минимальная ингибирующая концентрация (MIC), мг/л	
	<i>zibethinus</i> »				
Наночастицы Ag	Кожура граната <i>Punica granatum</i>	30-50	12,75	-	[18]
Комбинация наночастиц оксида цинка и серебра ZnO-Ag	Кожура граната <i>Punica granatum</i>	16,06	-	28,29±1,04	[16]
Наночастицы золота Au	Листья чая	11,0 ± 4,2	-	50-100	[14]
Наночастицы серебра Ag	Листья сливы африканской <i>Prunus africana</i>	13-19	20	0,125	[19]

В таблице представлены следующие параметры синтезированных наноматериалов: материал наночастиц, использованный растительный экстракт, размеры полученных наноматериалов (наночастицы, нанокomпозиты) и следующие антибактериальные показатели — зона ингибирования роста бактерий и минимальная ингибирующая концентрация (MIC).

Экспериментальные данные по воздействию на *Staphylococcus aureus* подтверждают превосходство частиц меньших размеров. Согласно представленным данным, наночастицы CuO (размер 4.35 нм), полученные из имбиря, обеспечивают зону ингибирования в 12 мм [17]. Нанокomпозиты Ag/AgCl из оболочки дуриана при размере 15–25 нм демонстрируют минимальную ингибирующую концентрацию (MIC) на уровне 8.27 мг/л [12]. Исключительные результаты зафиксированы для наночастиц серебра из листьев сливы африканской — зона ингибирования 20 мм при MIC 0.125 мг/мл [19]. Также значительный интерес представляют комбинированные системы, такие как ZnO-Ag [16], и наночастицы золота из чая [14], которые показывают эффективность в широком диапазоне концентраций. Исследования наночастиц меди из листьев *Plantago asiatica* [20] и оксида меди из *Bauhinia tomentosa* [21] дополняют картину, демонстрируя стабильный биоцидный эффект наночастиц переходных металлов.

Методика получения антибактериальных наночастиц методом зеленого синтеза

Последствием анализа научной литературы было выявлено, что технологический процесс зеленого синтеза нанокomпозитов с использованием растительных материалов (экстрактов) может состоять из следующих этапов: выбор растительного материала, приготовление растительного экстракта, синтез наночастиц и их характеристика.

3.1. Выбор растительного экстракта

Выбор сырья для биогенного синтеза определяется его химическим составом и доступностью. Для пищевых систем наиболее перспективно использование растительных материалов, богатых природными антиоксидантами: фенолами, флавоноидами и танинами. Также необходимо убедиться, что растение безопасно для использования на всех этапах синтеза. Некоторые растения, к примеру те, что при экстракции могут давать могут содержать токсичные соединения, как пирролизидиновые алкалоиды [22] которые могут быть вредны для человека или окружающей среды.

Важно также обратить внимание на стоимость и общую доступность растительного материала для процесса экстракции, а также сложность самого процесса экстракции. Некоторые растения могут быть дорогими или требовать специализированного оборудования для процесса экстракции, что может привести к увеличению общей стоимости процесса.

В данной работе мы сделаем упор на экстракты частей хвойных деревьев. Выбор хвойной биомассы обусловлен ее уникальным фитохимическим профилем: хвоя богата лигнанами, конденсированными танинами, флавоноидами и летучими фитонцидами, которые обладают мощным собственным антиоксидантным и антимикробным потенциалом [23].

3.2. Подготовка растительного экстракта

Последующим этапом является подготовка нашего растительного сырья — экстракта еловых иголок и веток. Навеску сырья массой тщательно промывают для удаления механических загрязнений и смешивают с дистиллированной водой (гидромодуль при этом может варьироваться от 1:20 до 1:40). Соотношение растительного материала и воды важно, так как оно влияет на концентрацию фитохимических веществ в экстракте. Данные по гидромодулю могут варьироваться в работах, однако в целом гидромодуль не должен быть слишком низким, так как при высоких концентрациях растительного экстракта возможна кластеризация наночастиц с дальнейшим снижением эффективности и срока жизни таких наноструктурных коллоидов.

Помимо восстановительных свойств, на данном этапе растительный экстракт, а именно содержащиеся в нем биоактивные соединения, играют агрегирующую роль, позволяющая атомам металла конгломерироваться в наноструктуру. Размер и форма наночастиц могут контролироваться различными параметрами, такими как концентрация реагентов, время реакции и условия нагревания.

Смесь перемешивают до появления характерного изменения раствора, что за счет плазмонного резонанса свидетельствует об образовании наночастиц, к примеру для наночастиц серебра цвет раствора меняется на коричневый.

Ключевым фактором экстракции является температура. Нагрев ускоряет выход активных веществ, однако избыточная температура может привести к их деградации. Оптимальный режим подбирается индивидуально в зависимости от состояния сырья и целей эксперимента.

3.3. Синтез наночастиц

Общая схема получения наночастиц «зеленым» методом представлена на рисунке 1



Рисунок 1 - Синтез наночастиц

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.65.2>

Часть синтезированного раствора наночастиц затем высушивается для получения твердых наночастиц для дальнейшей характеристики, а другая берется для дальнейшего синтеза различных наноструктур и для выполнения характеристики жидкой фазы.

Для апробации технологического потенциала данной методики, был проведен синтез серебряных наночастиц с использованием экстрактов частей еловых (ветки и иголки) с последующим подтверждением образованных наноструктур на сканирующем электронном микроскопе (SEM).

Процесс восстановления серебра протекал с достаточной интенсивностью. Синтез протекал при найденных в ходе литературного анализа оптимальных условиях — 60 °C, время синтеза — 60 минут. Параметры самого экстракта — 5г растительного материала на 100г воды (гидромодуль — 1:20), концентрация соли нитрата серебра, 1мМ. Синтез проводили в следующих пропорциях, 5 мл экстракта на 95 мл соли. Индикатором успешного образования наночастиц часто может служить изменение цвета раствора.

3.4. Характеризация полученных наночастиц

Анализ СЭМ-микрофотографий позволил установить, что полученные серебряные наноструктуры имеют преимущественно квазисферическую форму и находятся в наноразмерном диапазоне (рисунок 2).

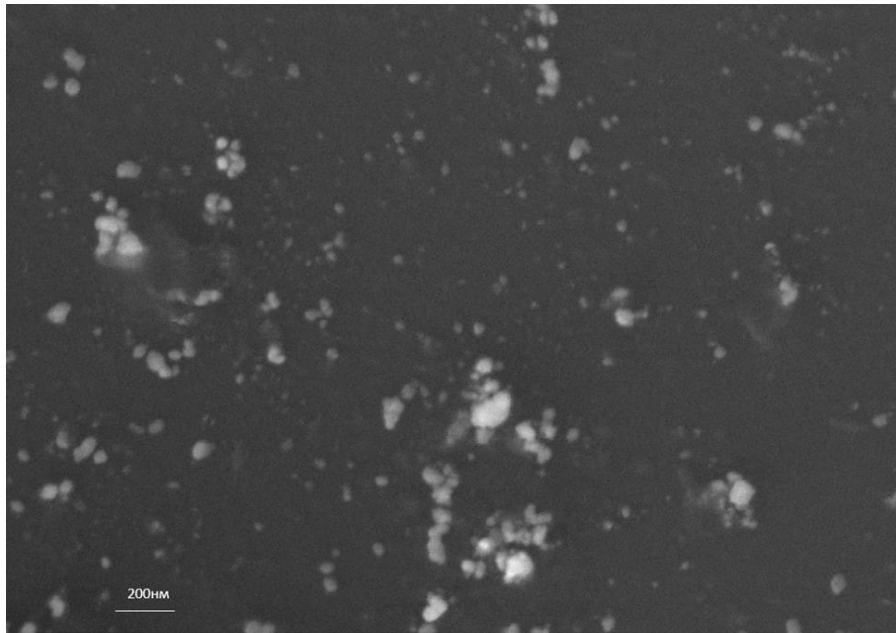


Рисунок 2 - Снимки сканирующего электронного микроскопа синтезированных наночастиц серебра
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.65.3>

На микрофотографиях отчетливо фиксируется явление локальной агрегации частиц, что является типичным следствием процесса высокотемпературной сушки порошка (140–145 °С). Однако, несмотря на кластеризацию, отдельные наночастицы сохраняют свои границы, и размеры их находятся в нанодиапазоне (до 100 нм).

Наблюдения на сканирующем микроскопе также подтверждает образование органической стабилизирующей оболочки. Полимерные танины и лигнаны елового экстракта успешно адсорбировались на поверхности атомарного серебра на стадии терминации роста, создав стерический барьер, препятствующий полному слиянию частиц. Таким образом, сканирующая электронная микроскопия подтвердила способность растительного экстракта восстанавливать металлы, образовывать наночастицы и в дальнейшем их стабилизировать.

Перспективы применения в пищевых системах

Основной потенциал полученных наночастиц заключается в создании упаковочных материалов для скоропортящейся продукции (мяса, рыбы, сыров).

Внедрение Ag-наночастиц в полимерные пленки позволяет создать активный барьер, который подавляет рост болезнетворных бактерий (*S. aureus*, *E. Coli*) и других патогенов за счет постепенного высвобождения ионов серебра. Это значительно замедляет порчу продуктов и увеличивает их срок годности [24].

Важнейшим аспектом внедрения таких материалов в пищевую промышленность является контроль миграции наночастиц в продукт. Текущие требования EFSA и FDA диктуют необходимость жесткой фиксации частиц в матрице упаковки.

Однако, растительные компоненты оболочки не только дополнительно снижают скорость окисления липидов, помогая сохранить органолептические свойства пищи, помимо этого, растительная часть может выступить в качестве стабилизирующего и иммобилизирующего агента, позволяя наноструктурам оставаться функциональными и закрепляться на действующей поверхности, позволяя наночастицам проявлять свои антибактериальные свойства без нежелательной миграции в пищевые продукты.

К примеру, возможно использование полученных наночастиц с растительным экстрактом в качестве напыления, либо нанесения посредством окунания в полученный раствор с наночастицами, на целлюлозные влаговпитывающие салфетки с дальнейшим высушиванием. Такие салфетки используются при хранении мясных, рыбных продуктов, как адсорбент выделяющегося сока, экссудата. Так как основной питательной средой для микроорганизмов является именно выделяющийся сок, целесообразно предположить, что обработка салфетки наночастицами в растительном экстракте, приведет к пролонгации срока годности продукции за счет ингибирования роста микроорганизмов. Миграция при такой технологии использования должна быть минимальной по следующим причинам:

1. Отсутствие критической миграции металлических наночастиц вверх. Салфетка находится внизу лотка, и под действием капиллярных сил и гравитации, миграция тяжелых наночастиц благородных металлов снизу вверх ограничена. Капиллярные силы внутри салфетки вместе с гравитацией намного превышают диффузионные силы, которые позволили бы наночастицам перемещаться в продукт. Наночастицы не могут перемещаться самостоятельно, только вместе с жидкостью. Из-за минимального обратного тока жидкости, нет и движения наночастиц [25].

2. Иммобилизация металлических наночастиц растительным экстрактом в полимерной целлюлозной матрице салфетки. Влаговпитывающая салфетка обычно состоит из двух слоев, адсорбентный, состоящий из целлюлозы и других абсорбирующих полимеров и перфорированный слой. При использовании растительных экстрактов, содержащих полифенолы, танины, пектины, они выступают как стабилизирующие агенты, иммобилизуя и захватывая наночастицы в свои «биокороны», плотные органические оболочки вокруг наночастиц. Такие оболочки

имеют сродство к гидроксильным группам, в огромном достатке содержащихся в молекулах углеводов. После высушивания, полифенольные и другие соединения образуют прочные водородные связи с молекулами целлюлозы, прочно закрепляясь в ее матрице вместе с наночастицами, предотвращая дальнейшее смывание (миграцию) и аггломерацию наночастиц.

Предложенная схема получения такой антимикробной салфетки представлена на рисунке 3.

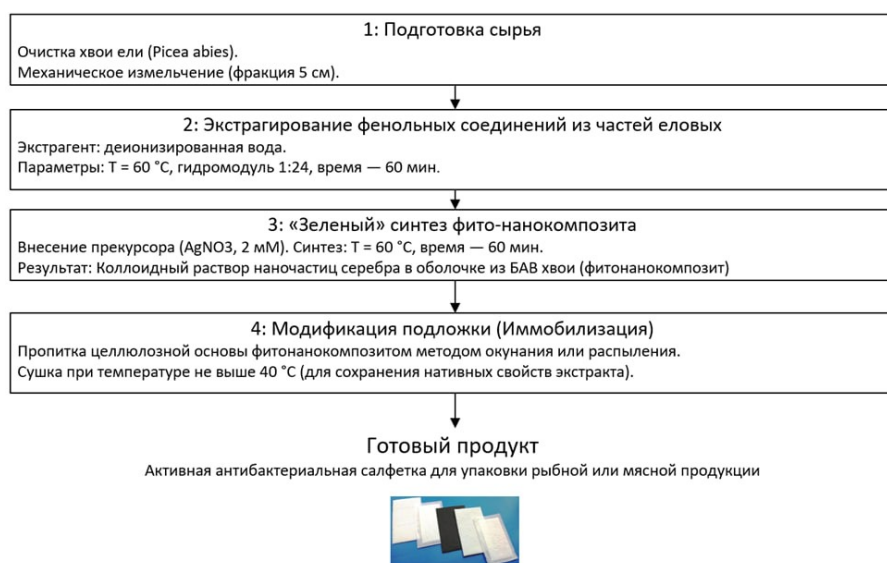


Рисунок 3 - Схема получения активной антибактериальной салфетки для упаковки мясной или рыбной продукции
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.65.4>

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение стабильности этих систем в контакте с различными типами пищевых сред (жирными, кислыми), чтобы гарантировать полную безопасность для потребителя.

Заключение

Использование хвойных экстрактов для синтеза наночастиц серебра — это эффективный и экологичный метод создания компонентов для пищевых систем. Экспериментально подтверждено получение стабильных наноструктур с защитной биогенной оболочкой. Внедрение таких нанокompозитов в производство активных пленок является перспективным решением для повышения продовольственной безопасности.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vairawel M. An eco-friendly synthesis of Enterococcus sp.-mediated gold nanoparticle induces cytotoxicity in human colorectal cancer cells / M. Vairawel // *Environmental Science and Pollution Research*. — 2020. — № 27.
2. Omran B.A. Novel mycosynthesis of cobalt oxide nanoparticles using *Aspergillus brasiliensis* ATCC 16404—optimization, characterization and antimicrobial activity / B.A. Omran // *J Appl Microbiol*. — 2020. — № 128.
3. Arya A. Green synthesis of silver nanoparticles from green algae (*Botryococcus braunii*) and its catalytic behavior for the synthesis of benzimidazoles / A. Arya // *Chemical Data Collections*. — 2019. — № 20.
4. Omran B.A. Biovalorization of mandarin waste peels into silver nanoparticles and activated carbon 2021 / B.A. Omran // *International Journal of Environmental Science and Technology*. — 2021. — Vol. 18. — № 5.
5. Qiao J. Recent progress in plant-gold nanoparticles fabrication methods and bio-applications / J. Qiao // *Talanta*. — 2021. — № 223.
6. Wen J. Biosynthesis of graphene-metal nanocomposites using plant extract and their biological activities. / J. Wen // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. — 2017. — № 92.
7. Narasaiah B.P. Remediation of azo-dyes based toxicity by agro-waste cotton boll peels mediated palladium nanoparticles / B.P. Narasaiah // *Journal of Saudi Chemical Society*. — 2020. — № 24.
8. Sharma D. Biogenic synthesis of nanoparticles: A review / D. Sharma // *Arabian Journal of Chemistry*. — 2019. — № 12.



9. Thiagarajulu N. Green Synthesis of Reduced Graphene oxide Nanosheets Using Leaf Extract of *Lantana camara* and Its In-Vitro Biological Activities / N. Thiagarajulu // *J Clust Sci.* — 2021. — № 32.
10. Okonov S. Silver nanoparticles synthesized with green methods using spruce plant extract and their synergistic antibacterial activity / S. Okonov, E. Ovsuk // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science.* — 2024. — № 1420.
11. Kaushik K.B. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Plant Extracts as Beneficial Prospect for Cancer Theranostics / K.B. Kaushik // *Molecules.* — 2021. — № 26.
12. Nguyen T.A.T. Facile Green Synthesis of Ag/AgCl Nanocomposite Using Durian Shell Extract and its Activity Against Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* / T.A.T. Nguyen // *Nano Biomed Eng.* — 2022. — № 14.
13. Nasrollahzadeh M. Green synthesis of copper nanoparticles using *Plantago asiatica* leaf extract and their application for the cyanation of aldehydes using $K_4Fe(CN)_6$ / M. Nasrollahzadeh // *J Colloid Interface Sci.* — 2017. — № 506.
14. Onitsuka S. Preparation of antimicrobial gold and silver nanoparticles from tea leaf extracts / S. Onitsuka // *Colloids Surf B Biointerfaces.* — 2019. — № 173.
15. Doan Thi T.U. Green synthesis of ZnO nanoparticles using orange fruit peel extract for antibacterial activities / T.U. Doan Thi // *RSC Adv.* — 2020. — № 10.
16. Mohamad Sukri S.N.A. Enhanced antibacterial and anticancer activities of plant extract mediated green synthesized zinc oxide-silver nanoparticles / S.N.A. Mohamad Sukri // *Front Microbiol.* — 2023. — № 14.
17. Takele E. Green Synthesis, Characterization, and Antibacterial Activity of CuO/ZnO Nanocomposite Using *Zingiber officinale* Rhizome Extract / E. Takele // *J Chem.* — 2023.
18. Farah S. Using pomegranate peel extract green synthesize of AG nanoparticles: characterization and antibacterial activity / S. Farah // *International Journal of Science and Technology Research Archive.* — 2023. — № 5.
19. Ssekatawa K. Green Strategy-Based Synthesis of Silver Nanoparticles for Antibacterial Applications / K. Ssekatawa // *Frontiers in Nanotechnology.* — 2021. — № 3.
20. Njenga P. Green synthesis of silver nanoparticles via aqueous extracts of *Prunus africana* and their antimicrobial activities / P. Njenga // *South African Journal of Chemical Engineering.* — 2026. — № 57.
21. Sharmila G. Biogenic synthesis of CuO nanoparticles using *Bauhinia tomentosa* leaves extract: Characterization and its antibacterial application / G. Sharmila // *J Mol Struct.* — 2018. — № 1165.
22. Seremet O.C. Toxicity of plant extracts containing pyrrolizidine alkaloids using alternative invertebrate models / O.C. Seremet // *Mol Med Rep.* — 2018. — № 17.
23. Radulescu V. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil from shoots spruce (*picea abies* L) / V. Radulescu // *Revista de Chimie.* — 2011. — № 62.
24. Simbine E.O. Application of silver nanoparticles in food packages: A review / E.O. Simbine // *Food Science and Technology (Brazil).* — 2019. — № 39.
25. Fernández A. Reduction of the spoilage-related microflora in absorbent pads by silver nanotechnology during modified atmosphere packaging of beef meat / A. Fernández // *J. Food Prot.* — 2010. — № 73.