

## АНОТАЦІЯ

*Данилюк Н.В.* Каталітична активність оксидів Феруму та Титану (IV) в очищенні води під впливом гідроген пероксиду – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

Дисертаційна робота присвячена дослідженню каталітичних властивостей оксидів Феруму та Титану (IV) під впливом гідроген пероксиду. У роботі досліджено структурно-морфологічні та каталітичні властивості гетерогенних Фентон-подібних каталізаторів ( $\text{Fe}_{3-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) та фотокаталізаторів ( $\text{TiO}_2(\text{P25})$ ,  $\text{TiO}_2(\text{рутил})$ ,  $\text{TiO}_2(\text{анатаз+рутил})$ ,  $\text{TiO}_2/\text{AgI}$ ,  $(\text{Ti,Fe})\text{O}_2$ ) в присутності/відсутності гідроген пероксиду. Розроблено експрес-методи аналізу швидкості фотокаталітичної деградації барвників за допомогою смартфона та цифрового люксметра. Експериментально визначено константи швидкості реакції розкладу органічних забруднень. Досліджено вплив різних параметрів (концентрація каталізатора, концентрація  $\text{H}_2\text{O}_2$ , електромагнітний нагрів, УФ- та видиме випромінювання) на швидкість і якість очищення води. Визначено оптимальні умови фотокаталітичної деградації органічних барвників на фотокаталізаторах  $\text{TiO}_2(\text{P25})$ , рутильній модифікації  $\text{TiO}_2$ , жовтому  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{AgI}$  та  $(\text{Ti,Fe})\text{O}_2$ .

У першому розділі представлений літературний огляд, що описує застосування процесів поглибленого окиснення для каталітичного очищення води. Описано основні механізми активації  $\text{H}_2\text{O}_2$  в присутності гетерогенних Фентон-подібних каталізаторів, які генерують високоактивні гідроксильні радикали, що сприяє ефективному руйнуванню органічних забруднень. Значна увага приділяється оксидам титану (IV), як активним фотокаталізаторам, ефективність яких можна значно посилити за рахунок додавання невеликої кількості  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Пероксид водню діє, як акцептор електронів. В результаті

взаємодії  $\text{H}_2\text{O}_2$  та  $\text{TiO}_2$  утворюються високоактивні гідроксильні радикали, що сприяють ефективному розкладу органічних барвників. Детально описано проточні реактори, які забезпечують високу ефективність очищення води та можливість масштабування розробленої технології для промислового застосування. Проточні реактори проявляють високу продуктивність очищення води завдяки безперервності процесу та ефективному використанні реагентів і каталізаторів. Також детально описано спроби створення мікрофотореакторів періодичної дії для вимірювання швидкості фотокаталітичних реакцій у реальному часі. Мікрофотореактори мають декілька важливих переваг таких, як невелика доза фотокаталізатора, висока світлопроникність та рівномірний розподіл світла по всьому об'ємі реактора.

У другому розділі описано методи синтезу та підготовки гетерогенних Фентон-подібних каталізаторів. Детально описано фізико-хімічні методи аналізу оксидних матеріалів, такі як X-променевиий дифракційний аналіз, скануюча електронна мікроскопія, ІЧ- та месбауерівська спектроскопія, аналіз питомої поверхні методом адсорбції/десорбції азоту і оптико-емісійна спектроскопія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-OES). Крім того, представлено методи досліджень каталітичних властивостей гетерогенних Фентон-подібних каталізаторів та фотокаталітичних властивостей титаноксидних матеріалів. Особливу увагу приділено опису розроблених експрес-методів реєстрації кінетики фотокаталітичних реакцій в режимі реального часу за допомогою смартфона та цифрового люксметра. Фотокаталітичні властивості титаноксидних матеріалів визначено в мікрофотореакторі періодичної дії. Достовірність дослідження ефективності деградації барвників Конго червоного, Метилоранжу та Direct Red 23 проведено методом спектрофотометрії.

У третьому розділі дисертації описано синтез наночастинок складу  $\text{Fe}_{3-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$ , (де  $x = 0,0; 0,02; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ ) методом співосадження. Структурний аналіз отриманих каталізаторів проведено з використанням методів X-променевого дифракційного аналізу та месбауерівської

спектроскопії. Детально описано каталітичні властивості отриманих зразків під час окиснення окситетрацикліну та інактивації бактерій *Escherichia coli*. На основі отриманих результатів, встановлено взаємозв'язок між розмірами кристалітів та каталітичною активністю синтезованих каталізаторів. Найвищу каталітичну активність проявив зразок  $\text{Fe}_{2,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_4$ , з розміром частинок 18 нм, який повністю розкладає 3 мг/л ОТЦ за 60 хв в присутності 20 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Показано, що ефективність видалення антибіотика окситетрацикліну значно підвищується в присутності електромагнітного поля за рахунок локального нагріву нанометрових частинок магнетиту, що прискорює перенесення електронів на поверхні каталізатора та сприяє утворенню радикалів. Наприкінці розділу наведено результати токсикологічного аналізу очищеної води на рачкоподібних організмах *Daphnia magna* як біоіндикаторах. Збільшення вмісту іонів  $\text{Mn}^{2+}$  у магнетиті, призводить до підвищення ефективності синтезованих каталізаторів та до зниження токсичності очищеної води.

У четвертому розділі дисертації описано закономірності розкладу гідроген пероксиду на гематитовому каталізаторі у проточному режимі. Розроблено методику приготування гранул гематиту для наповнення проточного реактора з нерухомим шаром. Метод полягає у пресуванні порошку гематиту у вигляді таблеток, наступному спіканні при температурі 900 °С протягом 6 годин, подрібненні на фракції гранул з розмірами від 0,2 до 2 мм, і спіканні при температурі 1150 °С протягом 6 годин. Досліджено структурно-морфологічні властивості гематитового каталізатора, використавши такі методи як X-променевиий дифракційний аналіз, ІЧ-спектроскопія та скануюча електронна мікроскопія. Ефективність гематитового каталізатора показано на прикладі процесу розкладу  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Показано, що нерухомий шар гранул гематитового каталізатора діаметром 0,2–2 мм розкладає сталу кількість (2 ммоль) гідроген пероксиду незалежно від його початкової концентрації. Процес розкладу  $\text{H}_2\text{O}_2$  описується кінетичною моделлю реакції першого порядку з константою швидкості 0,0167 хв<sup>-1</sup>. Експериментально визначено енергію активації процесу, яка дорівнює 28,8 кДж/моль. Стабільність каталізатора

підтверджено методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-OES).

У п'ятому розділі дисертації описано вплив гідроген пероксиду на фотокаталітичні властивості оксидів титану (IV) у процесах очищення води від органічних барвників. Представлено розроблені експрес-методи аналізу швидкості фотокаталітичної деградації барвників за допомогою смартфона та люксметра. Оптимізовано процес фотокаталітичного розкладу барвника DR23 шляхом зміни концентрації  $\text{H}_2\text{O}_2$  та P25- $\text{TiO}_2$ . Описано фотокаталітичну активність  $\text{TiO}_2$ , отриманого низькотемпературним методом та методом обернених міцел, під час розкладу барвників Конго червоного, Метилоранжу та Direct Red 23 в присутності  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Встановлено, що додавання  $\text{H}_2\text{O}_2$ , як акцептора електронів, до реакційної суміші підвищує активність фотокаталізаторів завдяки додатковим гідроксильним радикалам, що утворюються за відновним механізмом. Представлено фотокаталітичні властивості жовтого діоксиду титану, який складається з двох фаз: анатазу (46 %) та рутилу (54 %). Підтверджено, що додавання в систему  $\text{H}_2\text{O}_2$  покращує фотоактивність жовтого  $\text{TiO}_2$ , завдяки утворенню додаткових гідроксильних радикалів. Описано фотокаталітичну активність наногетероструктур  $\text{TiO}_2/\text{AgI}$  під дією видимого та УФ-випромінювання. За ефективністю фотодеградації барвників Конго червоного та Метилоранжу досліджувані зразки розташовано в наступному порядку:  $\text{TiO}_2/20\text{AgI} < \text{TiO}_2/30\text{AgI} < \text{TiO}_2/40\text{AgI}$ . Показано, що процеси деструкції барвників описуються кінетичною моделлю першого порядку і для найактивнішого зразка  $\text{TiO}_2/40\text{AgI}$  константи швидкості деградації барвників під впливом УФ-опромінювання дорівнюють  $0,410 \text{ хв}^{-1}$  (для Конго червоного) та  $0,369 \text{ хв}^{-1}$  (для Метилоранжу). Показано вплив гідроген пероксиду на фотокаталітичну активність рутильного  $\text{TiO}_2$ , отриманого термолітичним розкладом титанового аквакомплексного прекурсор, під час фотодеградації Конго червоного. Оптимальними параметрами фотокаталітичної деструкції Конго червоного є  $1,5 \text{ г/л}$  фотокаталізатора рутилу і  $5 \text{ мМ}$   $\text{H}_2\text{O}_2$ , які забезпечують повний розклад барвника, з константою

швидкості реакції  $2,196 \text{ хв}^{-1}$ . Наприкінці розділу описано фотокаталітичні властивості серії Fe-допованих  $\text{TiO}_2$  в присутності гідроген пероксиду. Виявлено, що найвищу ефективність деградації Конго червоного продемонстрував зразок  $2\% \text{Fe-TiO}_2$  (98,1%), а константа швидкості деструкції барвника становила  $0,043 \text{ хв}^{-1}$ . Позитивний вплив невеликої концентрації (2% мас.) іонів Fe(III), пояснюється ефективним розділенням фотогенерованих електронів і дірок. Найвище значення константи швидкості фотодеградації Конго червоного становило  $0,081 \text{ хв}^{-1}$  в присутності 20 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$  та  $2\text{Fe-TiO}_2$  (1,5 г/л).

**Ключові слова:** каталізатор, фотокаталізатор, гідроген пероксид, барвник, антибіотик, очищення води, реактор, Конго червоний, магнетит, гематит, діоксид титану, месбауерівська спектроскопія, X-променевий аналіз, електронна мікроскопія, ІЧ-спектроскопія.

## ABSTRACT

*Danyliuk N.V.* Catalytic activity of Iron and Titanium (IV) oxides in water purification under the influence of hydrogen peroxide. – Qualification scientific work on the rights of manuscript.

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

The dissertation is devoted to the study of the catalytic properties of Iron and Titanium (IV) oxides under the influence of hydrogen peroxide. The structural, morphological and catalytic properties of heterogeneous Fenton-like catalysts ( $\text{Fe}_{3-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) and photocatalysts ( $\text{TiO}_2(\text{P25})$ ,  $\text{TiO}_2(\text{rutile})$ ,  $\text{TiO}_2(\text{anatase+rutile})$ ,  $\text{TiO}_2/\text{AgI}$ ,  $(\text{Ti,Fe})\text{O}_2$ ) were investigated in the presence/absence of hydrogen peroxide. Rapid methods for analysing the rate of photocatalytic degradation of dyes using a smartphone and a digital luxmeter have been developed. The reaction rate constants for the decomposition of organic contaminants were determined through experimental

means. The present study investigates the effect of various parameters (catalyst concentration,  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentration, electromagnetic heating, UV and visible light) on the speed and quality of water purification. The optimum conditions for the photocatalytic degradation of organic dyes on  $\text{TiO}_2(\text{P25})$ , rutile  $\text{TiO}_2$  modification, yellow  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{AgI}$ , and  $(\text{Ti,Fe})\text{O}_2$  photocatalysts were determined.

**The first section** presents a literature review describing the use of advanced oxidation processes for catalytic water treatment. The fundamental mechanisms of  $\text{H}_2\text{O}_2$  activation in the presence of heterogeneous Fenton-like catalysts generating highly active hydroxyl radicals are described, which contributes to the effective destruction of organic pollutants. Significant attention is paid to titanium (IV) oxides as active photocatalysts, the efficiency of which can be significantly enhanced by adding a small amount of  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Hydrogen peroxide acts as an electron acceptor. As a result of the interaction between  $\text{H}_2\text{O}_2$  and  $\text{TiO}_2$ , highly active hydroxyl radicals are formed, which contribute to the effective decomposition of organic dyes. The dissertation describes in detail the flow-through reactors that provide high efficiency of water treatment and the possibility of scaling up the developed technology for industrial applications. Flow-through reactors offer high water treatment performance due to the continuous process and efficient use of reagents and catalysts. There is also a detailed description of attempts to create batch microphotoreactors for measuring the rate of photocatalytic reactions in real time. Micro-photoreactors have several important advantages, such as a low photocatalyst dosage, high light transmittance and uniform light distribution throughout the reactor volume.

**The second section** describes the methods of synthesis and preparation of heterogeneous Fenton-like catalysts. The physico-chemical methods for the analysis of oxide materials are described in detail: X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, infrared spectroscopy and Mössbauer spectroscopy, nitrogen adsorption/desorption specific surface area analysis and inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES). Moreover, the following methods are presented for the study of the catalytic properties of heterogeneous Fenton-like catalysts and the photocatalytic properties of titanium oxide materials. Particular

attention is paid to the description of the developed express methods for recording the kinetics of photocatalytic reactions in real time using a smartphone and a luxmeter. The photocatalytic properties of titanium oxide materials were determined in a batch microphotoreactor. The reliability of the study of the degradation efficiency of Congo red, Methylorange and Direct Red 23 dyes was verified by spectrophotometry.

**The third chapter** of the thesis describes the synthesis of nanoparticles of  $\text{Fe}_{3-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$  composition (where  $x = 0,0; 0,02; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ ) by the co-precipitation method. The structural analysis of the catalysts obtained was carried out using X-ray diffraction analysis and Mössbauer spectroscopy. The catalytic properties of the obtained samples during oxidation of oxytetracycline and inactivation of *Escherichia coli* bacteria are described in detail. Based on the results obtained, the relationship between the size of crystallites and the catalytic activity of the synthesised catalysts was established. The highest catalytic activity was exhibited by the  $\text{Fe}_{2,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_4$  sample with a particle size of 18 nm, which completely decomposed 3 mg/L OTC in 60 min in the presence of 20 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$ . It has been shown that the efficiency of removing the antibiotic oxytetracycline is significantly increased in the presence of an electromagnetic field due to the local heating of nanometre-sized magnetite particles, which accelerates the transfer of electrons on the catalyst surface and promotes the formation of radicals. The effect of Mn(II) ions on the catalytic activity of magnetite in the presence of hydrogen peroxide is demonstrated. At the conclusion of the chapter, the results of a toxicological analysis of the treated water on the crustacean *Daphnia magna* as a bioindicator are presented. Increasing the content of  $\text{Mn}^{2+}$  ions in magnetite leads to an increase in the efficiency of synthesised catalysts and a decrease in the toxicity of purified water.

**The fourth chapter** of the thesis provides a detailed description of the decomposition of hydrogen peroxide on a hematite catalyst in the flow mode. A method for preparing hematite granules for use in a fixed bed flow reactor has been developed. The method involves pressing hematite powder into tablets, then sintering at 900 °C for 6 hours, grinding it into granule fractions with sizes ranging from 0.2 to 2 mm, and sintering at 1150 °C for 6 hours. The structural and morphological

properties of the hematite catalyst were investigated using a range of analytical methods, including X-ray diffraction analysis, infrared spectroscopy and scanning electron microscopy. The effectiveness of the hematite catalyst is demonstrated by the example of the  $\text{H}_2\text{O}_2$  decomposition process. The findings demonstrate that a fixed layer of hematite catalyst granules with a diameter of 0.2-2 mm decomposes a constant amount (2 mmol) of hydrogen peroxide regardless of its initial concentration. The process of  $\text{H}_2\text{O}_2$  decomposition is described by a first-order kinetic reaction model with a rate constant of  $0.0167 \text{ min}^{-1}$ . The activation energy of the process was experimentally determined to be 28.8 kJ/mol. The validity of the hypothesis concerning the stability of the catalyst was confirmed by means of inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES).

**The fifth chapter** of the thesis provides a detailed discussion of the impact of hydrogen peroxide on the photocatalytic properties of titanium(IV) oxides in the processes of water purification from organic dyes. The developed express methods for analysing the rate of photocatalytic degradation of dyes using a smartphone and a luxmeter. The process of photocatalytic decomposition of DR23 dye was optimised by altering the concentrations of  $\text{H}_2\text{O}_2$  and P25- $\text{TiO}_2$ . The photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2$  obtained by the low temperature and reverse micelle methods during the decomposition of Congo red, Methyl orange, and Direct Red 23 dyes in the presence of  $\text{H}_2\text{O}_2$  is described. It has been found that the addition of  $\text{H}_2\text{O}_2$  as an electron acceptor to the reaction mixture increases the activity of photocatalysts due to additional hydroxyl radicals formed by the reductive mechanism. The photocatalytic properties of yellow titanium dioxide consisting of two phases, anatase (46%) and rutile (54%), are presented. It has been confirmed that the addition of  $\text{H}_2\text{O}_2$  to the system improves the photoactivity of yellow  $\text{TiO}_2$  due to the formation of additional hydroxyl radicals. The photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2/\text{AgI}$  nanostructures under both visible and UV radiation is described in this study. According to the efficiency of photodegradation of Congo red and Methyl orange dyes, the samples under study are arranged in the following order:  $\text{TiO}_2/20\text{AgI} < \text{TiO}_2/30\text{AgI} < \text{TiO}_2/40\text{AgI}$ . It is shown that the dye degradation processes are described by a first order kinetic model and for the most active

TiO<sub>2</sub>/40AgI sample, the dye degradation rate constants under UV irradiation are 0.410 min<sup>-1</sup> (for Congo red) and 0.369 min<sup>-1</sup> (for Methyl orange). The present study investigates the influence of hydrogen peroxide on the photocatalytic activity of rutile TiO<sub>2</sub>, which is obtained by thermolytic decomposition of a titanium aquacomplex precursor, during the photodegradation of Congo red. The optimal conditions for the photocatalytic degradation of Congo red are as follows: a concentration of 1.5 g/L of rutile photocatalyst and 5 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, which ensure complete decomposition of the dye with a reaction rate constant of 2.196 min<sup>-1</sup>. In conclusion, the photocatalytic properties of a series of Fe-doped TiO<sub>2</sub> in the presence of hydrogen peroxide are described. It was found that the highest degradation efficiency of Congo red was demonstrated by the 2%Fe-TiO<sub>2</sub> sample (98.1%), and the dye degradation rate constant was 0.043 min<sup>-1</sup>. The positive effect of a small concentration (2% wt%) of Fe(III) ions is explained by the effective separation of photogenerated electrons and holes. The highest value of the photodegradation rate constant of Congo red was 0.081 min<sup>-1</sup> in the presence of 20 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and 2Fe-TiO<sub>2</sub> (1.5 g/L).

**Keywords:** catalyst, photocatalyst, hydrogen peroxide, dye, antibiotic, water purification, reactor, Congo red, magnetite, hematite, titanium dioxide, Mössbauer spectroscopy, X-ray analysis, electron microscopy, infrared spectroscopy.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті, що індексуються в міжнародних наукометричних базах:

1. **Danyliuk N.V.,** Lapchuk I.V., Kotsyubynsky V.O., Boychuk V.M., Husak V.V. (2023) Effect of Mn<sup>2+</sup> substitution on catalytic properties of Fe<sub>3-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles synthesized via co-precipitation method. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(4), 748-760. (Scopus; Q3) (*Особистий внесок здобувача: формулювання завдання, проведення синтезу та експериментів, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті*).

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.24.4.748-760>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85181575815&origin=resultlist>

ISSN: 17294428

2. Tatarchuk T.R., Shyichuk A.V., **Danyiuk N.V.**, Lapchuk I.V., Masyk W. (2024) Water disinfection using hydrogen peroxide with fixed bed hematite catalyst – kinetic and activity studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 26592–26605. (Scopus; Q1) (*Особистий внесок здобувача: проведення експерименту, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті*).

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32794-0>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85186861041&origin=resultslst>

ISSN: 09441344

3. **Danyiuk N.V.**, Tatarchuk T.R., Kannan K., Shyichuk A.V. (2021) Optimization of TiO<sub>2</sub>-P25 photocatalyst dose and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration for advanced photooxidation using the smartphone-based colorimetry. *Water Science & Technology*, 84(2), 469–483. (Scopus; Q2) (*Особистий внесок здобувача: формулювання завдання, проведення експерименту, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті*).

DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2021.236>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85111894792&origin=resultslst>

ISSN: 02731223

4. Tatarchuk T.R., **Danyiuk N.V.**, Shyichuk A.V., Masyk W., Naushad Mu. (2021). Photocatalytic degradation of dyes using rutile TiO<sub>2</sub> synthesized by reverse micelle and low temperature methods: real-time monitoring of the degradation kinetics. *Journal of Molecular Liquids*, 342, 117407. (Scopus; Q1) (*Особистий внесок здобувача: проведення фотокаталітичних досліджень, участь в обговоренні та графічному представленні результатів, написання статті*).

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117407>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85114491236&origin=resultslst>

ISSN: 01677322

5. Yaemsunthorn K., Tatarchuk T.R., **Danyiuk N.V.**, Shyichuk A.V., Macyk W. (2023). Yellow TiO<sub>2</sub> from titanium peroxo complexes: verification of the visible light activity and a rational enhancement of its photocatalytic efficiency. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111520. (Scopus; Q1) (Особистий внесок здобувача: проведення фотокаталітичних досліджень, участь в обговоренні та графічному представленні результатів).

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111520>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85178661460&origin=resultlist>

ISSN: 22133437

6. Mironyuk I.F., **Danyiuk N.V.**, Turovska L.V., Mykytyn I.M. (2022). Structural, morphological and photocatalytic properties of TiO<sub>2</sub> obtained by thermolytic decomposition of the [Ti(OH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>·3Cl<sup>-</sup> aquacomplex. *Physics and Chemistry of Solid State*, 23(4), 741-755. (Scopus; Q3) (Особистий внесок здобувача: проведення фотокаталітичних досліджень, участь в обговоренні та графічному представленні результатів, написання статті).

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.23.4.741-755>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85145556730&origin=resultlist>

ISSN: 17294428

7. Mironyuk I.F., **Danyiuk N.V.**, Turovska L.V., Mykytyn I.M., Kotsyubynsky V.O. (2023). Structural, morphological and photocatalytic properties of nanostructured TiO<sub>2</sub>/AgI photocatalyst. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(2), 374-384. (Scopus; Q3) (Особистий внесок здобувача: проведення фотокаталітичних досліджень, участь в обговоренні та графічному представленні результатів, написання статті).

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.24.2.374-384>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85165160028&origin=resultlist>

ISSN: 17294428

8. Mironyuk I.F., **Danyliuk N.V.**, Tatarchuk T.R., Mykytyn I.M., Kotsyubynsky V.O. (2021). Photocatalytic degradation of Congo red dye using Fe-doped TiO<sub>2</sub> nanocatalysts. *Physics and Chemistry of Solid State*, 22(4), 697-710. (Scopus; Q3) *(Особистий внесок здобувача: проведення фотокаталітичних досліджень, участь в обговоренні та графічному представленні результатів, написання статті).*

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.22.4.697-710>

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85134612864&origin=resultslist>

ISSN: 17294428

#### **Фахові видання України (Категорія Б):**

1. **Данилюк Н.В.**, Заторський Р.А., Шийчук А.О., Татарчук Т.Р. (2021) Експрес-метод колориметричного визначення іонів Fe(III) у воді за допомогою смартфона: RGB-аналіз цифрових зображень. *Наукові нотатки*, 72, 18-22. *(Особистий внесок здобувача: формулювання завдання, проведення експерименту, участь в обговоренні та тлумаченні результатів, написання статті).*

DOI: <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2021.72.3>

URL: [https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi\\_notatky/article/view/670](https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/article/view/670)

2. **Данилюк Н.В.** (2023). Фотокаталітична деградація типових антибіотиків. *Наукові нотатки*, 75, 186-192. *(Особистий внесок здобувача: формулювання завдання, написання статті).*

DOI: <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2023.75.31>

URL: [https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi\\_notatky/article/view/1186](https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/article/view/1186)

#### **Патент на корисну модель:**

1. Пат. 152724 (Україна). Спосіб отримання гранульованого каталізатора для дезінфекції води / Татарчук Т.Р., **Данилюк Н.В.**, Шийчук О.В.; заявник Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Данилюк Н.В.; № и 2022 02783, заявл. 04.08.2022; опубл. 05.04.2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1729748/>

### Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. **Данилюк Н.В.**, Лапчук І.В. (2024, 15 травня). Дослідження токсичності води, очищеної в протічному реакторі з нерухомим шаром. *XXV Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні проблеми хімії»*, Київ (Україна). С. 79.

URL: <https://conf.chem.knu.ua/arhiv/tezu/2024/all.pdf>

2. **Данилюк Н.В.**, Лапчук І.В., Шийчук О.В., Татарчук Т.Р. (2024, 1 травня). Дезінфекція води в проточному реакторі із гематитним катализатором. *VIII Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи»*, Житомир (Україна). С. 65.

URL: <http://eprints.zu.edu.ua/39902/1/AZH2024.pdf>

3. **Данилюк Н.В.** (2024, 14-15 березня). Каталітичні властивості наночастинок Mn-заміщеного магнетиту. *I Міжнародна науково-практична інтернет-конференція “Towards a Holistic Understanding: Interdisciplinary Approaches to Tackle Global Challenges and Promotion of Innovative Solutions”*, Дніпро (Україна). С. 110.

URL: <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2024/03/Conference-Proceedings-March-14-15-2024.pdf>

4. **Данилюк Н.В.**, Татарчук Т.Р. (2023, 22 листопада). Фотокатализатори на основі біополімерів. *III Всеукраїнська інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі»*, Житомир (Україна). С. 16.

URL: <http://eprints.zu.edu.ua/38332/>

5. **Данилюк Н.В.** (2023, 10 листопада). Методи отримання та застосування наноструктур типу «ядро-оболонка». *VII Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, студентів та аспірантів «Актуальні проблеми розвитку природничих та гуманітарних наук»*, Луцьк (Україна). С. 170.

URL: <https://ra.vnu.edu.ua/rada-molodyh-vchenyh/konferentsiya-molodyh-vchenyh/>

6. **Данилюк Н.В.** (2023, 18-19 травня). Фотокаталітичні властивості наноструктурованого фотокаталізатора  $\text{TiO}_2/\text{AgI}$ . *Шоста міжнародна конференція молодих учених «Харківський природничий форум»*, Харків (Україна). С. 420.

URL: <https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/909ba3b5-ca28-4195-9abc-4892d466753c/content>

7. **Данилюк Н.В.** (2023, 19 квітня). Фотокаталітичне руйнування антибіотиків: останні досягнення та перспективи. *VII Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи»*, Житомир (Україна). С. 51.

URL: [http://eprints.zu.edu.ua/38093/1/azh\\_2023.pdf](http://eprints.zu.edu.ua/38093/1/azh_2023.pdf)

8. **Данилюк Н.В.,** Миронюк І.Ф. (2023, 24-26 квітня). Фотокаталітичні властивості  $\text{TiO}_2$ , отриманого термолітичним розкладом аквакомплексу  $[\text{Ti}(\text{OH}_2)_6]^{3+} \cdot 3\text{Cl}^-$ . *XV Всеукраїнська наукова конференція студентів та аспірантів «Хімічні Каразінські читання – 2023»*, Харків (Україна). С. 177.

URL: [http://chemistry.univer.kharkov.ua/files/-2023\\_abstracts++.pdf](http://chemistry.univer.kharkov.ua/files/-2023_abstracts++.pdf)

9. **Данилюк Н.В.,** Татарчук Т.Р. (2023, 22 лютого). Аналіз кінетики фотодеградації барвників на комерційних зразках діоксиду титану з використанням смартфона. *Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми науки, освіти і суспільства: досвід та перспективи»*, Дрогобич (Україна). С. 58.

URL: [https://drive.google.com/uc?export=download&confirm=no\\_antivirus&id=1uxGBLP4Q3YZ7\\_VX8ai9a4JjLLIgE-bFe](https://drive.google.com/uc?export=download&confirm=no_antivirus&id=1uxGBLP4Q3YZ7_VX8ai9a4JjLLIgE-bFe)

10. **Данилюк Н.В.,** Татарчук Т.Р. (2022, 23 листопада). Фотокаталітичне отримання водню. *II Інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі»*, Житомир (Україна). С. 17.

URL: <http://eprints.zu.edu.ua/34718/>

11. **Данилюк Н.В.,** Татарчук Т.Р. (2021, 19-21 травня). Оптимальна концентрація  $\text{H}_2\text{O}_2$  для процесів глибокого окиснення на фотокаталізаторі  $\text{TiO}_2$ .

*XXII Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених  
«Сучасні проблеми хімії», Київ (Україна). С. 57.*

URL: <https://conf.chem.knu.ua/arhiv/tezu/2021/all.pdf>