

DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-6-388-403

УДК 632.4.01/08



ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ ЖЕЛЕЗА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ВОДНОГО ЭКСТАРКТА МАНЖЕТКИ ОБЫКНОВЕННОЙ

*М.Б. Никишина, Е.В. Иванова, А.В. Третьякова,
Л.Г. Мухторов, Ю.М. Апрощенко*

Обоснование. Антропогенное воздействие на сельскохозяйственные территории приводит к загрязнению объектов окружающей среды, а так же к росту резистентности возбудителей болезней к современным средствам защиты. Одним из способов решения этих проблем является разработка новых препаратов на основе коллоидных растворов металлов, синтезированных методом «зеленого синтеза» с помощью водных экстрактов лекарственных растений средней полосы России. Биологическая активность наночастиц металлов, полученных с помощью растительных экстрактов, в настоящее время активно изучается по отношению к различным биологическим объектам. Целесообразно провести исследования влияния коллоидов железа, полученных с помощью водного экстракта манжетки обыкновенной на рост и развитие растений пшеницы, а также на грибы-фитопатогены, возбудители основных болезней сельскохозяйственных растений.

Цель. Исследовать биологическую активность коллоидов железа, синтезированных на основе водных экстрактов манжетки обыкновенной. Установить влияние наночастиц железа на рост и развитие растений пшеницы, а также изучить фунгицидное действие коллоидов на грибы-фитопатогены.

Материалы и методы. Коллоиды железа получали из растительных экстрактов различной степени разбавления и раствора соли железа.

В составе манжетки обыкновенной определяли содержание сахаров, дубильных и красящих веществ, фотосинтетических пигментов, растительного белка, флавоноидов и аскорбиновой кислоты.

Влияние коллоидов железа на рост и развитие сельскохозяйственных растений изучали, анализируя энергию прорастания семян и биометрические

показатели ростков пшеницы, обработанных исходными экстрактами и синтезированными коллоидами.

Фунгицидную активность экстрактов манжетки обыкновенной и синтезированных на их основе коллоидов железа изучали *in vitro* на следующих грибах – фитопатогенах: *F. moniliforme* и *F. oxysporum*, *V. inaequalis*, *R. solani*, *B. sorokiniana*, *P. ostreatus* и *A. alternata*.

Результаты. Ростстимулирующую активность проявляют водные экстракты манжетки обыкновенной средней степени разбавления и коллоиды железа, синтезированные на их основе. Фунгистатичностью обладают только экстракты манжетки обыкновенной по отношению к грибу *B. sorokiniana*.

Заключение. Биологическую активность проявляют экстракты средней степени разбавления и коллоиды, синтезированные на их основе. При дальнейшем проведении исследований по данной теме целесообразно изучать влияние различных вариаций концентраций соли и экстракта на проявление фунгицидной и ростстимулирующей активности.

Ключевые слова: коллоидные растворы железа; водный экстракт манжетки обыкновенной; зеленый синтез; биологическая активность; фунгициды; грибы-фитопатогены

Для цитирования. Никишина М.Б., Иванова Е.В., Третьякова А.В., Мухторов Л.Г., Атрошенко Ю.М. Исследование биологической активности коллоидных растворов железа, синтезированных на основе водного экстракта манжетки обыкновенной // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14, №6. С. 388-403. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-6-388-403

STUDY OF BIOLOGICAL ACTIVITY COLLOIDAL SOLUTIONS OF IRON SYNTHESIZED ON THE BASIS OF AQUEOUS CUFF EXTRACT

*M.B. Nikishina, E.V. Ivanova, A.V. Tretyakova,
L.G. Mukhtorov, Yu.M. Atroshchenko*

Background. Anthropogenic impact on agricultural areas leads to pollution of environmental objects, as well as to an increase in the resistance of pathogens to modern means of protection. One of the ways to solve these problems is the development of new drugs based on colloidal solutions of metals synthesized by the “green synthesis” method using aqueous extracts of medicinal plants from central Russia. The biological activity of metal nanoparticles obtained using plant extracts is currently being actively

studied in relation to various biological objects. It is advisable to study the effect of iron colloids obtained with the help of an aqueous extract of the common mantle on the growth and development of wheat plants, as well as on phytopathogen fungi, the causative agents of the main diseases of agricultural plants.

Purpose. To study the biological activity of iron colloids synthesized on the basis of aqueous extracts of the common cuff. To establish the effect of iron nanoparticles on the growth and development of wheat plants, and to study the fungicidal effect of colloids on pathogenic fungi.

Materials and methods. Iron colloids were obtained from plant extracts of various dilutions and iron salt solution.

The content of sugars, tannins and dyes, photosynthetic pigments, vegetable protein, flavonoids and ascorbic acid was determined in the composition of the common cuff.

The influence of iron colloids on the growth and development of agricultural plants was studied by analyzing the seed germination energy and biometric parameters of wheat germs treated with initial extracts and synthesized colloids.

The fungicidal activity of common mantle extracts and iron colloids synthesized on their basis was studied in vitro on the following fungi – phytopathogens: *F. moniliforme* and *F. oxysporum*, *V. inaequalis*, *R. solani*, *B. sorokiniana*, *P. ostreatus* and *A. alternata*.

Results. Growth-stimulating activity is exhibited by aqueous extracts of the common cuff of an average degree of dilution and iron colloids synthesized on their basis. Only extracts of the common cuff have fungistatic properties in relation to the fungus *B. sorokiniana*.

Conclusion. Biological activity is shown by extracts of medium dilution and colloids synthesized on their basis. In further research on this topic, it is advisable to study the effect of various variations in salt and extract concentrations on the manifestation of fungicidal and growth-stimulating activity.

Keywords: colloidal solutions of iron; aqueous extract of common mantle; green synthesis; biological activity; fungicides; pathogenic fungi

For citation. Nikishina M.B., Ivanova E.V., Tretyakova A.V., Mukhtorov L.G., Atroshchenko Yu.M. Study of Biological Activity Colloidal Solutions of Iron Synthesized on the Basis of Aqueous Cuff Extract. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 388-403. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-6-388-403

Введение

Поиск и разработка новых препаратов, обладающих высокой биологической активностью, является актуальным направлением исследователь-

ских работ во всех областях химии. Активно ведутся работы и в области создания биологически активных систем, созданных на основе растительного сырья. Особенно перспективным является разработка наносистем металлов, полученных методом «зеленого синтеза» [15-20]. Отдельно *d*-металлы в качестве микроэлементов необходимы для нормального роста растений. Одновременно с этим, многие металлы и их соединения выступают ингибиторами возникновения и развития грибковых заболеваний.

Использование экстрактов лекарственных растений для синтеза металлов в качестве восстановителей способствует решению ряда важных задач. Флавоноиды, сахара, дубильные и другие группы веществ в составе водных экстрактов многих лекарственных растений обладают восстановительными свойствами и выступают в роли стабилизаторов коллоидных частиц. Кроме того, вещества в составе лекарственных растений сами по себе проявляют биологическую активность. Таким образом, коллоидные системы металлов, синтезированные методом «зеленого синтеза» прогнозируемо могут выступать в качестве биостимуляторов роста растений и, одновременно, подавлять рост грибов-фитопатогенов.

На кафедре химии ТГПУ им. Л.Н.Толстого проводится работа по синтезу и изучению биологической и фунгицидной активности коллоидов *d*-металлов, полученных с помощью водных экстрактов различных лекарственных растений [3, 10-14]. Представленная работа посвящена изучению роста стимулирующей и фунгицидной активности коллоидных растворов железа, полученных на основе водных экстрактов манжетки обыкновенной.

Из литературных источников известно [1], что надземные части манжетки обыкновенной содержат большое количество дубильных веществ (7,2–11,3 %), катехины. Кроме того, обнаружены флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты и их производные (лутеоновая, эллаговая), лигнин, липиды, кумарины [5,6]. Вещества этих групп могут проявлять восстановительные свойства по отношению к ионам железа. Лекарственные средства из манжетки обладают, в том числе сильным противовоспалительным действием.

Цель работы

Исследовать биологическую активность коллоидов железа, синтезированных на основе водных экстрактов манжетки обыкновенной. Установить влияние наночастиц железа на рост и развитие растений пшеницы, а также изучить фунгицидное действие коллоидов на грибы-фитопатогены.

Научная новизна

Впервые проведено исследование роста стимулирующего действия коллоидного железа, полученного восстановлением соли железа водным экстрактом манжетки обыкновенной, а также изучена его фунгицидная активность на семи фитопатогенных грибах, относящихся к различным таксономическим классам и охватывающих широкий спектр возбудителей грибных болезней сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы исследования

Водный экстракт манжетки обыкновенной получали из 50 грамм измельченного высушенного растительного сырья и 250 мл дистиллированной воды при нагревании в экстракторе Сокслета. Процесс экстрагирования проводили в течение 24 часов. Полученный экстракт охлаждали, фильтровали до прозрачности и оставляли хранить в холодильнике при отрицательной температуре для дальнейшего использования в биосинтезе металлических наночастиц.

В эксперименте использовали растительные экстракты различной степени разбавления: в 10, 100, 1000 и 10000 раз.

Синтез наночастиц железа проводили по следующей схеме: к 50 мл соли железа с концентрацией 10^{-3} моль/л по каплям добавляли растительный экстракт при постоянном перемешивании в течение 10 минут. Цвет раствора менялся от светло-коричневого до темно-коричневого. Процесс коллоидообразования фиксировали методом спектрофотометрии. Определяли оптическую плотность в начальный момент, через 10 минут, 1 час и 24 часа после начала синтеза (таблица 1).

Таблица 1.

Оптическая плотность синтезированных коллоидов

№ п/п коллоидов	Степень разбавления экстракта	D			
		в начальный момент синтеза	через 10 минут после начала синтеза	через 1 час после начала синтеза	через 24 часа после начала синтеза
1	0	0,101	1,653	0,709	1,708
2	10	0,012	0,114	0,089	0,101
3	100	0,001	0,017	0,066	0,052
4	1000	0	0	0,007	0,040
5	10000	0	0	0,002	0,003

Анализ данных таблицы 1 иллюстрирует динамику синтеза коллоидных растворов железа. Наиболее эффективно коллоидообразование на-

блюдается в образцах № 1 и 3. Оптическая плотность увеличивается в 17 и 52 раза, соответственно.

Для оценки восстановительной активности манжетки обыкновенной определяли содержание сахаров, дубильных и красящих веществ, фотосинтетических пигментов, растительного белка, флавоноидов и аскорбиновой кислоты.

Содержание сахаров в растворе экстракта манжетки обыкновенной изучали цианидным методом согласно ГОСТу Р 54607.6-2015 [7]. Дубильные и красящие вещества определяли методом перманганатометрии по ГОСТу 24027.2-80 [8]. Для количественного анализа фотосинтетических пигментов и растительного белка использовали метод спектрофотометрии. Содержание флавоноидов изучали по оптической плотности относительно стандартного образца рутина. Количество аскорбиновой кислоты определяли методом йодометрии. Данные химического анализа манжетки обыкновенной представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Химический состав манжетки обыкновенной

Анализируемые показатели	Экстракт Манжетки обыкновенной
Содержание редуцирующих сахаров	0,025%
Содержание общего количества сахара (сумма сахаров)	0,027%
Содержание инвертного сахара	0,002%
Содержание сахарозы	0,0019%
Истинная сумма сахаров	0,0279%
Содержание аскорбиновой кислоты	0,17%
Общее содержание дубильных и красящих веществ	0,17%
Содержание белка	143,81 мкг/г
Содержание хлорофилла а	9,95 мг/г
Содержание хлорофилла b	16,59 мг/г
Содержание каротиноидов	7,63 мг/г
Содержание флавоноидов	4,87 %

Данные, представленные в таблице 2, позволяют предположить, что манжетка обыкновенная содержит достаточное количество веществ, которые могут служить восстановителями ионов железа и стабилизаторами для коллоидообразования.

Комплексную оценку биологической активности коллоидных растворов железа, полученных на основе экстрактов манжетки обыкновенной,

проводили по двум направлениям. Изучали влияние коллоидов железа на рост и развитие сельскохозяйственных растений [2]. Кроме того, проводили анализ фунгицидной активности металлических наночастиц.

На первой стадии изучения ростстимулирующей активности определяли энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы [9], обработанных исходными экстрактами и полученными коллоидами. В опытах использовали пшеницу «Омская 4», которая внесена в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Анализ биометрических показателей ростков пшеницы, обработанных исследуемыми растворами, проводили согласно методики полевых опытов Б.А. Доспехова [4].

Фунгицидную активность экстрактов манжетки обыкновенной и синтезированных на их основе коллоидов железа изучали *in vitro* на следующих грибах-фитопатогенах: *F. moniliforme* и *F. oxysporum* – возбудителях фузариоза зерновых культур; *V. inaequalis* – возбудителе парши яблонь; *R. solani* – возбудителе ризоктониозной корневой гнили пшеницы, черной парши (ректониоза) картофеля; *B. sorokiniana* – возбудителе корневых гнилей; *P. ostreatus* – возбудителе ствольных гнилей лиственных пород и *A. alternata* – спорообразующем плесневом грибе, растущем преимущественно на растительных субстратах. Используемые в работе штаммы фитопатогенных грибов были взяты из «Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов» в центре коллективного пользования на базе ВНИИФ (Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии).

Споры грибов-фитопатогенов помещали в питательную картофельно-сахарозную агаризованную среду в чашке Петри. Туда же добавлялись исследуемые образцы растительного экстракта и коллоидных растворов. В качестве контрольного образца использовали питательную картофельно-сахарозную агаризованную среду. Размеры колоний грибов измеряли на 3 сутки после посева. Фунгицидную эффективность определяли по формуле Эббота:

$$T = \frac{d_k - d_o}{d_k} \times 100\%,$$

T – фунгицидная активность препарата по сравнению с контролем, %;

d_k – диаметр колонии гриба в контрольном опыте;

d_o – диаметр колонии гриба в опыте с исследуемым веществом.

Эксперимент проводили в трехкратной повторности.

Результаты исследования и их обсуждение

Для изучения биологической активности определяли энергию прорастания семян пшеницы, обработанных водными экстрактами и полученными на их основе коллоидами (таблица 3).

Таблица 3.

Энергия прорастания семян пшеницы

Обработка семян	Энергия прорастания, %		
	3 сутки после замачивания	6 сутки после замачивания	9 сутки после замачивания
Коллоид № 1	66,67	76,67	83,33
Коллоид № 2	83,33	83,33	86,67
Коллоид № 3	53,33	83,33	83,33
Коллоид № 4	76,67	80	80
Коллоид № 5	83,33	100	100
<i>H₂O</i>	63,33	76,67	86,67
Fe(Cl ₂), C=10 ⁻³ моль/л	63,33	73,3	80
Экстракт № 1	40	50	80
Экстракт № 2	66,67	80	80
Экстракт № 3	80	90	93,3
Экстракт № 4	66,67	80	86,67
Экстракт № 5	66,67	86,67	100

Представленные данные указывают на положительное влияние экстрактов № 3 и № 5, а так же коллоида № 5 на прорастание семян пшеницы. Концентрированные экстракты манжетки обыкновенной и коллоиды на их основе угнетают процессы роста в семенах.

На 9-ые сутки после обработки семян пшеницы исследуемыми растворами фиксировали биометрические показатели. Размеры побегов пшеницы, обработанные разными составами, представлены в таблице 4.

Результаты эксперимента, представленные в таблице 4, указывают на стимулирующее действие коллоидного раствора № 4 и экстракта № 2. Остальные исследуемые растворы ингибируют рост побегов пшеницы на начальных стадиях развития.

В рамках исследования биологической активности экстрактов манжетки обыкновенной, а также синтезированных на их основе коллоидов железа изучали фунгицидное действие тестируемых растворов. Данные анализа представлены в таблице 5.

Таблица 4.

Биометрия растений пшеницы, см

Коллоид № 1	11,52±2,65
Коллоид № 2	11,25±2,51
Коллоид № 3	10,85±4,74
Коллоид № 4	13,2±3,1
Коллоид № 5	11,45±1,53
<i>H₂O</i>	12,27±3,4
FeCl ₃), C=10 ⁻³ моль/л	11,77±4,80
Экстракт № 1	6,46±1,47
Экстракт № 2	12,89±4,03
Экстракт № 3	10,89±2,03
Экстракт № 4	9,23±2,84
Экстракт № 5	11,27±2,55

Таблица 5.

Фунгицидная активность экстрактов манжетки обыкновенной и коллоидов железа

Грибы	Процент подавления роста мицелия, %							
	FeCl ₃ , C=10 ⁻³ моль/л	Коллоид № 1	Коллоид № 2	Коллоид № 3	Экстракт № 1	Экстракт № 2	Экстракт № 3	Экстракт № 4
<i>F. moniliforme</i>	1,72	6,90	13,79	13,79	-54,84	32,26	24,19	12,9
<i>F. oxysporum</i>	-50	-46,67	-50	-43,33	36,36	37,87	30,30	28,88
<i>V. inaequalis</i>	5,26	-2,63	2,63	2,63	-40,27	18,92	18,92	21,62
<i>R. solani</i>	-40,54	-2,70	2,70	2,70	16,33	14,28	10,20	10,20
<i>B. sorokiniana</i>	6,67	33,33	36,67	36,67	65,90	62,5	65,90	68,18
<i>P. ostreatus</i>	5,13	0	15,38	5,13	25,76	19,68	48,49	36,40
<i>A. alternata</i>	-46,34	-36,59	2,43	2,43	-15,79	-21,05	-7,89	-8,95

Данные таблицы 5 указывают на низкую фунгистатичность исследуемых растворов. Все синтезированные коллоиды не подавляют рост мицелия грибов-фитопатогенов должным образом. Экстракты манжетки обыкновенной проявляют высокую фунгицидную активность только по отношению к *B. sorokiniana*.

Заключение

По итогам исследования биологической активности коллоидных растворов железа, синтезированных на основе водных экстрактов манжетки обыкновенной можно сделать следующие выводы: ростстимулирующую активность проявляют экстракты средней степени разбавления и коллоиды, синтезированные на их основе; фунгистатичностью обладают только экстракты манжетки обыкновенной по отношению к грибу *B. sorokiniana*. При дальнейшем проведении исследований по данной теме целесообразно изучать влияние различных вариаций концентраций соли и экстракта на проявление фунгицидной и ростстимулирующей активности.

Авторы выражают благодарность ведущему научному сотруднику ВНИИ фитопатологии, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Песцову Георгию Вячеславовичу за методическую помощь в организации опытов по определению фунгицидной активности исследуемых растворов.

Список литературы

1. Андреева В.Ю. Химический состав манжетки обыкновенной *Alchemilla vulgaris* / В.Ю. Андреева, Г.И. Калинкина // Химия растительного сырья. 2000. №2. С. 79-85.
2. Безуглова О.С. Удобрения и стимуляторы роста. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. 315 с.
3. Власова Ю.Н., Тарелкина О.А., Никишина М.Б. Синтез и свойства коллоидных растворов меди // В сборнике: LXXIII Международные научные чтения (памяти А. Н. Колмогорова). Сборник статей Международной научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 21-24.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
5. Лесовая Ж. С. и др. Разработка методики количественного определения флавоноидов в траве манжетки обыкновенной *Alchemilla vulgaris* L.S.L.// Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2010. Вып. 2/22. № 22 (93). С.145-149.
6. Макаров В.В. «Зеленые» нанотехнологии синтеза металлических наночастиц с использованием растений // Молекулярная биология. 2014. №1 [электронный ресурс]. URL: <http://actanaturae.ru> (дата обращения 15.01.2016).
7. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла [Постановление Госу-

- дарственного комитета СССР по стандартам от 6 марта 1980 г. № 1038]. Официальное издание. Лекарственное растительное сырье. Часть 2. Корни, плоды, сырье: Сб. ГОСТов. М.: ИПК Издательство стандартов. 1999. 17 с.
8. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести [Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 19.12.84 № 4710]. Официальное издание. М.: ИПК Издательство стандартов. 2004. 47 с.
 9. Национальный стандарт РФ. ГОСТ Р 54607.6-2015. Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 6. Методы определения сахара [Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2015 г. № 1980-ст]. Официальное издание. М.: Стандартинформ. 2016. 50 с.
 10. Никишина М.Б., Иванова Е.В., Атрощенко Ю.М., Шахкельдян И.В., Блохин И.В., Мухторов Л.Г., Кобраков К.И., Песцов Г.В. Биологическая активность коллоидных растворов серебра, полученных с помощью экстракта *Salix caprea* // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60. № 10. С. 54-59.
 11. Никишина М.Б., Иванова Е.В., Атрощенко Ю.М., Красникова А.А., Глазнова А.В. Исследование фунгицидной активности коллоидного раствора серебра, полученного на основе яблочного сока // Проблемы научной мысли. 2019. Т. 5. № 3. С. 47-50.
 12. Никишина М.Б., Иванова Е.В., Мухторов Л.Г., Атрощенко Ю.М. Биологическая активность коллоидов серебра, образованных с помощью экстрактов *solidago virgaurea* // Проблемы научной мысли. 2020. Т.8. №12. С. 73-75.
 13. Kozlova V.N., Nikishina M.B., Ivanova E.V., Atroshchenko Yu.M. Fungicidal activity of colloidal copper particles obtained on the basis of the extract of the *Alchemilla Vulgaris* // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12. № 1. С. 56-59.
 14. Kozlova V.N., Nikishina M.B., Ivanova E.V., Atroshchenko Yu.M. The biological activity of colloidal copper particles obtained by “green synthesis” based on the extract of the *Alchemilla Vulgaris* // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12. № 1. С. 60-63.
 15. Maheshkumar Prakash Patil, Gun-Do Kim. Eco-friendly approach for nanoparticles synthesis and mechanism behind antibacterial activity of silver and anticancer activity of gold nanoparticles // Appl Microbiol Biotechnol. 2016. V. 99(23). P. 9923-34.
 16. Lamabam Sophiya Devi, S.R. Joshi. Ultrastructures of silver nanoparticles biosynthesized using endophytic fungi // Journal of Microscopy and Ultrastructure. 2015. V. 3. P. 29–37.

17. P.T. Anastas, J.C. Warner, «Green Chemistry: Theory and Practice», Oxford, 1998.
18. Shashi Prabha Dubey, Amarendra Dhar Dwivedi, Manu Lahtinen, Changha Lee, Young-Nam Kwon, Mika Sillanpaa. Protocol for development of various plants leaves extract in single-pot synthesis of metal nanoparticles // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2013. V. 103. P. 134–142.
19. Zia-ur-Rehman Mashwani, Tariq Khan, Mubarak Ali Khan, Akhtar Nadhman. Synthesis in plants and plant extracts of silver nanoparticles with potent antimicrobial properties: current status and future prospects // *Appl Microbiol Biotechnol*. 2015. V. 99(23). P. 9923-34.
20. Zhiqiang Wang, Cheng Fang, Megharaj Mallavarapu. Characterization of iron–polyphenol complex nanoparticles synthesized by Sage (*Salvia officinalis*) leaves // *Environmental Technology & Innovation*. 2015. V.4. P. 92–97.

References

1. Andreyeva V.Yu., Kalinkina G.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2000, no. 2, pp. 79-85.
2. Bezuglova, O.S. *Udobreniya i stimulyatory rosta* [Fertilizers and growth stimulants]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2000, 315 p.
3. Vlasova Yu.N., Tarelkina O.A., Nikishina M.B. Sintez i svoystva kolloidnykh rastvorov medi [Synthesis and properties of colloidal solutions of copper]. *LXXIII Mezhdunarodnyye nauchnyye chteniya (pamyati A. N. Kolmogorova). Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [LXXIII International Scientific Readings (in memory of A. N. Kolmogorov). Collection of articles of the International scientific-practical conference]. Moscow, 2020, pp. 21-24.
4. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012, 352 p.
5. Lesovaya ZH. S. i dr. Razrabotka metodiki kolichestvennogo opredeleniya flavonoidov v trave manzhetki obyknovennoy *Alchemilla vulgaris* L. s.l. [Development of a method for the quantitative determination of flavonoids in the common mantle herb *Alchemilla vulgaris* L. s.l.]. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, 2010, issue 2/22, no. 22 (93), pp. 145-149.
6. Makarov V.V. «Zelenyye» nanotekhnologii sinteza metallicheskiykh nanochastits s ispol'zovaniyem rasteniy [“Green” nanotechnologies for the synthesis of metal nanoparticles using plants]. *Molekulyarnaya biologiya*, 2014, no. 1. <http://actanaturae.ru>

7. Mezhgosudarstvennyy standart. GOST 24027.2-80. Syr'ye lekarstvennoye rastitel'noye. Metody opredeleniya vlazhnosti, soderzhaniya zoly, ekstraktivnykh i dubil'nykh veshchestv, efirnogo masla [Raw medicinal vegetable. Methods for determining moisture, ash content, extractive and tannins, essential oils]. *Ofitsial'noye izdaniye. Lekarstvennoye rastitel'noye syr'ye. Chast' 2. Korni, plody, syr'ye: Sb. GOSTov* [Official publication. Medicinal plant material. Part 2. Roots, fruits, raw materials: Sat. GOSTs]. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1999, 17 p.
8. Interstate standard. GOST 12038-84. Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination [Resolution of the USSR State Committee for Standards dated 12/19/84 No. 4710]. Official publication. M.: IPK Publishing house of standards, 2004, 47 p.
9. National standard of the Russian Federation. GOST R 54607.6-2015. Catering services. Methods of laboratory control of public catering products. Part 6. Methods for determining sugar [Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 25, 2015 No. 1980-st]. Official publication. M.: Standartinform, 2016, 50 p.
10. Nikishina M.B., Ivanova E.V., Atroshchenko Yu.M., Shakhkel'dyan I.V., Blokhin I.V., Mukhtorov L.G., Kobrakov K.I., Pestsov G.V. Biologicheskaya aktivnost' kolloidnykh rastvorov serebra, poluchennykh s pomoshch'yu ekstrakta *Sálix cáprea* [Biological activity of silver colloidal solutions obtained with the help of *Sálix cáprea* extract]. *Butlerov Communications*, 2019, vol. 60, no. 10, pp. 54-59.
11. Nikishina M.B., Ivanova E.V., Atroshchenko Yu.M., Krasnikova A.A., Glazunova A.V. Issledovaniye fungitsidnoy aktivnosti kolloidnogo rastvora serebra, poluchennogo na osnove yablochnogo soka [Investigation of the fungicidal activity of a colloidal solution of silver obtained on the basis of apple juice]. *Problemy nauchnoy mysli* [Problems of scientific thought], 2019, vol. 5, no. 3, pp. 47-50.
12. Nikishina M.B., Ivanova E.V., Mukhtorov L.G., Atroshchenko Yu.M. Biologicheskaya aktivnost' kolloidov serebra, obrazovannykh s pomoshch'yu ekstraktov *solidago virgaurea* [Biological activity of silver colloids formed with *solidago virgaurea* extracts]. *Problemy nauchnoy mysli* [Problems of scientific thought], 2020, vol. 8, no. 12, pp. 73-75.
13. Kozlova V.N., Nikishina M.B., Ivanova E.V., Atroshchenko Yu.M. Fungicidal activity of colloidal copper particles obtained on the basis of the extract of the *Alchemilla Vulgaris*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 1, pp. 56-59.
14. Kozlova V.N., Nikishina M.B., Ivanova E.V., Atroshchenko Yu.M. The biological activity of colloidal copper particles obtained by "green synthesis" based on the extract of the *Alchemilla Vulgaris*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 1, pp. 60-63.

15. Maheshkumar Prakash Patil, Gun-Do Kim. Eco-friendly approach for nanoparticles synthesis and mechanism behind antibacterial activity of silver and anticancer activity of gold nanoparticles. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 2016, vol. 99(23), pp. 9923-34.
16. Lamabam Sophiya Devi, S.R. Joshi. Ultrastructures of silver nanoparticles biosynthesized using endophytic fungi. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 2015, vol. 3, pp. 29–37.
17. P.T. Anastas, J.C. Warner, «Green Chemistry: Theory and Practice», Oxford, 1998.
18. Shashi Prabha Dubey, Amarendra Dhar Dwivedi, Manu Lahtinen, Changha Lee, Young-Nam Kwon, Mika Sillanpaa. Protocol for development of various plants leaves extract in single-pot synthesis of metal nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2013, vol. 103, pp. 134–142.
19. Zia-ur-Rehman Mashwani, Tariq Khan, Mubarak Ali Khan, Akhtar Nadhman. Synthesis in plants and plant extracts of silver nanoparticles with potent antimicrobial properties: current status and future prospects. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 2015, vol. 99(23), pp. 9923-34.
20. Zhiqiang Wang, Cheng Fang, Megharaj Mallavarapu. Characterization of iron-polyphenol complex nanoparticles synthesized by Sage (*Salvia officinalis*) leaves. *Environmental Technology & Innovation*, 2015, vol. 4, pp. 92–97.

ВКЛАД АВТОРОВ

Никишина М.Б.: обработка и анализ результатов эксперимента.

Иванова Е.В.: обработка и анализ результатов эксперимента

Третьякова А.В.: посев и контроль за ростом грибов-фитопатогенов.

Мухторов Л.Г.: синтез исследуемых растворов, постановка опытов.

Атрошенко Ю.М.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Maria B. Nikishina: processing and analysis of experimental results.

Evgeniya V. Ivanova: processing and analysis of experimental results.

Anastasia V. Tretyakova: sowing and control over the growth of fungi-phytopathogens.

Loik G. Mukhtorov: synthesis of test solutions, setting up experiments.

Yuri M. Atroshchenko: development of the concept of scientific work, editing the draft of the manuscript.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Никишина Мария Борисовна, заведующий кафедрой химии, к.х.н., доцент

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

*пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
nikishinamb@gmail.com*

Иванова Евгения Владимировна, доцент кафедры химии, к.х.н., доцент

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

*пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
otela005@gmail.com*

Третьякова Анастасия Валерьевна, аспирант кафедры биологии и технологии живых систем

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

*пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
glazunovaanastasiya@gmail.com*

Мухторов Лоик Гургович, научный сотрудник кафедры химии, к.х.н

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

*пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
mukhtorov.loik@mail.ru*

Агрошенко Юрий Михайлович, ведущий научный сотрудник Инновационного научного центра “Новые химические технологии”, д.х.н., профессор

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

*пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
reaktiv@tsput.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maria B. Nikishina, Head of the Department of Chemistry, Ph.D., Associate Professor

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University

*125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
nikishinamb@gmail.com*

Evgeniya V. Ivanova, Associate Professor of the Department of Chemistry,
Ph.D., Associate Professor
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
omela005@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3398-6438>

Anastasia V. Tretyakova, Ph.D. Student, Department of Biology and Technol-
ogy of Living Systems
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
glazynovaanastasiya@gmail.com

Loik G. Mukhtorov, Researcher of the Department of Chemistry, Ph.D.
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
mukhtorov.loik@mail.ru

Yuri M. Atroshchenko, Leading Researcher of the Department of Chemistry,
Doctor of Chemistry, Professor
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
reaktiv@tsput.ru

Поступила 25.07.2022

После рецензирования 13.08.2022

Принята 20.08.2022

Received 25.07.2022

Revised 13.08.2022

Accepted 20.08.2022