

АНОТАЦІЯ

Лясковська М. Р. “Зелений” синтез, структурні параметри та адсорбційно-каталітичні властивості кобальт-цинкових феритів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 102 Хімія. – Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Міністерство освіти і науки України, м. Івано-Франківськ, 2025.

Робота виконана на кафедрі хімії та на базі навчально-наукового центру хімічного матеріалознавства та нанотехнологій, Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню кобальт-цинкових феритів, синтезованих із використанням підходу «зеленої» хімії. У роботі досліджено вплив типів природних рослинних екстрактів (Гінкго білоби (*Ginkgo Biloba*), винограду, фізалісу) як відновників і стабілізаторів на структурні характеристики, катіонний розподіл, морфологію поверхні, а також на адсорбційні властивості та каталітичну активність наночастинок феритів. У порівнянні із звичайними хімічними та фізичними методами, «зелений синтез» пропонує багато переваг: простий та легкий виробничий процес, швидкість синтезу, економічна вигода та менше шкідливих відходів. Підібрано нові паливні агенти рослинного походження та вихідні реагенти, для максимально екологічного синтезу магнітокерованих адсорбентів та каталізаторів на основі кобальтового фериту. Вибір рослин для «зеленого» синтезу здійснювався на основі аналізу літературних джерел, а також з урахуванням доступності рослинної сировини, простоти культивування, економічної доцільності та потенціалу подальшого використання синтезованих матеріалів.

У першому розділі представлено огляд літератури з описом методів “зеленого” синтезу шпінельних феритів, вплив вихідних солей металів та рослинних відновників на властивості шпінельних феритів. Описано чинники,

які можуть вплинути на адсорбційну здатність шпінельних феритів. Описано механізми, що відбуваються на поверхні каталізаторів шпінельної структури, які сприяють ефективному видаленню органічних забрудників із водного середовища. Велика увага приділена каталітичному розкладу гідроген пероксиду, який відбувається за Фентон-подібним механізмом. Особливістю, цього механізму є утворення активних радикалів, які сприяють ефективному розкладу шкідливих органічних забрудників.

У другому розділі описано методики приготування рослинних екстрактів та синтезу шпінельних феритів. Детально описано методи аналізу структури та морфології синтезованих матеріалів, такі як X-променевий аналіз, ІЧ-спектроскопія, спектроскопія Мессбауера, скануюча електронна мікроскопія, енергодисперсійна спектроскопія, аналіз питомої поверхні методом адсорбції/десорбції азоту. Також детально представлено опис методик адсорбційних та каталітичних досліджень. Особливу увагу приділено опису триелектродної системи та застосуванню хроноамперометрії для фіксації змін струму при додаванні гідроген пероксиду з метою оцінки здатності синтезованих каталізаторів до генерації активних радикалів, відповідальних за руйнування молекул барвника.

У третьому розділі описано “зелений” синтез наночастинок фериту кобальту з двох типів кобальтвмісних солей з використанням екстракту *Cydonia oblonga* та досліджено вплив вихідних реагентів на структуру, катіонний розподіл та морфологію синтезованих зразків. Встановлено, що розмір кристалітів для обох зразків складає приблизно 8 нм. Показано, що довжина тетраедричних зв'язків М–О менша, ніж октаедричних, тому значення силових констант K_T більші, ніж констант K_O . Скануюча електронна мікроскопія підтвердила більшу пористість фериту, синтезованого із використанням кобальт(II) ацетату.

У четвертому розділі описано синтез кобальт-цинкових феритів складу $Zn_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ ($0 \leq x \leq 1$ з кроком 0,2) з використанням екстракту листя *Ginkgo Biloba*. Досліджено морфологію, структуру, пороховано кристалохімічні

параметри, розмір кристалітів та катіонний розподіл, досліджено адсорбційну здатність синтезованих зразків на прикладі модельного забрудника – барвника Конго червоного. Встановлено, що розмір кристалітів, аніонний параметр, об'єм елементарної комірки зростає зі збільшенням вмісту іонів Zn(II). Показано, що зразок $\text{Co}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ продемонстрував значне зростання адсорбційної активності, що зумовлено особливостями катіонного розподілу в його структурі. Запропоновано механізм адсорбції на активних центрах, який узгоджується з моделлю Фрейндліха, що свідчить про гетерогенний характер поверхні адсорбенту. Адсорбція барвника Конго червоного відбувається за донорно-акцепторним механізмом на позитивно заряджених активних центрах – іонах Fe^{3+} , локалізованих в тетраедричних позиціях шпінельної структури.

У п'ятому розділі дисертації описано синтез кобальт-цинкових феритів з використанням екстракту виноградних шкірок. Досліджено структуру, розподіл катіонів, морфологію та заряд поверхні синтезованих зразків. Встановлено, що зі збільшенням вмісту Zn(II) покращується адсорбційна здатність аніонних забрудників, що пов'язано зі зростанням заряду поверхні при легуванні іонами цинку(II). Досліджено каталітичну активність синтезованих зразків на прикладі каталітичного розкладу гідроген пероксиду з метою руйнування молекул барвника Конго червоного. Для електрохімічного визначення каталітичної активності в середовищі барвника було сформовано триелектродну систему. Встановлено закономірність збільшення амплітуди стрибка струму при послідовному пропусканні струму та фіксованому додаванні гідроген пероксиду до розчину барвника. Виявлено кореляцію між величиною стрибка струму та константою швидкості розкладу H_2O_2 під час каталізу. Досліджено, що найвищу активність продемонстрував зразок із вмістом цинку $x=0,4$, який забезпечує повний розклад гідроген пероксиду протягом 30 хв від початку реакції та характеризується найвищим стрибком струму.

У шостому розділі описано вплив екстракту фізалісу на структуру, морфологію, катіонний розподіл, адсорбційну здатність, каталітичну активність та амперометричні характеристики кобальтового фериту. Синтезовано зразки

фериту кобальту з використанням екстрактів різних частин фізалісу – плодів, лушпиння та їх комбінації (плодів та лушпиння). Аналіз розміру кристалітів за формулою Шеррера та методом Вільямсона-Холла показує, що найменші кристаліти утворюються у зразку $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-F}$, синтезованому з використанням екстракту плодів фізалісу. Це свідчить про те, що використання екстракту плодів, як відновника, уповільнює ріст кристалітів, що призводить до менших розмірів кристалітів. І навпаки, зразок $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-H}$, синтезований з використанням екстракту лушпиння фізалісу, демонструє найбільший розмір кристалітів, що корелює з вищою температурою синтезу, зумовленою дією більш активного відновника. Це у свою чергу впливає на магнітні властивості та ефективність переносу електронів. За даними мессбауерівської спектроскопії зразок $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-F}$ проявляє парамагнітну поведінку за кімнатної температури, на відміну від зразків $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-FH}$ та $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-H}$, які характеризуються феромагнітними властивостями. Виявлено, що пропускання струму корелює з константою швидкості розкладу гідроген пероксиду під час каталізу та зростає в такій послідовності: $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-F} < \text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-FH} < \text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-H}$. Встановлено, що під час золь-гель синтезу поверхня феритів функціоналізується залишками рослинних екстрактів, що робить зразки біосумісними і відкриває перспективи їх подальшого застосування в медицині та біохімії.

У сьомому розділі наведено узагальнену інформацію щодо впливу рослинного екстракту та катіонного заміщення на морфологічні, структурні та адсорбційно-каталітичні властивості синтезованих зразків. Зразки, синтезовані з використанням різних екстрактів, показують утворення CoFe_2O_4 з різним розподілом катіонів. Встановлено, що розподіл іонів цинку між тетраедричними та октаедричними позиціями залежить від використаного рослинного відновника. Також з'ясовано, що ступінь розкладу гідроген пероксиду прямо корелює з розміром кристалітів та обернено – з розміром агломератів. У випадку ж адсорбційної здатності спостерігається зворотній результат: кращу адсорбційну здатність мають зразки з меншим розміром кристалітів та присутністю іонів Co(II) в А-позиціях.

Ключові слова: «зелений» синтез, шпінель, адсорбція, каталізатор, гідроген пероксид, окиснювальна деградація, наночастинки, кобальтовий ферит, формування фериту, кобальт-цинковий ферит, Мессбауерівська спектроскопія, X-променевий аналіз, ІЧ-спектроскопія, очищення води, барвник Конго червоний.

ABSTRACT

Liaskovska M. R. “Green” synthesis, structural parameters and adsorption-catalytic properties of cobalt-zinc ferrites. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 10 Natural Sciences on the specialty 102 Chemistry. Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2025.

The work was performed at the Department of Chemistry and on the basis of the Educational and Scientific Center of Materials Science and Nanotechnologies, Vasyl Stefanyk Carpathian National University.

The dissertation is devoted to the study of cobalt-zinc ferrites synthesized using a “green chemistry” approach. The work investigates the influence of types of natural plant extracts (*Ginkgo Biloba*, grape, physalis) as reducing agents and stabilizers on the structural characteristics, cation distribution, surface morphology, as well as on the adsorption properties and catalytic activity of ferrite nanoparticles.

Compared to traditional chemical and physical methods, "green synthesis" provides many benefits: a simple and easy production process, faster synthesis, cost savings, and less harmful waste. New plant-based fuel agents and precursors were chosen for the environmentally-friendly synthesis of magnetically controlled adsorbents and catalysts based on cobalt ferrite. The selection of plants for "green" synthesis was based on an analysis of scientific literature, as well as considerations of raw material availability, ease of cultivation, cost-effectiveness, and the potential for future use of the synthesized materials.

The first section presents a literature review describing methods for the “green” synthesis of spinel ferrites, the influence of starting metal salts and plant reducing agents on the properties of spinel ferrites. Factors that can affect the adsorption capacity of spinel ferrites were described. Mechanisms occurring on the spinel surface and contributing to the effective removal of organic pollutants from the aqueous environment were described. Special attention was paid to the catalytic decomposition of hydrogen peroxide, which occurs according to the Fenton-like mechanism. A feature of this mechanism is the formation of radicals, which contribute to the effective decomposition of harmful organic pollutants.

The second section describes the methods of plant extract preparation and the synthesis of spinel ferrites. Methods of structure and morphology analysis are described in detail, such as X-ray analysis, IR spectroscopy, Mössbauer spectroscopy, scanning electron microscopy, energy-dispersive spectroscopy, and analysis of specific surface area by the nitrogen adsorption/desorption method. The description of adsorption and catalytic experiments is presented in detail. Particular attention was paid to describing the three-electrode system and using chronoamperometry to record current changes upon the addition of hydrogen peroxide, to assess the ability of the synthesized catalysts to generate radicals responsible for the degradation of dye molecules.

The third section describes the “green” synthesis of cobalt ferrite nanoparticles using two types of cobalt-containing salts and *Cydonia oblonga* extract. The influence of the starting reagents on the structure, cation distribution, and morphology of the synthesized samples was investigated. It was found that the crystallite size for both samples is approximately 8 nm. It is shown that the lengths of tetrahedral M–O bonds are shorter than those of octahedral bonds. Therefore, the force constants K_T are larger than K_O . SEM confirmed the higher porosity of ferrite synthesized using cobalt (II) acetate.

The fourth section describes the synthesis of cobalt-zinc ferrites of the composition $Zn_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ ($0 \leq x \leq 1$ with a step of 0.2) using the extract of *Ginkgo Biloba* leaf. The morphology and structure were studied, and crystallochemical

parameters, crystallite size, and cation distribution were calculated. The adsorption capacity of the synthesized samples was studied using the example of a model pollutant – Congo red dye. It was found that the crystallite size, anionic parameter, and unit cell volume increase with increasing Zn(II) ion content. It is shown that the $\text{Co}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ sample demonstrates a significant increase in adsorption capacity, which is due to the peculiarities of the cation distribution in its structure. An adsorption mechanism has been proposed, which is consistent with the Freundlich model, indicating the heterogeneous nature of the adsorbent surface. The adsorption of Congo red dye occurs by a donor-acceptor mechanism on positively charged active centers of Fe^{3+} ions, localized in tetrahedral positions of the spinel structure.

The fifth chapter of the dissertation describes the synthesis of cobalt-zinc ferrites using grape skin extract. The structure, cation distribution, morphology, and surface charge of the synthesized samples have been studied. It was found that with increasing Zn content, the adsorption capacity of anionic pollutants improves, which is associated with an increase in the surface charge upon doping with zinc (II) ions. The catalytic activity of the synthesized samples was evaluated through the decomposition of hydrogen peroxide, used to generate reactive species responsible for the degradation of Congo red dye molecules. For the electrochemical evaluation of catalytic activity in the dye solution, a three-electrode system was employed. A consistent increase in the current jump amplitude was observed upon sequential current application and controlled addition of hydrogen peroxide to the dye solution. A correlation was found between the magnitude of the current jump and the rate constant of H_2O_2 decomposition during catalysis. It was determined that the highest activity was exhibited by the sample with a zinc content of $x=0.4$, which ensured complete decomposition of hydrogen peroxide within 30 minutes from the start of the reaction and was characterized by the largest current jump.

The sixth section describes the effect of physalis extract on the structure, morphology, cation distribution, adsorption capacity, and catalytic activity of cobalt ferrite. Cobalt ferrite samples were synthesized using extracts of different parts of physalis – fruits, husk, and their combination (fruits and husk). Analysis of crystallite

size using the Scherrer formula and the Williamson-Hall method shows that the smallest crystallites are formed in the $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-F}$ sample synthesized using the extract of physalis fruits. This indicates that the use of the fruit extract as a reducing agent slows down the growth of crystallites, which leads to smaller crystallite sizes. Conversely, the $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-H}$ sample, synthesized using the extract of physalis husk, exhibits the largest crystallite size, which correlates with the higher synthesis temperature due to the action of a more active reducing agent. Crystallite size analysis by both the Scherrer formula and the Williamson-Hall method shows that the smallest crystallites formed in the $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-F}$ sample, synthesized using physalis fruit extract. This indicates that the use of the fruit extract as a reducing agent slows down the crystallite growth, resulting in smaller crystallite sizes. Conversely, the $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-H}$ sample, synthesized using physalis husk extract, exhibits the largest crystallite size, which correlates with the higher synthesis temperature due to the more active reducing agent. This, in turn, affects the magnetic properties and electron transfer efficiency. According to Mössbauer spectroscopy, the $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-F}$ sample is paramagnetic at room temperature, unlike the $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-FH}$ and $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-H}$ samples, which are characterized by ferromagnetic properties. It was found that the current transmission correlates with the rate constant of hydrogen peroxide decomposition during catalysis and increases in the following sequence: $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-F} < \text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-FH} < \text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-H}$. It has been established that, during sol-gel synthesis, the surface of ferrites is functionalized with residues of plant extracts, which makes the samples biocompatible and allows their application in medicine and biochemistry in the future.

The *seventh section* provides generalized information on the influence of plant extract and cation substitution on the morphological, structural, and adsorption-catalytic properties of the synthesized samples. Samples synthesized using different extracts show the formation of CoFe_2O_4 with different cation distributions. It was found that the distribution of zinc ions between tetrahedral and octahedral positions depends on the used plant reducing agent. It was also found that the degree of hydrogen peroxide decomposition directly correlates with the size of crystallites and inversely with the size of agglomerates. In the case of adsorption capacity, the opposite result is observed:

samples with a smaller crystallite size and the presence of Co(II) ions in the A-sites demonstrate the best adsorption capacity.

Keywords: green synthesis, spinel, adsorption, catalyst, hydrogen peroxide, oxidative degradation, nanoparticles, cobalt ferrite, ferrite formation, cobalt-zinc ferrite, Mössbauer spectroscopy, X-ray analysis, IR spectroscopy, water purification, Congo Red dye.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, що індексуються в міжнародних наукометричних базах:

1. Tatarчук Т., **Liaskovska M.**, Kotsyubynsky V., Bououdina M. (2018). Green synthesis of cobalt ferrite nanoparticles using *Cydonia oblonga* extract: structural and Mössbauer studies. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 672(1), 54-66. (**SCOPUS, Web of Science, Q3**) (Здобувач провела аналіз літературних джерел, синтезувала ферити кобальту, взяла участь в аналізі та обговоренні результатів експериментів, підготувала статтю до друку).

DOI: <https://doi.org/10.1080/15421406.2018.1542107>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85067282295&origin=recordpage>

ISSN: 1542-1406

2. **Liaskovska M.**, Tatarчук Т., Bououdina M., Mironyuk I. (2019). Green Synthesis of Magnetic Spinel Nanoparticles. *Springer Proceedings in Physics*, 222, 389 -398. (**SCOPUS**) (Здобувачем проведено підбір та аналіз літературних джерел, спільно з співавторами підготовано рукопис до друку).

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-17755-3_25.

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85072107511&origin=recordpage>

ISSN: 0930-8989

3. **Liaskovska M.**, Tatarchuk T. (2021). Green synthesis of zinc ferrite. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 719(1), 45–52. (**SCOPUS, Web of Science, Q4**)
(Здобувач провела аналіз літературних наукових джерел, синтез фериту цинку, адсорбційні дослідження та обробку одержаних результатів експериментів, взяла участь у підготовці статті до друку).
DOI: <https://doi.org/10.1080/15421406.2020.1862459>
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85112726742&origin=recordpage>
ISSN: 1542-1406
4. **Liaskovska M.**, Tatarchuk T., Kotsyubynsky V., Ersteniuk H. (2021). Zn-doped CoFe₂O₄ Nanoparticles Synthesized Using Ginkgo Biloba Extract: Cation Distribution, Mossbauer Studies and Application for Water Treatment. *Physics and Chemistry of Solid State*, 22(4), 792-803. (**SCOPUS, Web of Science, Q4**)
(Здобувач здійснила аналіз літературних джерел, провела синтез феритних зразків, виконала адсорбційні дослідження, брала участь в обробці отриманих експериментальних результатів й підготовці статті до друку).
DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.22.4.792-803>
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85123095767&origin=recordpage>
ISSN: 1729-4428
5. **Liaskovska M.** (2024). Adsorption Properties of Magnetic CoFe₂O₄ Based Spinel Nanoparticles. *Springer Proceedings in Physics*, 253, 171-184. (**SCOPUS, Web of Science**)
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-67519-5_13
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85209820934&origin=recordpage>
ISSN: 0930-8989
6. **Liaskovska M.**, Tatarchuk T., Kotsyubynsky V. (2025). Green Synthesis of Cobalt–Zinc Ferrites and Their Activity in Dye Elimination via Adsorption and

Catalytic Wet Peroxide Oxidation. *Metals*, 15(1), 44. (**SCOPUS, Web of Science, Q2**) (Здобувач здійснила аналіз літературних джерел, провела синтез феритних зразків, виконала адсорбційні, каталітичні та електрохімічні дослідження, брала участь в обробці отриманих експериментальних результатів й підготовці статті до друку).

DOI: <https://doi.org/10.3390/met15010044>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85215809363&origin=recordpage>

ISSN 2075-4701

7. **Liaskovska M.**, Tatarchuk T., Kotsyubynsky V. (2025). Structure, adsorption properties and Fenton-like catalytic activity of cobalt ferrite nanoparticles synthesized with Physalis extract. *Physics and Chemistry of Solid State*, 26(2), 216-230. (**SCOPUS, Web of Science, Q3**) (Здобувач здійснила аналіз літературних джерел, провела синтез феритних зразків, виконала структурно-морфологічні, адсорбційні та каталітичні дослідження, брала участь в обробці отриманих експериментальних результатів й підготовці статті до друку).

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.26.2.216-230>

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/105011050607>

ISSN 1729-4428

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації (тези доповідей на конференціях):

1. **Liaskovska M.R.**, Tatarchuk T. R., Kotsyubynsky V.O. (May 21 – 25, 2018). Plant-mediated synthesis of Cobalt ferrite nanoparticles. *International Conference "Electronic processes in organic and inorganic materials" (ICEPOM 11)*, Ivano-Frankivsk (Ukraine). P. 174.
URL: https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/05/icepom-11_abstract-book-final.pdf
2. **Liaskovska M.R.**, Tatarchuk T. R. (August 27-30, 2018). Green synthesis and characterization of Zn-doped cobalt ferrites nanoparticles using Ginkgo biloba

leaf extract. *VI International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials "(NANO-2018)*, Kyiv (Ukraine). P.90

URL: <https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/05/nano-2018.pdf>

3. Лясковська М.Р., Татарчук Т.Р. (24-25 жовтня, 2019). Методи синтезу наночастинок $ZnFe_2O_4$ для екологічних та біомедичних застосувань. *Науково-практична конференція з міжнародною участю «Бабенківські читання»*, Івано-Франківськ (Україна). С.-71

URL: <https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/05/babenkivski-chytannia-2019.pdf>

4. **Liaskovska M.R.**, Tatarchuk T. R., Mironyuk I.F. (August 27 – 30, 2019). Adsorption properties of green synthesized cobalt-zinc ferrites. *VII International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials " (NANO-2019)*, Lviv (Ukraine). P. 349

URL: <https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/05/nano-2019.pdf>

5. **Liaskovska M.**, Tatarchuk T. (June 1 – 5, 2020). Green synthesis and adsorption properties of cobalt ferrites *International Conference "Electronic processes in organic and inorganic materials" (ICEPOM 12)*, Kamianets-Podilskyi (Ukraine). P . 295

URL: https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/05/icepom-12_abstract-book-final-2.pdf

6. **Liaskovska M.R.**, Tatarchuk T. R. (August 16 – 19, 2023). Green synthesized of cobalt ferrites using different types of plant extracts. *International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials "(NANO-2023)*, Bukovel (Ukraine). P.139

URL: <https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/05/nano2023-2.pdf>

7. **Liaskovska M.R.**, Tatarchuk T. R. (August 21 – 24, 2024). Green synthesis and characterization of Zn-Co ferrite nanoparticles. *The international research and*

practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO-2024),
Uzhhorod (Ukraine). P. 350

URL: <https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/05/nano-2024-2.pdf>

8. **Liaskovska M.** (9 квітня, 2025). The effect of phyto-reductant on the structure, morphology and adsorption-catalytic properties of cobalt ferrite. *IX Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи»*, Житомир (Україна). матеріали конференції. С. 60

URL: <http://eprints.zu.edu.ua/43582/1/1.pdf>