

«Зеленый» синтез наночастиц серебра с использованием экстрактов листьев бадана, можжевельника и ревеня

Н.С. Салазкин, С.Д. Хижняк, П.М. Пахомов

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

В данной работе представлены результаты исследования синтеза наночастиц серебра (НЧС) с использованием водных экстрактов листьев бадана, можжевельника и ревеня. Определены оптимальные условия для воспроизводимого синтеза НЧС. Эффективность процесса синтеза и размер образующихся НЧС изучены с помощью методов электронной спектроскопии и динамического светорассеяния (ДСР). Установлено, что образование НЧС сопровождается появлением в электронных спектрах водных растворов полосы плазмонного резонанса, интенсивность которой зависит от концентрации НЧС, а максимум полосы находится в диапазоне ~423-433 нм, что соответствует формированию крупных НЧС. Согласно данным ДСР в водных экстрактах растений наблюдаются НЧС с бимодальным распределением, размер, которых составляет 16 и 80 нм для бадана и 8 и 122 нм для ревеня. Экстракт бадана был признан наиболее подходящим для синтеза НЧС в виду большой эффективности и стабильности в течении 90 дней.

Ключевые слова: *экстракты растений, зеленый синтез наночастиц серебра, полоса поверхностного плазмонного резонанса, метод динамического светорассеяния.*

Получение наноразмерных материалов и развитие бионанотехнологий направлено на создание новых функциональных наноструктур, востребованных в медицине, фармакологии, аналитической химии и смежных областях [1]. Металлические наночастицы, в частности наночастицы серебра (НЧС), привлекают особый интерес благодаря выраженным оптическим свойствам, антибактериальной активности и высокой химически реакционной поверхности [1,2].

Традиционные методы получения металлических наночастиц часто требуют высоких температур, давления или использования токсичных химических реагентов, что ограничивает их применение в биомедицине и усложняет масштабирование производственных процессов [1-3]. В связи с этим возрастающий интерес вызывает «зелёный» синтез, основанный на использовании водных растительных экстрактов как восстановителей и стабилизаторов [2, 4, 5]. Данный

подход сочетает экологическую безопасность, низкую стоимость и технологическую простоту, а также обеспечивает формирование биосовместимой органической оболочки на поверхности наночастиц [3,6]. Биомолекулы в растениях, такие как фенолы, флавоноиды, полисахариды, аминокислоты и белки определяют кинетику восстановления ионов серебра, морфологию частиц и их оптические свойства, включая положение полосы локализованного поверхностного плазмонного резонанса [3, 7, 8].

Исследования показывают [5, 8], что восстановительная способность растительных экстрактов существенно варьируется в зависимости от биохимического состава растений, что отражается на скорости образования наночастиц и их стабильности. Выбор исходного растительного сырья, а также контроль условий синтеза позволяют направленно регулировать размер, форму и функциональные свойства НЧС [2, 4, 6], что является критически важным для их дальнейшего биомедицинского применения, особенно в задачах целевой доставки и минимизации цитотоксичности [1, 7, 10].

Учитывая растущий интерес к экологически чистым подходам синтеза и перспективы использования биогенных НЧС, актуальной является задача получения НЧС с использованием водных экстрактов различных растений и их комплексная физико-химическая характеристика, что и являлось целью настоящей работы.

Экспериментальная часть

В работе использованы серебро азотнокислое (ч.д.а.), вода дистиллированная. Образцы листьев бадана, можжевельника и ревеня были собраны в г. Твери, тщательно промыты дистиллированной водой, высушены и измельчены. Для приготовления водного экстракта листьев к 0,1 г образца добавляли 5 мл воды. Полученные смеси помещали в автоматическую закрытую термобаню и выдерживали при температуре 70°C в течение 12 часов, после чего экстракты центрифугировали в течение 20 минут со скоростью 12000 оборот/мин.

Синтез НЧС осуществляли при комнатной температуре по следующей методике: к 0,4 мл фитоэкстракта добавляли 2,6 мл дистиллированной воды, а затем 0,4 мл раствор нитрата серебра с концентрацией 0,01 М, что соответствовало соотношению объем водного экстракта (V_{extract}) / объем AgNO_3 (V_{AgNO_3}) равным 1:1. Кроме того, для экстракта бадана были получены растворы при соотношении – 1,0:0,5 и 1:2 при условии, что общий объем образца составлял 5 мл. Растворы НЧС хранили в темном боксе при комнатной температуре. В работе также исследовано влияние воздействия видимого света на

агрегатную устойчивость коллоидных растворов наночастиц серебра в экстрактах.

Измерение интенсивности светорассеяния в исследуемых растворах проводили методом динамического светорассеяния (ДСР) с использованием анализатора Zetasizer «Nano ZS» (фирма «Malvern»). Все измерения осуществлялись при температуре 25 °С в конфигурации обратного рассеяния (173°), обеспечивающей наибольшую чувствительность прибора. Расчет распределений частиц по размерам производился по формуле Стокса-Эйнштейна:

$$D = kT / 6\pi\eta R, \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии, k – константа Больцмана, T – абсолютная температура, η – вязкость среды, R – радиус рассеивающих частиц.

Электронные спектры растворов регистрировали с помощью спектрометра Evolution Array фирмы «Thermo-Scientific». Для исследования растворов использовали кварцевую кювету с толщиной оптического слоя 0,2 см.

Результаты и обсуждение

Добавление раствора соли серебра в фитоэкстракт приводило к изменению окраски образца от светлых до темно-коричневых оттенков в зависимости от концентрации AgNO_3 , времени хранения образца и вида растения (рис. 1)

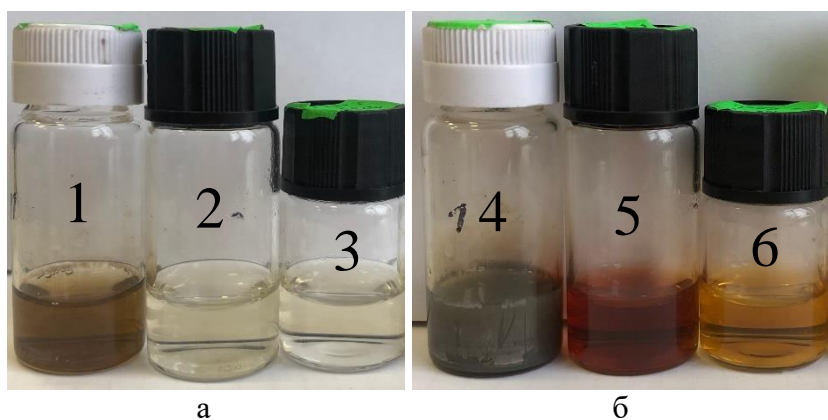


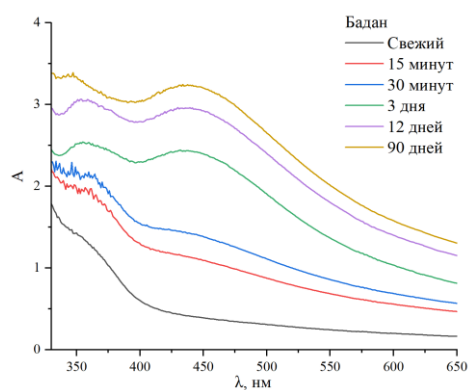
Рис. 1. Фотографии, а – исходные растительные экстракты бадана (1), ревеня (2) и можжевельника (3); б – соответствующие коллоидные растворы НЧС (4-6), полученные после добавления AgNO_3 спустя 12 дней

Электронные спектры водных экстрактов, полученных на основе водных растворов бадана, можжевельника и ревеня после добавления AgNO_3 через 15 мин и 3, 12 и 90 дней при их хранении в условиях

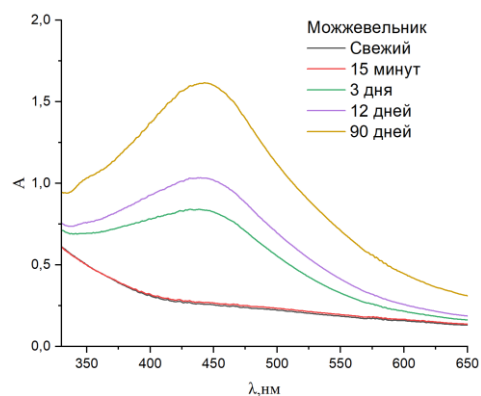
темноты и комнатной температуры, представлены на рис. 2. Известно, что синтез НЧС сопровождается появлением в спектрах растворов полосы поверхностного плазмонного резонанса (ППР) в области 390-450 нм, возникновение которой связано с образованием поверхностных плазмонов – коллективных колебаний электронов проводимости металла вблизи границы раздела металл/диэлектрик [4, 8]. Присутствие полосы ППР в спектрах дает возможность анализировать кинетику образования наночастиц, изменение их концентрации и устойчивость во времени.

Действительно, в спектрах образцов наблюдается характерная полоса поглощения плазмонного резонанса НЧС с максимумом при длине волны 430-440 нм, что свидетельствует о появлении НЧС в экстрактах исследуемых растений (рис. 2). Интенсивность и положение этой полосы напрямую связаны с концентрацией, размером и степенью агрегации наночастиц в коллоидном растворе.

В течение первых 15 минут хранения отмечается незначительное увеличение оптической плотности полосы ППР, что может быть связано с завершением процессов восстановления ионов серебра в водном растворе и началом формирования стабильных наночастиц. При хранении в течение 3 и 12 дней наблюдается увеличение значения поглощения: положение максимума поглощения меняется незначительно, что указывает на отсутствие существенного изменения размера частиц. Сохранение четкого плазмонного поглощения, даже через 90 дней хранения, свидетельствует о высокой стабилизирующей способности использованных фитоэкстрактов, компоненты которых, по-видимому, действуют синергически, предотвращая коагуляцию наночастиц.



а



б

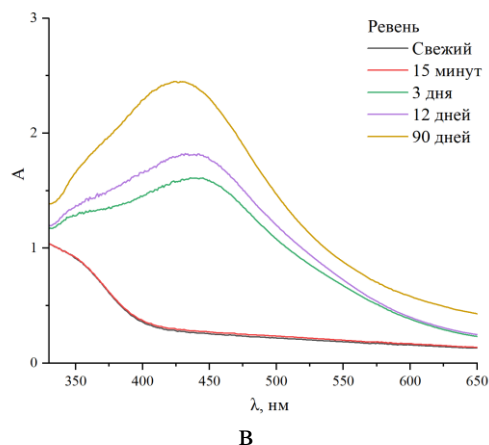


Рис. 2. Электронные спектры водных растворов наночастиц серебра на основе экстрактов листьев бадана (а), можжевельника (б) и ревеня (в) в соотношении (V_{extract}) / объем AgNO_3 (V_{AgNO_3}) равным: 1:1 через 15 минут, 3,12 и 90 дней

Для количественного сравнения стабильности систем были определены ключевые спектральные характеристики, сведенные в таблице.

Таблица 1

Значения положения максимума полосы поглощения для различных экстрактов с НЧС и величины поглощения в отн. ед.

	Через 3 дня после добавления AgNO_3		Через 12 дней после добавления AgNO_3		Через 90 дней после добавления AgNO_3	
	λ_{max} , нм	A_{max} , отн. ед.	λ_{max} , нм	A_{max} , отн. ед.	λ_{max} , нм	A_{max} , отн. ед.
Бадан	436	2,433	429	2,961	433	3,243
Можжевельник	431	0,840	437	1,033	442	1,615
Ревень	435	1,611	431	1,822	428	2,448

Судя по интенсивности полосы поглощения (A_{max}), наибольшую активность в синтезе наночастиц проявил экстракт бадана. Экстракты ревеня и можжевельник также способствуют синтезу, но в меньшей степени.

Уже через 3 дня хранения в спектрах всех образцов наблюдается полоса поглощения различной интенсивности с максимумом в диапазоне ~430-435 нм. Однако, различие между величиной поглощения находится в диапазоне от 0,840 до 2,433 отн. ед. Такие различия связаны с концентрацией, размером, формой и полидисперсностью (узким или широким распределением

образующихся наночастиц по размерам), а также степенью эффективности конкретного экстракта к синтезу НЧС.

После 90 дней хранения коллоидные растворы продолжали демонстрировать высокую стабильность без видимых признаков макроскопической коагуляции или выпадения осадка. Критическим показателем такой устойчивости является сохранение четко выраженной и интенсивной полосы ППР наночастиц серебра на протяжении всего срока наблюдения. Однако было зафиксировано незначительное изменение положения максимума этой полосы поглощения (λ_{\max}) по отношению к положению полосы, отвечающей 3 дням хранения. Данное смещение является диагностическим признаком трансформации наночастиц в растворе.

Наблюдаемое изменение положения полосы поглощения λ_{\max} может быть обусловлено несколькими сопряженными процессами. Во-первых, смещение может указывать на продолжающийся в течение длительного времени процесс медленного роста наночастиц, приводящий к увеличению их среднего размера. Во-вторых, сдвиг полосы поглощения может быть следствием изменения формы частиц или степени их агрегации, при которой частицы образуют кластеры, что также влияет на коллективные колебания свободных электронов [8]. Важно подчеркнуть, что эти процессы происходят крайне медленно и контролируемо, о чем свидетельствует плавный характер изменения спектров и отсутствие резкого уширения или исчезновения полосы ППР, что характерно для неконтролируемой быстрой агрегации с последующим выпадением осадка в растворе.

Таким образом, полученные результаты однозначно свидетельствуют о высокой эффективности использованных фитозэкстрактов (бадан, можжевельник, ревен) не только как восстановителя ионов серебра, но и как мощного стабилизирующего агента. Биологически активные компоненты экстрактов (полифенолы, флавоноиды, терпеноиды и др.), адсорбируясь на поверхности формирующихся наночастиц, создают среду, которая эффективно предотвращает их коагуляцию в течение длительного времени даже в условиях продолжающихся в растворе процессов. Это подтверждает перспективность применения подобных растительных экстрактов для получения стабильных коллоидных систем наночастиц серебра с заданными и воспроизводимыми свойствами.

Далее, с целью выявления компонента, ответственного за наиболее высокую эффективность восстановления НЧС в комплексной смеси было проведено сравнительное исследование с использованием экстракта бадана, который проявил наибольшую эффективность. Основное внимание уделялось оптимизации объемного соотношения

«экстракт : AgNO_3 ». В серии экспериментов были изучены системы с соотношениями 0,5:1,0; 1:1 и 1:2. Для получения более достоверных данных по поглощению был увеличен общий объем раствора: к 0,4 мл фитоекстракта добавляли 5 мл дистиллированной воды, а затем 0,4 мл раствора нитрата серебра.

Результаты исследования (рис. 3) показали выраженную зависимость как эффективности синтеза, так и коллоидной стабильности НЧС от данного параметра. При соотношении 0,5:1,0 (дефицит экстракта) наблюдалось формирование наночастиц, о чем свидетельствовало появление плазмонного резонанса в спектрах поглощения. Однако интенсивность оптической плотности была значительно ниже по сравнению с другими вариантами. Это указывает на неполное восстановление ионов металла или на формирование меньшего количества наночастиц из-за ограниченного содержания восстанавливающих и стабилизирующих фитоконпонентов в системе.

Напротив, система с избытком иона серебра в соотношении 1:2 (рис. 3) демонстрировала в начальный момент высокую скорость реакции и интенсивное поглощение в области плазмонного резонанса. Однако эта система оказалась крайне нестабильной: в течение нескольких дней наблюдалась быстрая коагуляция с видимым выпадением темного осадка. Данный факт объясняется недостаточной концентрацией стабилизирующих компонентов экстракта.

Оптимальные и сбалансированные результаты были достигнуты при соотношении экстракт бадана: $\text{AgNO}_3 = 1:1$. В данном случае синтез протекал с высокой эффективностью, о чем свидетельствовала интенсивная плазмонная полоса. Важнейшим результатом является сохранение коллоидной стабильности полученного раствора в течение длительного времени без признаков коагуляции наночастиц. Это подтверждает, что именно при данном соотношении достигается оптимальный баланс между восстановительной способностью экстракта и его мощным стабилизирующим потенциалом. Фитоконпоненты бадана не только обеспечивают полное восстановление ионов серебра, но и формируют на поверхности наночастиц плотный адсорбционный слой, эффективно препятствующий их сближению и агрегации.

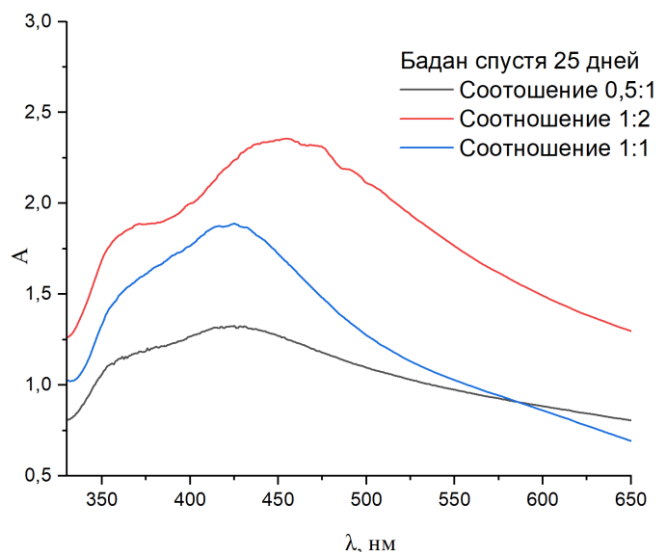


Рис. 3. Электронные спектры водных растворов с НЧС на основе экстрактов листьев бадана в соотношении $V_{\text{экстракт}} / V_{\text{AgNO}_3}$: 0,5:1,0; 1:1; 1:2

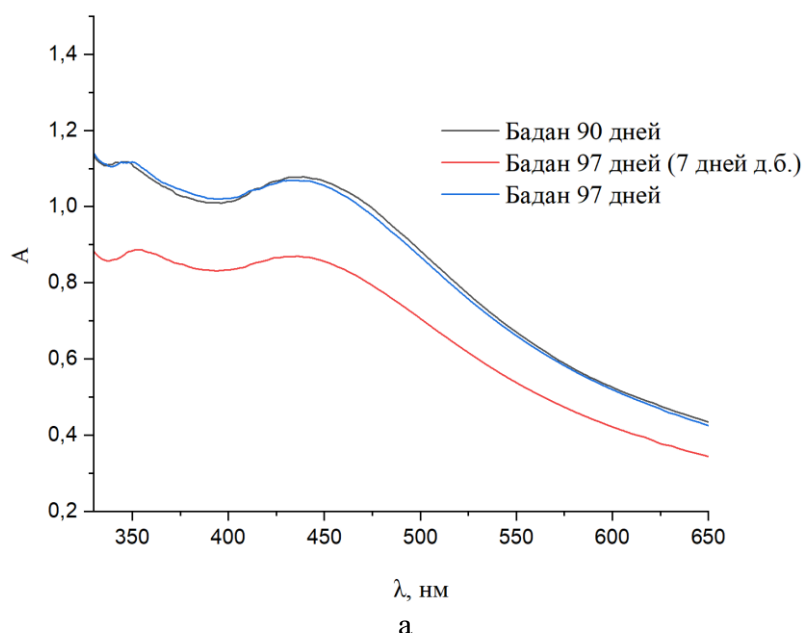
Исходя из результатов долгосрочного мониторинга стабильности, был поставлен дополнительный эксперимент по изучению влияния продолжительного облучения светом в видимом диапазоне коллоидные системы, синтезированные с использованием индивидуальных экстрактов. Образцы, хранившиеся в течение 90 дней в стандартных лабораторных условиях, были подвергнуты интенсивному освещению в течение последующей недели. Данный эксперимент выявил разнонаправленное влияние светового фактора на системы, полученные на основе разных фитоагентов.

Для системы, синтезированной с экстрактом бадана, наблюдалось снижение интенсивности полосы ППР после недели нахождения на свету (рис. 4а). Это указывает на уменьшение концентрации стабильных наночастиц серебра в коллоидном растворе. Первым вероятным объяснением данного эффекта является фотоиндуцированная деградация биомолекул экстракта (полифенолов, флавоноидов), адсорбированных на поверхности наночастиц. Разрушение или десорбция этого защитного слоя под действием света приводит к потере коллоидной стабильности и последующей коагуляции частиц, что и фиксируется как снижение оптической плотности. Второй возможной причиной является прямое фотоокисление поверхности наночастиц.

Напротив, система на основе экстракта ревеня (рис. 4б) продемонстрировала противоположную динамику: после недели нахождения на свету интенсивность полосы поглощения увеличилась.

Этот результат позволяет предположить, что в данной системе световое воздействие сыграло роль дополнительного фактора, активирующего синтез НЧС. Можно выдвинуть две основные гипотезы. Во-первых, в экстракте ревеня могут присутствовать фоточувствительные компоненты, которые под действием света повышают свою восстановительную способность или генерируют дополнительные активные радикалы, способствующие восстановлению остаточных ионов серебра в растворе. Во-вторых, свет мог индуцировать медленное высвобождение или активацию восстановительных агентов из комплексов, сформированных в течение первых 90 дней хранения, что привело к достройке уже существующих наночастиц или образованию новых.

Таким образом, реакция НЧС, стабилизированных растительными экстрактами, на продолжительное световое облучение является специфичной и зависит от химического состава экстракта. Экстракт бадана, демонстрирующий высокую стабильность в темноте, проявляет чувствительность к фотодegradации. Экстракт ревеня, в свою очередь, обнаруживает потенциал к фотоусиленному синтезу или модификации наночастиц. Данные результаты подчеркивают важность учета фактора освещенности при долгосрочном хранении и потенциальном применении подобных биогенных наноматериалов, а также указывают на возможность управления их свойствами с помощью внешних физических воздействий.



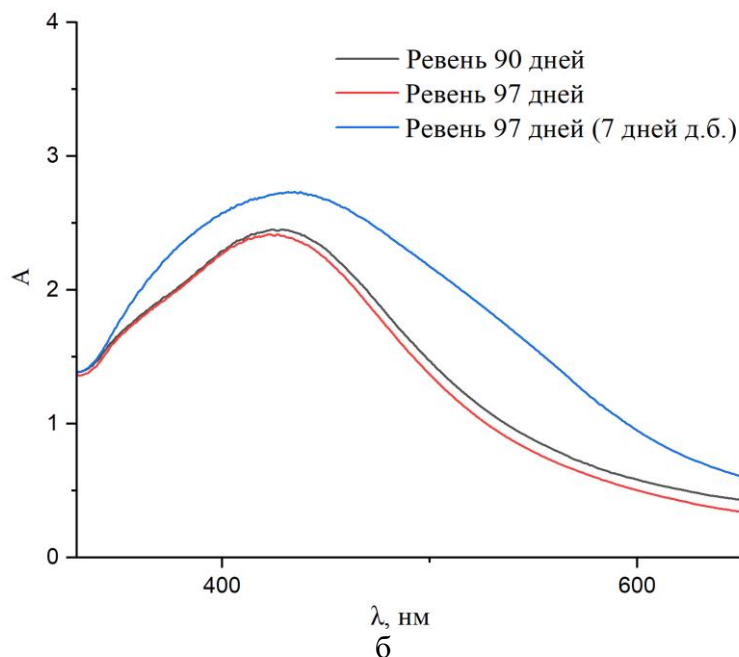


Рис. 4. Электронные спектры водных растворов НЧС на основе экстрактов листьев бадана (а) и ревеня (б) в условиях хранения без доступа света и с облучением светом в видимом диапазоне в течение 1 недели в соотношении $V_{\text{экстракт}} / V_{AgNO_3} : 1:1$

На основании данных динамического светорассеяния (ДСР) было проведено исследование изменения размерного распределения НЧС, синтезированных в водных экстрактах бадана и ревеня. Анализ проводился через 3 и 12 дней после приготовления коллоидных систем, что позволило выявить кинетические особенности процесса.

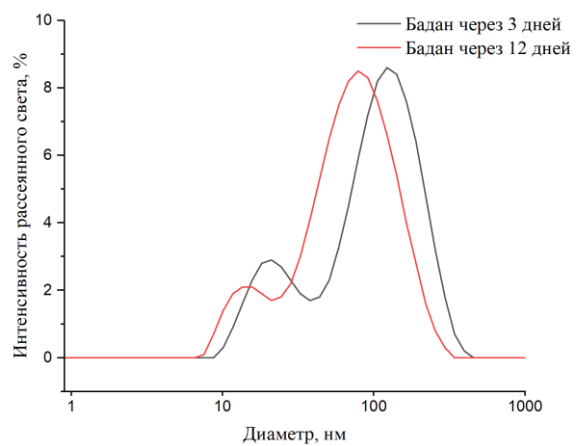
Через три дня в обеих системах наблюдалось бимодальное распределение наночастиц по интенсивности светорассеяния. В экстракте бадана были зафиксированы популяции частиц со средними диаметрами 20 и 122 нм (рис. 5а), а в экстракте ревеня 18 и 141 нм (рис.5б). Наличие двух мод указывает на гетерогенность формирующихся нанообъектов.

Через 12 дней в обеих системах произошло значительное перераспределение. В случае экстракта бадана распределение оставалось бимодальным, однако средние размеры уменьшились до 16 и 80 нм (рис. 5а), соответственно. Для экстракта ревеня также сохранилась бимодальность со сдвигом пиков до 8 и 120 нм (рис. 5б). Уменьшение размеров обеих популяций, особенно выраженное для крупной фракции. Это может свидетельствовать о процессах фрагментации или растворения крупных агрегатов под действием стабилизирующих компонентов экстрактов, а также о возможном

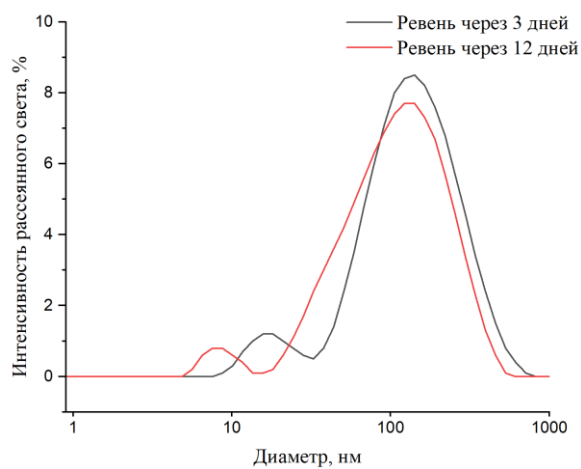
перераспределении материала с крупных частиц на мелкие в ходе продолжающегося созревания. При этом более значительное уменьшение размеров мелкой фракции в системе с ревенем (с 20 до 8 нм), по сравнению с баданом (с 20 до 18 нм), может указывать на его более высокую стабилизирующую активность, предотвращающую рост первичных кластеров.

Дополнительный анализ распределения частиц по объёму (относительному объёму наночастиц, приходящихся на каждую фракцию) предоставляет ключевую информацию о преобладающих популяциях (рис. 6). Через 3 дня для бадана основная доля по объёму приходилась на фракцию с размером 11 нм, а к 12 дню — на фракцию 10 нм (рис. 6а). Для ревеня эти значения составили 13 и 8 нм, соответственно (рис. 6б). Это подтверждает, что, несмотря на наличие сигнала от крупных агрегатов в распределении по интенсивности система доминирующе состоит из мелких, стабильных наночастиц. Сдвиг пика объемного распределения в сторону меньших размеров к 12 дню согласуется с данными по интенсивности и дополнительно подтверждает тенденцию к уменьшению средних размеров и увеличению численной концентрации самых мелких частиц со временем.

Таким образом, можно заключить, что процессы формирования наночастиц в исследуемых экстрактах не останавливаются после начального синтеза, а продолжают в течение длительного времени, включая стадии преобразования и перераспределения. Бимодальность распределения и его динамика указывают на сложный механизм стабилизации, при котором компоненты экстрактов способны модулировать размер частиц, способствуя формированию и сохранению значительной доли дисперсной фракции. Наблюдаемые различия между экстрактами бадана и ревеня по степени уменьшения размеров частиц коррелируют с их различным поведением при световом облучении, что указывает на индивидуальные кинетические и термодинамические профили взаимодействия их компонентов с растущими наночастицами серебра.

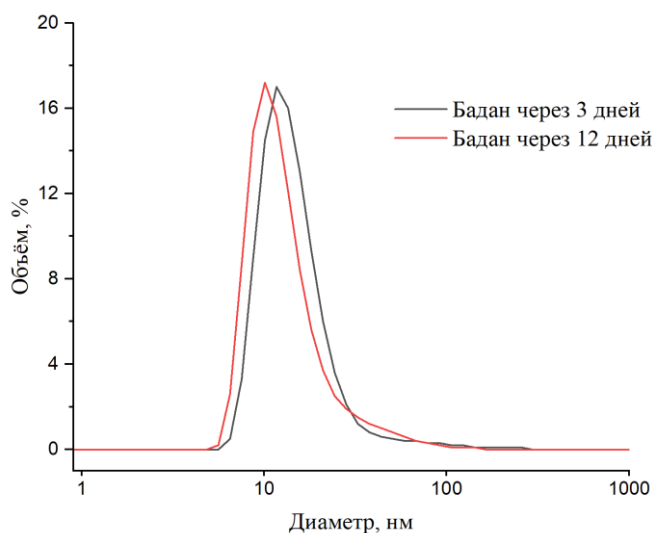


а

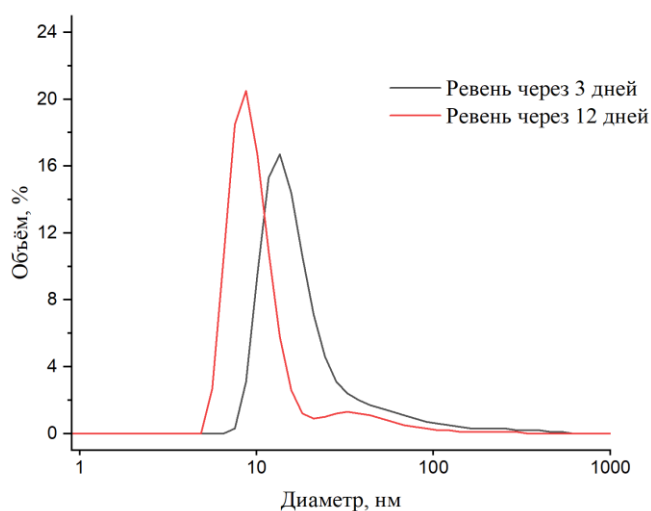


б

Рис. 5. Распределение наночастиц по размерам в водном экстракте листьев бадана (а) и ревеня (б) через 3 и 12 дней после добавления AgNO_3 в соотношение $V_{\text{экстракт}} / V_{\text{AgNO}_3} : 1:1$



а



б

Рис. 6. Распределение наночастиц по объёмной доле в водном экстракте листьев бадана через 3 и 12 дней (а) и листьев ревеня через 3 и 12 дней (б) после добавления AgNO_3 в соотношение $V_{\text{extract}} / V_{\text{AgNO}_3}$ 1:1

Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что фитоэкстракты на основе бадана, можжевельника и ревеня являются высокоэффективной системой для синтеза и долгосрочной (до 90 дней) стабилизации НЧС. Оптимизация процесса с использованием экстракта бадана выявила оптимальное соотношение с AgNO_3 1:1, при котором достигается баланс между восстановительной способностью и стабилизирующим действием. Важным результатом является выявление

специфического влияния светового фактора, тогда как система с экстрактом бадана подвержена фотодеградации, а экстракт ревеня демонстрирует эффект фотоусиленного синтеза. Изучение динамики размерного распределения частиц подтвердило сложный характер процессов формирования наночастиц, выявив бимодальное распределение и тенденцию к уменьшению средних размеров со временем, что свидетельствует о продолжающихся процессах образования НЧС под действием фитокомпонентов. Таким образом, выполненные исследования доказывают возможность управления свойствами и стабильностью биогенных НЧС за счет подбора состава растительного экстракта и условий синтеза.

Список литературы

1. A review on green synthesis of silver nanoparticles (SNPs) using plant extracts: a multifaceted approach in photocatalysis, environmental remediation, and biomedicine // *RSC Advances*. 2025. Т. 15, № 5. С. 3858–3903.
2. Nichita C. Pharmaceutical applications and Bio-synthesis strategies to design colloidal silver solutions // *University of Bucharest Press*, 2021. С. 112–118.
3. Bansal M., et al. Plant-Mediated green synthesis of copper, gold, and silver nanoparticles: Biomedical applications and future prospects // *Indian Journal of Natural Products and Resources*. 2025. Т. 16, № 4. С. 501–518.
4. A Comprehensive Review of Silver Nanoparticles (AgNPs): Synthesis Strategies, Toxicity Concerns, Biomedical Applications, AI-Driven Advancements, Challenges, and Future Perspectives // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2025. Т. 50, № 3. С. 1201–1245.
5. Makwana K., и др. Sustainable synthesis and functional profiling of Ipomoea hederifolia-derived terpenoids-assisted silver nanoparticles: Mechanistic insights into anticancer, antioxidant, antibiofilm, and anti-quorum sensing activities // *Biophysical Chemistry*. 2026. Т. 328. apr. 107524.
6. Damodar S.V., et al. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Medicinal Plant Extracts for Targeted Drug Delivery: A Systematic Review // *Advanced Journal of Chemistry, Section A*. 2026. Т. 9, № 4. С. 594–609.
7. Rónavári A., et al. Green Silver and Gold Nanoparticles: Biological Synthesis Approaches and Potentials for Biomedical Applications // *Molecules*. 2021. Т. 26, № 4. Ст. 1018.
8. Turdikulov I., et al. Synthesis of Silver Nanoparticles: A Comprehensive Review // *Chemical Review and Letters*. 2025. Т. 8, № 2. С. 45–60.
9. Pandey, P., et al. Biosynthesis of silver nanoparticles from plant extracts: a comprehensive review focused on anticancer therapy // *Frontiers in Pharmacology*. 2025. Т. 16. apr. 1600347.
10. Yuzbasioglu D., et al. Green Synthesized Silver Nanoparticles: Genotoxic/Epigenetic Alterations in Human Peripheral Lymphocytes and

Cytotoxicity in Human Colon Cell Lines // Journal of Applied Toxicology. 2026. Т. 46, № 2. С. 210–225.

Об авторах:

САЛАЗКИН Никита Сергеевич – аспирант 3 года обучения химико-технологического факультета ТвГУ ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35); e-mail: vecz2000@gmail.com, SPIN-код: 6365-6188

ХИЖНЯК Светлана Дмитриевна – к.х.н., доцент кафедры физической химии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д.35,) ORCID 0000-0002-6617-0841 SPIN-код: 4512-5715, AuthorID: 57758

ПАХОМОВ Павел Михайлович – д.х.н., профессор, зав. кафедрой физической химии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д.35,). e-mail: pavel.pakhomov@mail.ru, ORCID 0000-0002-2303-1913, SPIN-код 4060- 8967, AuthorID: 42897.

«Green» synthesis of silver nanoparticles using aqueous extracts of bergenia, juniper, and rhubarb leaves

N.S. Salazkin, S.D. Khizhnyak, P.M. Pakhomov

Tver State University, Tver, Russia

This paper presents the results of a study on the synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using aqueous extracts of Bergenia, Juniper, and Rhubarb leaves. Optimal conditions for the reproducible synthesis of AgNPs were determined. The efficiency of the synthesis process and the size of the resulting nanoparticles were investigated using electronic spectroscopy and dynamic light scattering (DLS). It was established that the formation of AgNPs is accompanied by the appearance of a plasmon resonance band in the electronic spectra of the aqueous solutions. The intensity of this band depends on the concentration of AgNPs, with the band maximum located in the range of ~423–433 nm, indicating the formation of relatively large nanoparticles. According to DLS data, the plant aqueous extracts facilitate the formation of AgNPs with a bimodal size distribution, with sizes of 16 and 80 nm for Bergenia, and 8 and 122 nm for Rhubarb. The Bergenia extract was identified as the most suitable for AgNP synthesis due to its high efficiency and stability over a period of 90 days.

Keywords: *plant extracts, green synthesis of silver nanoparticles, surface plasmon resonance band, dynamic light scattering (DLS).*

Дата поступления в редакцию: 16.02.2026.

Дата принятия в печать: 23.02.2026.