DOI: 10.58168/PBHT2026_135-142
УДК 620.30

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ФИТОХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КРАПИВЫ ДВУДОМНОЙ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

STUDY OF THE EXTRACTION PROCESS OF PHYTOCHEMICALS FROM STINGING NETTLE FOR BIOLOGICAL SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES

**Аниськевич А.С.,** магистрант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», Санкт-Петербург, Россия

**Aniskevich A.S.,** Master's student, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia

**Смирнова М.П.,** магистрант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», Санкт-Петербург, Россия

**Smirnova M.P.,** Master's student, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia

**Буринская А.А.,** кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры химических технологий им. проф. А.А. Хархарова, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», Санкт-Петербург, Россия

**Burinskaya A.A.,** PhD in Technical Sciences, Docent, Professor of the Chemical Technologies Department named after Professor A.A. Kharkharov, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia

**Аннотация.** В статье рассмотрены два способа экстракции биологически активных веществ из крапивы двудомной: с использованием воды и легкоплавкого водородно-связанного комплекса (ЛПВСК) – для определения наиболее эффективного экстракта с целью его последующего применения в биологическом синтезе наночастиц серебра.

**Ключевые слова:** наночастицы, крапива двудомная, экстракция, биологически активные вещества.

**Abstract.** This article examines two methods for extracting biologically active substances from stinging nettle: using water and a low-melting mixture solvent (HDL). This method is used to determine the most effective extract for subsequent use in the biological synthesis of silver nanoparticles.

**Keywords:** nanoparticles, stinging nettle, extraction, biologically active substances.

Современные тенденции в химии связаны с поиском экологически безопасных методов получения функциональных материалов без использования токсичных реагентов. В рамках метода «зеленой» химии используются экстракты различных частей растений для синтеза наночастиц металлов, где они выступают в качестве восстановителей и стабилизаторов. Содержащиеся в них флавоноиды, алкалоиды и фенольные соединения, богатые гидроксильными, карбоксильными и аминогруппами, обеспечивают восстановление ионов

© Аниськевич А. С., Смирнова М. П., Буринская А. А., 2026

металлов и стабилизацию образующихся наночастиц. В работе [1] при синтезе наночастиц металлов использовали листья манго, нима и папайи. Ключевым фактором, определяющим успех такого синтеза, является наличие и концентрация природных восстановителей, эффективность извлечения которых напрямую зависит от выбранного метода.

Наиболее распространенным методом получения биологически активных веществ (БАВ) из растительного материала является экстракция. Чаще всего для процесса экстракции используются летучие, легковоспламеняющиеся и токсичные органические растворители, что сопряжено с очевидными рисками при организации технологических линий. Как альтернативу опасным органическим растворителям можно использовать легкоплавкие смеси, известные как «глубокие эвтектические растворители» (ГЭР). ГЭР – это смеси двух или более компонентов, у которых температура плавления смеси значительно ниже, чем температура плавления исходных компонентов. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными растворителями, поскольку менее токсичны, легко разлагаются и легко изготавливаются из доступных исходных и недорогих материалов, что делает их более подходящими экстрагентами. Получен ряд так называемых бинарных эвтектических растворителей путем простого смешивания твердой мочевины и ряда четвертичных аммониевых солей в соответствующих молярных соотношениях. Например, типичная бинарная смесь мочевины и хлорида холина (ChCl) (молярное соотношение 2:1) имеет температуру плавления всего 12 °C, в то время как температура плавления двух составляющих компонентов достигают 133 °C и 302 °C, соответственно [2].

Компоненты таких смесей образуют достаточно прочные водородные связи друг с другом, что приводит к значительному снижению температуры плавления смеси. Следует отметить, что термин «эвтектический» относится строго к конкретному составу смеси, однако в литературе «глубокими эвтектическими растворителями» называют смеси с различным стехиометрическим составом. Правильнее рассматривать подобные смеси как аналоги комплексных соединений и называть их «легкоплавкими водородно-связанными комплексами» (ЛПВСК). С точки зрения практического применения не так важно, образовалась ли эвтектическая смесь или это просто смесь с низкой температурой плавления. Гораздо важнее эффективность экстракции.

Одним из потенциальных растений для «зеленого» синтеза наночастиц является крапива двудомная (лат. *Urtica dioica*) – это многолетнее травянистое растение семейства крапивные (лат. *Urticaceae*). Она широко распространена и произрастает на всей территории умеренной зоны, что делает её легкодоступным растительным сырьём. Листья крапивы богаты БАВ: дубильными веществами, флавоноидами (кверцетин, рутин), аскорбиновой кислотой, аминокислотами (лейцин, изолейцин) и хлорофиллом (Рис.1) [3].

Благодаря наличию гидроксильных, карбоксильных и аминогрупп, эти соединения способны восстанавливать ионы металлов до наночастиц и стабилизировать образующиеся коллоидные растворы.

Сам синтез металлических наночастиц с использованием растительного экстракта происходит в несколько этапов:

1. На первом этапе происходит восстановление ионов металла ($M^+$ или $M^{2+}$) до атомов металла ($M^0$) и последующее зарождение восстановленных атомов металла. На этом же этапе

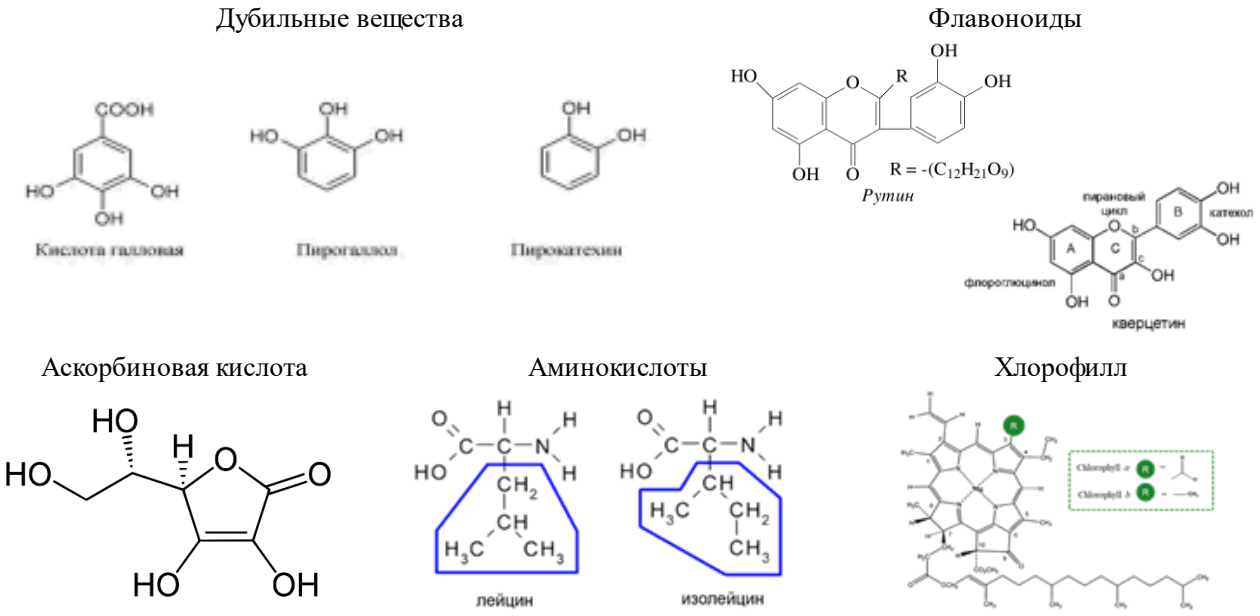



Рисунок 1 – Структурные формулы выделяемых БАВ из листьев крапивы

образуются координационные комплексы между ионом металла и фитохимическими веществами экстракта.

2. На втором этапе происходит коалесценция – слияние мелких соседних наночастиц в частицы большего размера с одновременным повышением их термодинамической стабильности. Этот этап также можно описать как рост и адсорбцию.

3. На заключительном этапе происходит завершение процесса, придающее наночастицам окончательную форму и размер [4, 5]. Наночастицы стабилизируются адсорбированными на их поверхности биомолекулами из экстракта.

Регулировка формы и размера металлических наночастиц дополнительно повышает их функциональность для различных применений. Морфологию наночастиц можно изменять, варьируя различные условия эксперимента, такие как время реакции, концентрация реагентов, pH, температура, вид прекурсора и т. д. [4]. Точный контроль этих параметров может играть решающую роль при оптимизации синтеза металлических наночастиц биологическим путем. Размер и форма наночастиц могут контролироваться путем изменения pH среды, при этом кислый pH приводит к образованию наночастиц большего размера [4]. Помимо pH, концентрация БАВ в экстракте также влияет на размер и форму синтезированных наночастиц.

**Объекты и методы исследования**

В качестве растительного материала в работе использовали листья крапивы двудомной, имеющиеся в свободной продаже в аптеке. Их измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. В качестве экстрагентов использовали: дистиллированную воду и ЛПВСК глюкоза + молочная кислота + вода (в соотношении 1:1:1).

Взвешивание проводили на аналитических весах с точностью до $10^{-4}$ г. Экстракцию проводили с помощью ультразвуковой ванны *Stegler 3DT* (частота ультразвука 40 кГц, мощность 120 Вт). Титрование проводили с использованием перманганата калия и серной кислоты. Электронные спектры поглощения коллоидных растворов получали с

использованием спектрофотометра *УФ-6700,* предназначенного для анализа жидких растворов. Размеры наночастиц измеряли методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) *JEOL JSM-6390 LA.*

**Экспериментальная часть**

Для приготовления ЛПВСК необходимые навески компонентов отмеряли с помощью аналитических весов, смешивали в закрытой колбе и нагревали до образования однородной жидкости при 80 °C. В ходе экстракции использовали ультразвуковую ванну. Кинетическое исследование проводилось при температуре 45 ± 5 °C с соотношением объема к массе 20:1 в диапазоне времени 10-60 (с шагом 10 минут). В полученных образцах титриметрическими методами определяли два ключевых показателя: антиоксидантную активность (АОА) и общее содержание дубильных веществ согласно фармакопейным методикам [6-7]. Полученные кинетические зависимости представлены на рисунках 2 и 3.

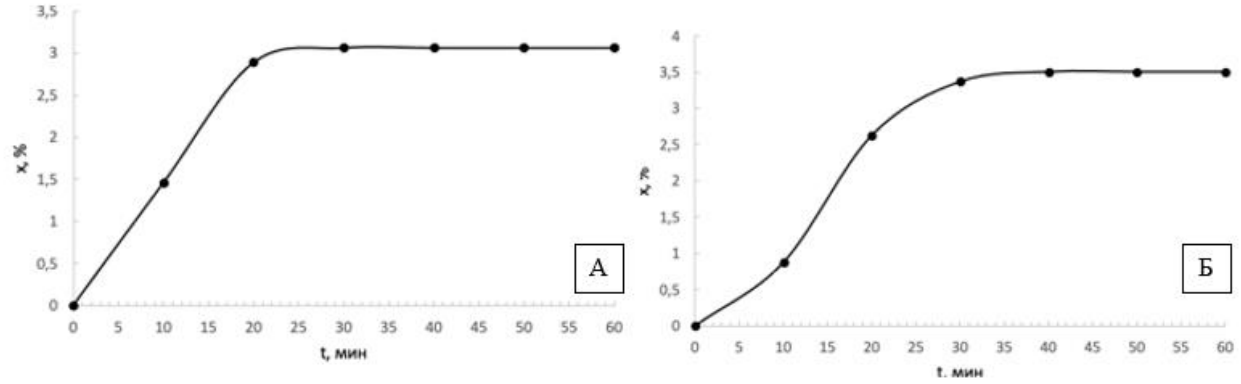



Рисунок 2 – Содержание дубильный веществ: а – экстракция водой; б – экстракция ЛПВСК

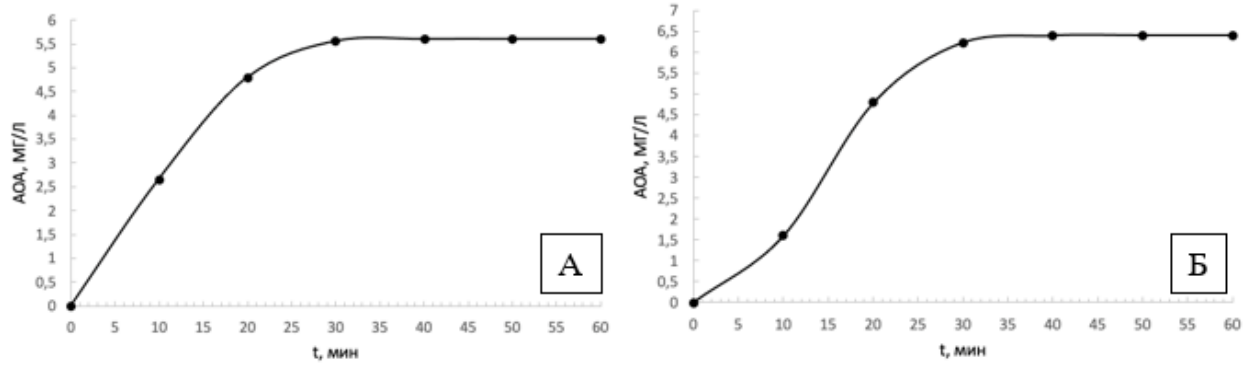



Рисунок 3 – АОА: а – экстракция водой; б – экстракция ЛПВСК

Расчет содержания дубильных веществ проводили по формуле [6]:

$$x = \frac{(V_{\text{о.о.}} - V_{\text{к.о.}}) \times k \times T \times w \times 100 \times 100}{a \times V_{\text{а}} \times (100 - B)}, \quad (1)$$

где *Vo.o.* и *Vк.о.* – объемы титрованного раствора калия перманганата 0,02 М, израсходованные на титрование в основном и контрольном опытах соответственно, мл;

*k* – поправочный коэффициент;

*T* – титр 0,02 М раствора калия перманганата по танину, 0,004157 г/мл;

*W* – общий объем извлечения, полученный из взятой на анализ навески сырья, мл;

*a* – масса навески, г;

*Va* – объем аликвоты извлечения, взятый для титрования, мл;

*B* – влажность сырья, %.

Расчет антиоксидантной активности (АОА) проводили по формуле [7]:

$$\text{АОА} = \frac{C(KMnO_4)\times(V_{\text{о.о.}}-V_{\text{к.о.}})\times 8\times 1000}{V_{\text{а}}}, \quad (2)$$

где *C* – нормальная концентрация перманганата калия, моль/л;

*Vo.o.* и *Vк.о.* – объемы титрованного р-ра калия перманганата, израсходованные на титрование в основном и контрольном опытах, мл;

*Va* – объем аликвоты извлечения, взятый для титрования, мл;

8 – молярная масса эквивалента кислорода, г/моль;

1000 – коэффициент пересчета.

В результате анализа установлено, что экстракт на основе ЛПВСК демонстрирует несколько более высокие значения по сравнению с водным экстрактом. Содержание дубильных веществ также несколько выше при использовании ЛПВСК – 3,5%, а в водном экстракте – 3,06%. Максимальная АОА для экстракта на основе ЛПВСК составила 6,4 мг/л, тогда как для водного экстракта – 5,6 мг/л.

На основании кинетических исследований установлено, что максимальные значения содержания дубильных веществ и АОА достигаются через 30 минут экстракции. Дальнейшее увеличение времени экстракции не приводит к значительному росту показателей.

Синтез коллоидных растворов наночастиц серебра осуществляли с использованием растительных экстрактов крапивы двудомной, полученных в течение 30 минут, и водного раствора нитрата серебра при температуре 40-60 °С с контролем pH среды.

Формирование наночастиц серебра (НЧAg) подтверждали изменением окраски раствора и спектроскопией (максимум поглощения в области 420-430 нм) на рисунках 5 и 6, соответствующим поверхностному плазмонному резонансу наночастиц серебра. Установлено, что экстракты крапивы выполняют двойную функцию – восстановления и стабилизации, предотвращая агрегацию наночастиц без использования дополнительных реагентов.

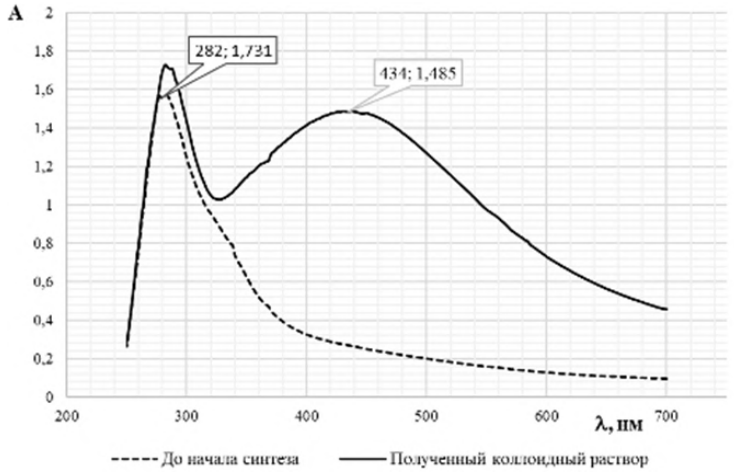



Рисунок 5 – Спектр поглощения ЛПВСК раствора экстракта крапивы с нитратом серебра (2,0 мМ) до начала синтеза и полученного коллоидного раствора

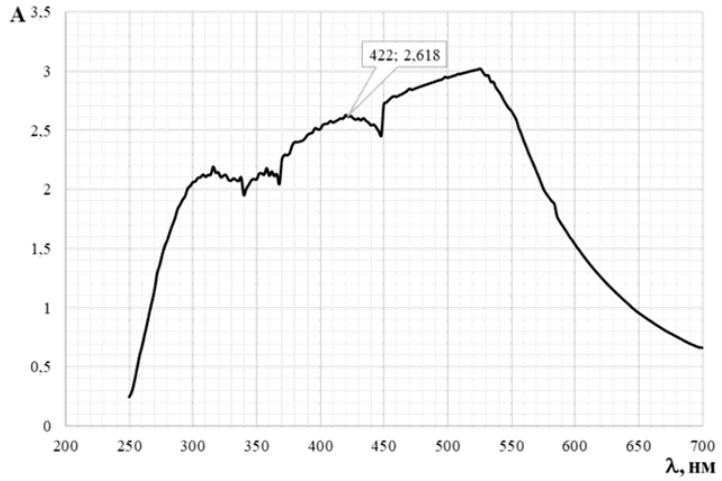



Рисунок 6 – Спектр поглощения полученного коллоидного раствора НЧAg (концентрация нитрата серебра 2,0 мМ) с использованием водного экстракта

Для синтеза наночастиц серебра с использованием водного экстракта *Urtica dioica* применяли ультразвуковую обработку, что позволило осуществить синтез за 20 минут.

Наночастицы серебра, полученные с использованием водного экстракта *Urtica dioica,* характеризуются преимущественно сферической формой и меньшими размерами – 60-65 нм (Рис. 7).

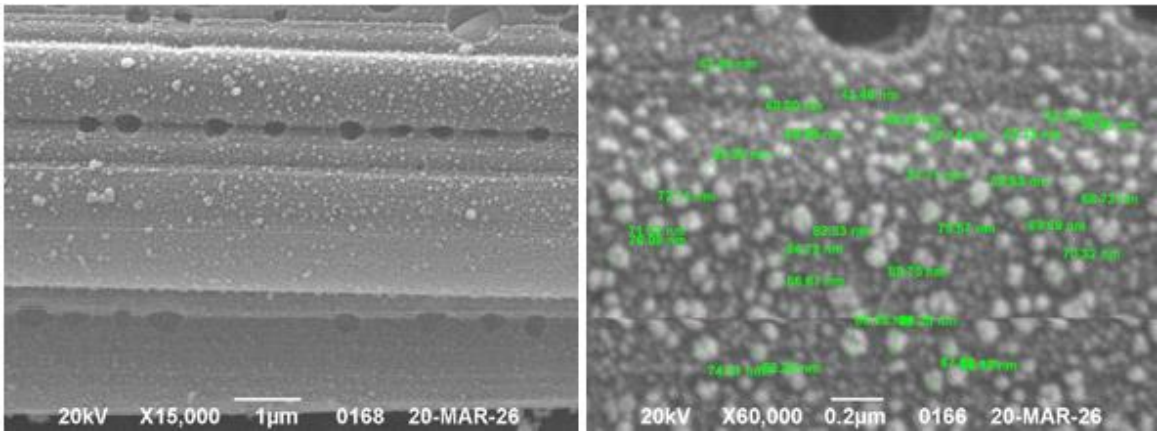



Рисунок 7 – СЭМ изображения НЧAg на основе водного экстракта

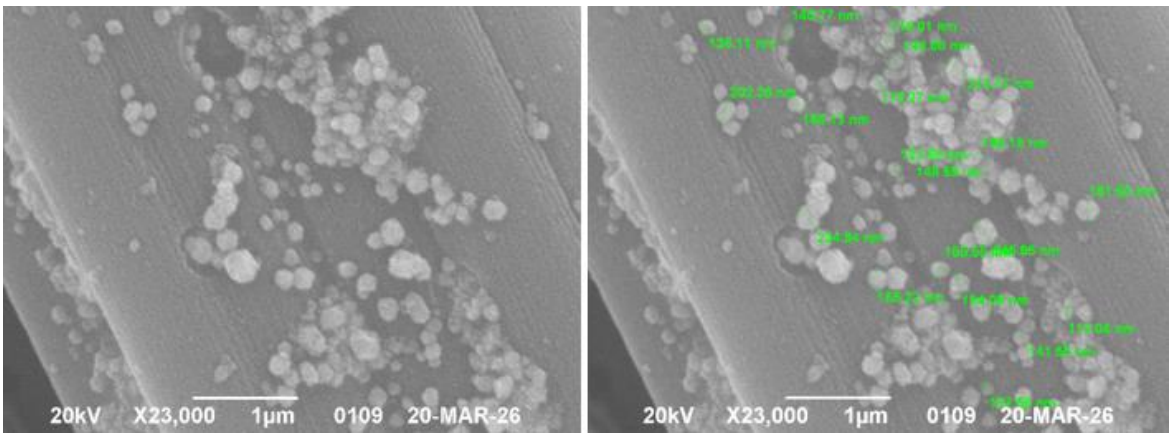



Рисунок 8 – СЭМ изображение НЧAg на основе ЛПВСК экстракта

При использовании ЛПВСК НЧAg имеют анизотропную форму со средним размером частиц – 130-150 нм (Рис. 8).

**Выводы**

Установлено, что применение ЛПВСК позволяет получить экстракт с более высокими показателями: АОА составила 6,4 мг/л, содержание дубильных веществ – 3,5%. Это объясняется тем, что ЛПВСК обладает повышенной растворяющей способностью по отношению к полярным биологически активным соединениям благодаря наличию водородных связей в своей структуре. Полученные коллоидные растворы на основе водного экстракта имеют преимущественно сферическую форму и более маленькие размеры – 60-65 нм. Использование ультразвуковой ванны уменьшает время синтеза в несколько раз. Оптимизация состава экстрагентов позволит увеличить выход целевых веществ и способствовать получению наночастиц меньшего размера в большей концентрации.

Доказано, что оба типа экстрактов выполняют двойную функцию стабилизатора и восстановителя при синтезе наночастиц серебра, формирование которых подтверждено наличием максимума поглощения в области 420–430 нм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Green synthesis of MgO nanoparticles and its antibacterial properties / R. B. Rotti, D. V. Sunitha, R. Manjunath, A. Roy, S. B. Mayegowda, A. P. Gnanaprakash, S. Alghamdi, M. Almehmadi, O. Abdulaziz, M. Allahyani, A. Aljuaiad, A. A. Alsaari, S. S. Ashgar, A. O. Babalghith, A. E. Abd El-Lateef, E. B. Khidir // Frontiers in Chemistry. – 2023. – Vol. 11. – Art. No. 1143614.

2. Chen, Y. Low-melting mixture solvents: extension of deep eutectic solvents and ionic liquids for broadening green solvents and green chemistry / Y. Chen, Z. Yu // Green Chemical Engineering. – 2024. – Vol. 5, No. 4. – P. 409-417.

3. Яцюк, В. Я. Биологически активные вещества крапивы двудомной / В. Я. Яцюк, Г. А. Чалый, О. В. Сошникова // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2006. – № 1. – С. 76-80. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheski-aktivnye-veschestva-krapivy-dvudomnoy (дата обращения: 12.04.2026).

4. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: Applications and Limitations / P. K. Dikshit, J. Kumar, A. K. Das, S. Sadhu, S. Sharma, S. Singh, P. K. Gupta, B. S. Kim // Catalysts. – 2021. – Vol. 11, No. 8. – Art. No. 902.

5. Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant's Natural Extracts: Synthesis Mechanisms and Applications / D. C. Bouttier-Figueroa, M. Cortez-Valadez, M. Flores-Acosta, R. E. Robles-Zepeda // Biotecnia. – 2023. – Vol. 25, No. 3. – P. 125-139.

6. Алборова, Д. Ф. Определение дубильных веществ в желудочно-кишечном сборе из растительного сырья / Д. Ф. Алборова, Т. М. Сидакова // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум – 2017» : [сайт]. – Москва: Академия естествознания, 2017. – URL: https://scienceforum.ru/2017/article/2017039733 (дата обращения: 10.02.2026).

7. Дудина, С. Н. Определение антиоксидантной активности БАД / С. Н. Дудина // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт : сборник трудов Двадцать первой Международной научно-практической конференции, Белгород, 17 июня 2019 г. – Белгород : ООО «ГиК», 2019. – С. 200-201. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39195799 (дата обращения: 10.02.2026).

**REFERENCES**

1. Green synthesis of MgO nanoparticles and its antibacterial properties / R. B. Rotti, D. V. Sunitha, R. Manjunath, A. Roy, S. B. Mayegowda, A. P. Gnanaprakash, S. Alghamdi, M. Almehmadi, O. Abdulaziz, M. Allahyani, A. Aljuaiad, A. A. Alsaari, S. S. Ashgar, A. O. Babalghith, A. E. Abd El-Lateef, E. B. Khidir // Frontiers in Chemistry. – 2023. – Vol. 11. – Art. No. 1143614.

2. Chen, Y. Low-melting mixture solvents: extension of deep eutectic solvents and ionic liquids for broadening green solvents and green chemistry / Y. Chen, Z. Yu // Green Chemical Engineering. – 2024. – Vol. 5, No. 4. – P. 409-417.

3. Yatsyuk, V. Ya. Biologically active substances of stinging nettle / V. Ya. Yatsyuk, G. A. Chaly, O. V. Soshnikova // Russian Medical and Biological Bulletin named after Academician I. P. Pavlov. – 2006. – No. 1. – P. 76-80. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheski-aktivnye-veschestva-krapivy-dvudomnoy (date of access: 12.04.2026).

4. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: Applications and Limitations / P. K. Dikshit, J. Kumar, A. K. Das, S. Sadhu, S. Sharma, S. Singh, P. K. Gupta, B. S. Kim // Catalysts. – 2021. – Vol. 11, No. 8. – Art. No. 902.

5. Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant's Natural Extracts: Synthesis Mechanisms and Applications / D. C. Bouttier-Figueroa, M. Cortez-Valadez, M. Flores-Acosta, R. E. Robles-Zepeda // Biotecnia. – 2023. – Vol. 25, No. 3. – P. 125-139.

6. Alborova, D. F. Determination of tannins in a gastrointestinal collection from plant materials / D. F. Alborova, T. M. Sidakova // Proceedings of the IX International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum – 2017": [website]. – Moscow: Academy of Natural Sciences, 2017. – URL: https://scienceforum.ru/2017/article/2017039733 (date of access: 10.02.2026).

7. Dudina, S. N. Determination of antioxidant activity of dietary supplements / S. N. Dudina // Science and education: domestic and foreign experience: collection of works of the Twenty-first International scientific and practical conference, Belgorod, June 17, 2019. – Belgorod: OOO "GiK", 2019. – P. 200-201. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39195799 (accessed: 10.02.2026).