ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор
Прикарпатського національного
університету імені Василя Стефаника
доктор економічних наук, професор
_____ Валентина ЯКУБІВ
"30" 05 2025 р.

ВИТЯГ
з протоколу № 2 від 26 травня 2025 р.
міжкафедрального фахового семінару
Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

ПРИСУТНІ:

- з кафедри хімії:

Андрейчук Оксана Василівна – провідний інженер кафедри хімії – секретар семінару;

Татарчук Тетяна Романівна – кандидат хімічних наук, доцент, гарант ОНП «Хімія» – науковий керівник;

Солтис Любов Михайлівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії – член семінару;

Шийчук Олександр Васильович – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії – член семінару;

Курта Сергій Андрійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії – член семінару;

Микитин Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії – член семінару;

Федорченко Софія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії – член семінару;

Хацевич Ольга Мирославівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії – член семінару;

Данилюк Назарій Володимирович – аспірант IV року навчання;

- з кафедри прикладної фізики і матеріалознавства:

Коцюбинський Володимир Олегович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства – голова семінару;

Бойчук Володимира Михайлівна, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства – член семінару.

З присутніх – 4 доктори наук, 5 кандидатів наук – фахівці за профілем представленої дисертації.

Головуючий на фаховому семінарі – Коцюбинський Володимир Олегович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства.

СЛУХАЛИ:

1. Результати дисертаційної роботи аспірантки Старко Ірини Юріївни, аспірантки IV року навчання очної бюджетної форми навчання за спеціальністю 102 Хімія на тему «Синтез, структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки.

Тему дисертаційної роботи «Синтез та фізико-хімічні властивості магнітокерованих оксидних наноструктур, допованих іонами рідкісноземельних елементів» затверджено на засіданні Вченої ради Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (протокол № 10 від 31.10.2017 року) та уточнено на Вченій раді Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (протокол № 13 від 20.12.2024 року) в наступному вигляді «Синтез, структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів».

Науковим керівником затверджено кандидата хімічних наук, доцента кафедри хімії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника Татарчук Тетяну Романівну.

2. Виступ здобувача (до 20 хв.).

Старко Ірина Юріївна: Добрий день, шановні члени фахового семінару. Дозвольте представити Вам результати дисертаційного дослідження на тему: «Синтез, структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів» (**слайд 1 презентації**).

Мета: синтезувати La- і Gd-вмісні нікель-кобальтові ферити золь-гель методом самозаймання і відновним співосадженням та дослідити вплив іонів La(III) і Gd(III) на структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості наноферитів.

Об'єкти дослідження – La- та Gd-вмісні нікель-кобальтові ферити.

Предмет дослідження – синтез La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів та вплив іонів La(III) та Gd(III) на структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості наноферитів. (**слайд 2 презентації**).

Опис структури шпінельних феритів, їх основні сфери застосування (**слайд 3 презентації**).

В дисертаційній роботі досліджено La-/Gd-вмісні нікель-кобальтові ферити синтезовані методом золь-гель самозаймання та відновного співосадження, а також вплив РЗЕ на структуру, морфологію, поверхню та адсорбційні властивості (**слайд 4 презентації**).

Опис методу синтезу золь-гель самозаймання для La-/Gd-вмісних феритів (**слайди 5-6 презентації**).

Розглянемо вплив La(III) структуру та фізико-хімічні властивості синтезованих феритів (**слайд 7 презентації**).

Результати Х-променевого аналізу La-вмісних феритів (**слайд 8 презентації**).

Опис морфології La-вмісних феритів та результати ІЧ-аналізу (**слайд 9 презентації**).

Адсорбційні властивості La-вмісних Ni-Co феритів: видалення барвника Конго червоного з водного розчину (**слайд 10 презентації**).

Вплив Gd(III) на структуру, морфологію та адсорбційні властивості нікель-кобальтових феритів синтезованих методом золь-гель самозаймання (**слайд 11 презентації**).

Результати Х-променевого аналізу Gd-вмісних феритів (**слайд 12 презентації**).

Вплив іонів гадолінію на морфологію та поверхневий заряд нікель-кобальтових феритів (**слайд 13 презентації**).

Вплив іонів гадолінію на адсорбційні властивості Ni-Co феритів (**слайди 14-15 презентації**).

Друга частина дисертаційної роботи присвячена адсорбційним властивостям La-/Gd-вмісних феритів синтезованих методом відновного співосадження (**слайд 16 презентації**).

Опис методу синтезу феритів методом відновного співосадження (**слайд 17 презентації**).

Вплив іонів La(III) на структурні параметри та морфологію нікель-кобальтових феритів (**слайди 18-20 презентації**).

Вплив іонів лантану на адсорбційні властивості Ni-Co феритів в процесі адсорбції барвника Конго червоного (**слайди 21-23 презентації**).

Вплив іонів лантану на адсорбційні властивості Ni-Co феритів в процесі адсорбції антибіотика окситетрацикліну (**слайди 24-25 презентації**).

Вплив іонів Gd(III) на структурні параметри, морфологію та поверхневий заряд нікель-кобальтових феритів (**слайди 26-28 презентації**).

Вплив іонів гадолінію на адсорбційні властивості Ni-Co феритів в процесі адсорбції барвника Конго червоного (**слайди 29-30 презентації**).

Вплив іонів гадолінію на адсорбційні властивості Ni-Co феритів в процесі адсорбції антибіотика окситетрацикліну (**слайди 31-32 презентації**).

Механізм і фактори, що впливають на адсорбцію Конго червоного і окситетрацикліну (**слайд 33 презентації**).

Висновки дисертаційної роботи (**слайд 34 презентації**).

Список опублікованих праць за темою дисертації (**слайди 35-36 презентації**).

Дякую за увагу! **(слайд 37 презентації)**.

3. Запитання до аспіранта по темі дисертації ставили:

Шийчук Олександр Васильович – доктор хімічних наук, професор кафедри хімія: Який вплив на магнітні властивості мають введені іони La^{3+} та Gd^{3+}, і як це може позначитися на процесі магнітного розділення після адсорбції?

Старко І.Ю.:

Спостерігалося послаблення магнітних властивостей при введенні іонів La^{3+} або Gd^{3+} у структуру нікель-кобальтового фериту, однак магнітна відповідь залишалася достатньою для ефективного видалення порошків із водних розчинів шляхом магнітного розділення після адсорбційних експериментів.

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: В

результаті дослідження Ви отримали хороші адсорбенти. Чи вивчали Ви стабільність структурно-морфологічних характеристик отриманих феритів під час багаторазового використання у процесах адсорбції.

Старко І.Ю.:

В дисертаційній роботі було досліджено саме вплив іонів рідкісноземельних елементів на адсорбційні властивості, а дослідження циклів багаторазового використання адсорбентів не проводилося. Проте можна припустити, що отримані ферити будуть ефективними адсорбентами з багаторазовим використанням, але зі збільшенням кількості циклів буде зменшуватись ефективність видалення полютанту. Для підтвердження даного припущення потрібно провести додаткові експерименти.

Федорченко Софія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії: Ваша робота має більш наукову цінність, чому Ви вибрали саме La та Gd для модифікації структури феритів у своїх дослідженнях?

Старко І.Ю.:

Однією з причин було те, що Лантан відносять до легких рідкісноземельних елементів, а Гадоліній відносять до важких рідкісноземельних елементів (за класифікацією IUPAC), а також те, що Лантан відноситься до d-елементів, а Гадоліній відноситься до f-елементів, що зіграло вирішальну роль при виборі елементів. Крім того, іони La(III) та Gd(III) мають більший іонний радіус порівняно з іонами Fe(III), які вони частково заміщують у кристалічній ґратці феритів. Це дозволяє цілеспрямовано змінювати кристалічну структуру, зокрема параметри ґратки, що може впливати на поверхневі властивості, а отже – і на адсорбційну здатність. Аналіз літератури показав, що на сьогодні практично не досліджений вплив РЗЕ, зокрема La та Gd, на адсорбційні властивості шпінельних феритів.

Курта Сергій Андрійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії: У роботі Ви використовували полівініловий спирт, яка концентрація була полівінілового спирту у вашій композиції?

Старко І.Ю.:

Концентрація полівінілового спирту становить 2%.

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: Чи є у Вас ідеї стосовно варіантів локалізації, де саме в ґратці, в тетра- чи октаедричній позиції розміщується La? Якщо так, то в якій підґратці він розміщений?

Старко І.Ю.:

З огляду на дані ІЧ-спектроскопії, наведені на Рис. 8б, спостерігається, що смуга поглинання у низькочастотній області для наноферитів зміщується в діапазон 408–416 $см^{-1}$, тоді як високочастотний пік залишається стабільним – близько 584 $см^{-1}$ – для всіх зразків, що містять La. Оскільки зміни спостерігаються переважно у ділянці, характерній для октаедричних вібрацій, можна зробити висновок, що іони La(III) локалізуються саме в октаедричній підґратці шпінельної структури.

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: Які зміни кристалічних параметрів змінилися при внесені іона La(III) у матричну структуру нікель-кобальтового фериту?

Старко І.Ю.:

Збільшення вмісту La викликає незначний зсув основного піку (311) на Х-променевих дифрактограмах в бік менших значень. Наприклад, для зразка із вмістом La 0,025 моль спостерігається зміщення піку в бік менших кутів дифракції, що супроводжується збільшенням значення параметра елементарної комірки та аніонного параметра.

Микитин Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії: На слайді 9 на СЕМ-мікрофотографіях позначено масштаб 10 мкм, але Ви говорите про наночастинки. Поясніть, чи немає тут протиріччя?

Старко І.Ю.:

Дані СЕМ-аналізу вказують на утворення агломерованих частинок, які утворюються за рахунок сили Ван-дер-Ваальса та магнітної взаємодії. Тому з даних СЕМ-мікрофотографій можна розрахувати лише розмір агломератів, а не самих наночастинок.

Микитин Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії: Чи всі результати Вашої роботи відобразились в наукових публікаціях?

Старко І.Ю.:

Так, всі результати дисертаційної роботи опубліковані.

Бойчук Володимира Михайлівна – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: Чому Ви вибрали саме барвник Конго червоний для дослідження адсорбційних характеристик досліджуваними феритами?

Старко І.Ю.:

Важливою характеристикою адсорбційних властивостей феритів є визначення точки нульового заряду. З даних $pH_{ТНЗ}$ було доведено, що поверхня феритів набуває позитивного заряду, а, отже, може адсорбувати аніонні молекули, наприклад, барвник Конго червоний, який використовують в текстильній промисловості.

Бойчук Володимира Михайлівна – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: Деталізуйте особливості синтезу феритів методом відновного співосадження. Чим він відрізняється від вже відомих синтезів?

Старко І.Ю.:

Синтез наноферитів проводився модифікованим методом відновного співосадження з використанням 0,4М розчину натрій боргідриду, який відрізняється від вже відомого гідротермального методу, де використовують спеціальне обладнання – автоклав. Також, за допомогою даного методу синтезу було отримано шпінельні ферити з розвиненою мезопористою структурою.

Бойчук Володимира Михайлівна – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: Які основні переваги та недоліки кожного з використаних методів синтезу Ви могли б виділити?

Старко І.Ю.:

Переваги золь-гель методу самозаймання: недорогий, простий у проведенні експерименту, короткий час обробки за низької температури, низька вартість, стехіометричний контроль, не потребує використання спеціального обладнання.

Недоліки золь-гель методу самозаймання: недостатня чистота кінцевого продукту, низький вихід, виділення великої кількості газів.

Переваги методу відновного співосадження: простий, низька вартість експерименту, отримання гомогенних частинок однорідного розміру, висока чистота кінцевого продукту, можливість масштабування.

Недоліки методу відновного співосадження: неповне осадження, довгий час синтезу, подальша термічна обробка.

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: З даних моделі Дубініна-Радушкевича Ви порахували вільну енергію, яка становить близько 20 кДж/моль, та вказали, що відбувається хемосорбція. З якого значення вільної енергії сорбції починається хемосорбція?

Старко І.Ю.:

Якщо, значення Е менше 8 кДж/моль, можна зробити висновок що відбувається фізична сорбція. Якщо значення вільної енергії більше 16 кДж/моль, то відбувається хемосорбція.

Солтис Любов Михайлівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії: Чи впливає метод синтезу зразків на адсорбційні властивості?

Старко І.Ю.:

Так, впливає. Наприклад, для видалення барвника Конго Червоного зразками синтезованих золь-гель методом, адсорбційна здатність становила 39 мг/г для La-заміщених феритів та 63 мг/г для Gd-заміщених феритів. Для зразків, синтезованих методом відновлення, адсорбційна здатність в рази більша та становить 243 мг/г та 254 мг/г для La- та Gd-вмісних феритів, відповідно.

Хацевич Ольга Мирославівна– кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії: Розкажіть про практичне значення результатів дисертаційної роботи.

Старко І.Ю.:

Запропоновані методи синтезу La- та Gd-вмісних феритів (метод золь-гель самозаймання та метод відновного співосадження) є науковою основою для створення мезопористих магнітних матеріалів з великою площею поверхні та покращеними адсорбційними властивостями. Отримані La- та Gd-вмісні ферити мають перспективу використання як адсорбенти для очистки забрудненої води.

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: Скільки часу проводилось титрування розчином натрій боргідриду при синтезі феритів методом золь гель-самозаймання.

Старко І.Ю.:

Розчин натрій боргідриду додавався до розчину з вмістом солей металів 1 краля в 3 секунди. Загальний час титрування становив 4 год.

Данилюк Назарій Володимирович – аспірант IV року навчання: Чому для синтезу феритів Ви використали кобальт(II) ацетат, а не кобальт(II) нітрат?

Старко І.Ю.:

Одним із підрозділів дисертаційної роботи, було досліджено вплив вихідних солей кобальт(II) нітрату та кобальт(II) ацетату на структуру та морфологію La-вмісного нікель-кобальтового фериту. В результаті дослідження показано, що параметр елементарної комірки та розмір кристалітів виявилися меншими для зразка, синтезованого з кобальту (II) ацетату. Також з даних СЕМ-аналізу показано утворення більших агломератів для зразка, синтезованого з кобальту (II) нітрату. Тому, враховуючи дані Х-променевого дифракційного аналізу, скануючої електронної мікроскопії та ІЧ-аналізу, подальший синтез досліджуваних феритів проводити з використанням кобальт(II) ацетату.

4. Виступи членів семінару (9 осіб):

Шийчук Олександр Васильович – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії: зазначив, що важливим аспектом роботи є актуальність та новизна дослідження, а описаний підхід до вивчення адсорбційних властивостей на ефективність очищення води є оригінальним. Зокрема, детальне дослідження адсорбційних властивостей La- та Gd-вмісних феритів дозволяє підібрати оптимальні умови водоочищення в залежності від концентрації забруднювачів.

Бойчук Володимира Михайлівна – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: звернула особливу увагу на методологію дисертаційної роботи. Зокрема, детально розроблені методи синтезу феритів з розвиненою мезопористою поверхнею, що є актуальнісю дисертаційного дослідження. Також показано, що на адсорбційні властивості отриманих мезопористих матеріалів впливає кількість іону рідкісноземельного елемента, питома площа поверхні, а також площа поверхні мезопор.

Микитин Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії: зазначив, що робота є завершеною та логічно побудованою науковою працею, виконаною автором самостійно та повністю розкриває наукову проблему поставлену перед здобувачем. Вона відповідає вимогам, які ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. На основі проведеного дослідження здобувач робить значний внесок в розвиток нових методів очищення води.

Курта Сергій Андрійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії: звернув увагу на те, що робота написана на високому науковому рівні, містить наукову новизну і висновки, які ґрунтуються на експериментальних даних, отриманих із застосуванням сучасних методів дослідження.

Федорченко Софія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії: наголосила, що робота зрозуміла, виконано багато експериментальних досліджень, проведений детальний аналіз досліджень, а також робота має велике наукове та практичне значення.

Хацевич Ольга Мирославівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії: наголосила, що Іриною Юріївною було вдосконалено метод відновного співосадження для синтезу мезопористих феритів, які мають практичне значення, а саме їх використання, як високоефективних адсорбентів щодо видалення органічних полютантів (барвники, антибіотики) для очищення води.

Солтис Любов Михайлівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії: відзначила, що робота виконана на вискому науковому рівні, про що свідчить велика кількость опублікованих праць – а це 6 статей, які індексуються у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science (квартиль Q1–Q3), 7 тез доповідей на конференціях. Всі ці публікації повністю розкривають отримані результати та значний особистий внесок Ірини Старко.

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства: підкреслив, що дисертаційна робота виконана Старко Іриною відповідає усім вимогам та критеріям які зазначені в положенні про порядок присудження доктора філософії; наголосив на високому, беззаперечному рівні результатів дисертаційного дослідження та високому рівні оприлюднення цих результатів; наголосив, що робота володіє науковою новизною, а також теоретичне та практичне значення результатів цієї роботи є важливими.

5. Виступ наукового керівника кандидат хімічних наук, доцент **Татарчук Тетяни Романівни**, яка відзначила, що Старко Ірина Юріївна є цілеспрямованою, відповідальною, працелюбною дослідницею з глибоким інтересом до обраної наукової тематики. Вона здобула якісну фахову підготовку на бакалаврському та магістерському рівнях у Прикарпатському університеті.

У 2017 році Ірина Юріївна вступила до аспірантури за спеціальністю 102 Хімія. Протягом усього періоду навчання вона демонструвала високий рівень академічної підготовки, сумлінність у виконанні всіх компонентів освітньо-наукової програми, а також системний підхід до наукової роботи.

Вона успішно опанувала загальнонаукові, професійні та мовні компетентності, передбачені програмою підготовки докторів філософії, зокрема набувши практичного досвіду проведення навчальних занять, участі в наукових дослідженнях, презентації результатів роботи.

Впродовж навчання в аспірантурі Ірина Юріївна брала активну участь у науковій роботі кафедри хімії та Навчально-наукового центру хімічного матеріалознавства та нанотехнологій. Її дисертаційне дослідження є складовою частиною низки державних науково-дослідних проєктів, зокрема в рамках тематики, присвяченої створенню наноструктурованих матеріалів для екологічних застосувань.

Результати наукової роботи Ірини Юріївни висвітлені у 19 публікаціях, з них 6 статей опубліковано у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science. Її наукометричні показники включають h-індекс 3 (40 цитувань), що є гідним результатом для здобувача ступеня PhD. Вона брала участь у 7 міжнародних і всеукраїнських конференціях, де представляла результати своєї роботи.

Крім того, слід відзначити професіоналізм Ірини Юріївни як педагога: вона має педагогічний досвід з 2016 року, а нині працює вчителем хімії у Бурштинському ліцеї №3, демонструючи здатність поєднувати наукову і освітню діяльність.

З огляду на викладене, можу з упевненістю стверджувати, що Старко Ірина Юріївна — сформований науковець з високим рівнем професійної підготовки, який володіє сучасними методами хімічних досліджень, здатна до самостійного вирішення складних наукових задач, до формування нових наукових ідей та впровадження їх у практику.

Дякую за увагу!

6. В обговоренні дисертаційної роботи взяли участь: доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Коцюбинський Володимир Олегович; доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Бойчук Володимира Михайлівна; доцент кафедри хімії Солтис Любов Михайлівна; доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії Шийчук Олександр Васильович; доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії Курта Сергій Андрійович; кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Федорченко Софія Володимирівна; кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Хацевич Ольга Мирославівна; кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Микитин Ігор Михайлович.

Заслухавши публічну презентацію наукових результатів дисертації Старко Ірини Юріївни **та обговоривши її на** фаховому семінарі кафедри хімії факультету природничих наук Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, прийнято наступні висновки щодо дисертації «Синтез, структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів».

7. Висновок про перевірку дисертації та наукових публікацій здобувача на виявлення порушення академічної доброчесності (довідка за підписом першого проректора університету додається).

УХВАЛИЛИ:

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Старко Ірини Юріївни на тему «Синтез, структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів»,

поданої на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 102 Хімія

1. Актуальність дисертації.

Останнім часом велику увагу привертають мезопористі складні оксиди, серед яких слід виділити ферити зі шпінельною структурою. Шпінельні ферити широко вивчаються завдяки своїм специфічним структурним, механічним та магнітним властивостям, високій хімічній і термічній стабільності, високій проникності. Через свою високу питому поверхню, стабільну кристалічну структуру такі матеріали є перспективними для використання в адсорбційних процесах, екологічному каталізі, зокрема очищенні води від забруднювачів, включаючи барвники чи залишки фармацевтичних препаратів. Крім того шпінельні ферити виявляють магнітні властивості, що робить ці сполуки зручними до вторинного використання внаслідок здатності до магнітного відділення від реакційного середовища. Разом з тим синтез мезопористих шпінельних феритів класичними методами (темплатним, гідротермальним, та ін.) містить такі недоліки: довготривалість та багатоетапність, що збільшує час отримання зразків; зазвичай передбачає застосування «темплати», яка частково може залишатися в матеріалі після синтезу та потребує додаткового видалення; супроводжується формуванням додаткових фаз при введенні катіонів з великим радіусом (як у випадку введення рідкісноземельного елемента (РЗЕ)), тощо. Саме тому постає завдання запропонувати покращені методи хімічного синтезу, які дозволять контролювати морфологію, скоротять тривалість процесу та дозволять отримати матеріали з розвиненою мезопористою структурою. Варто теж зазначити, що структурні, морфологічні та інші фізико-хімічні властивості шпінельних феритів можуть бути змінені і при використанні різних легуючих домішок. Зокрема, іони рідкісноземельних елементів відіграють тут головну роль. Додавання невеликої кількості домішки іонів РЗЕ в матрицю шпінелі призводить до зменшення розміру кристалітів та збільшення питомої площі поверхні, що матиме значний вплив на адсорбційні властивості таких матеріалів. Проте на сьогодні практично не досліджений вплив РЗЕ, зокрема La та Gd, на адсорбційні та каталітичні властивості шпінельних феритів. Отож, актуальність синтезу мезопористих шпінельних феритів, які міститимуть іони La(III) та Gd(III), обумовлена необхідністю створення нових функціональних матеріалів із контрольованими морфологічними параметрами для використання у адсорбційних та каталітичних процесах з метою очищення забрудненої води від барвників та залишків антибіотиків. Водночас використання нікель-кобальтового фериту, як базового, є доцільним із кількох причин: він має високу намагніченість насичення, що дозволяє використовувати магнітну сепарацію після процесів адсорбції чи каталізу; іони Ni(II) та Co(II) можуть розподілятися між A- та B-позиціями шпінельної ґратки, забезпечуючи іонний обмін та високу провідність; має високу термічну та хімічну стабільність і зберігає структуру в

умовах агресивних середовищ; легко піддається модифікації, що важливо при введенні іонів РЗЕ з метою регулювання його поверхневих та адсорбційних характеристик шляхом ізоморфного заміщення. Тому синтез мезопористих феритів, які містять іони рідкісноземельних елементів, удосконаленими і покращеними методами з метою їх застосування в очищенні води і зумовило актуальність дисертаційного дослідження.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до держбюджетних тем:

„Металоксидні магнітокеровані наноструктури для екологічних та біомедичних застосувань" (0118U000254);

"Інженерія металоксидних каталізаторів з функцією регулювання активності для гідроксорадикальної дезінфекції води" (№ 0121U109476);

„Каталітичний реактор з оптимізованим профілем активності для пероксидно-радикальної дезінфекції води" (№ 0124U000479).

3. Наукова новизна:

- вперше виявлено, що введення іонів La(III) і Gd(III) у структуру шпінельних феритів сприяє значному розвитку мезопор, а також встановлено оптимальну кількість іонів La(III) та Gd(III) в структурі Ni-Co наноферитів для підвищення ефективності адсорбції органічних забруднювачів;
- вперше встановлено кореляцію між текстурними характеристиками Gd-вмісних Ni-Co феритів, синтезованих методом золь-гель самозаймання, та їх адсорбційною ємністю. Встановлено, що адсорбційна ємність зразка x(Gd)=0,025 зросла у 1,5 рази щодо видалення барвника Конго червоного, порівняно із Ni-Co феритом;
- вперше запропоновано модифікований метод відновного співосадження з використанням $NaBH_4$ як відновника для синтезу мезопористих La- та Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів з покращеними адсорбційними властивостями; показано, що оптимальний вміст La чи Gd сприяє збільшенню площі поверхні мезопор у 2–2,4 рази та одночасно створює додаткові активні центри на поверхні феритів;
- вперше встановлено вплив іонів La(III) і Gd(III) на морфологічні та текстурні властивості Ni-Co феритів, синтезованих методом відновного співосадження. Вперше показано, що зі збільшенням вмісту La(III) і Gd(III) розмір кристалітів в Ni-Co феритах зменшується на 65%, а питома поверхня мезопористих зразків зростає на 82% (до 151 $м^2/г$) для La-вмісних та на 67% (до 139 $м^2/г$) для Gd-вмісних зразків;
- встановлено, що введення іонів La(III) сприяє формуванню наностріжневої морфології, зокрема для зразка x(La) = 0,04, який характеризується найбільш розвиненою мезопористою поверхнею та наявністю наностріжнів довжиною від 14 до 144 нм;
- вперше встановлено залежність адсорбційної ефективності La- та Gd-вмісних Ni-Co феритів від їх структурно-морфологічних характеристик, які відіграють вирішальну роль у масопереносі під час адсорбційних/каталітичних процесів.

4. Методи дослідження.

Аспірантка Старко І.Ю. самостійно провела синтез, дослідження структурно-морфологічних параметрів та визначення адсорбційної здатності La-

та Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів. У рамках дисертаційної роботи було використано надійний комплекс методів дослідження: структурно-морфологічні методи (Х-променевий аналіз, скануюча електронна мікроскопія, енерго-дисперсійний аналіз, ІЧ-спектроскопія, визначення питомої поверхні методом адсорбції/десорбції азоту); УФ-видима спектрофотометрія (визначення початкової і залишкової концентрації органічних забруднювачів); методи математичної статистики. Достовірність результатів підтверджена достатнім обсягом експериментів, повторень експериментів та використанням валідованих методів. Наукові положення, висновки та рекомендації сформульовані на основі комплексного підходу до аналізу адсорбційної та каталітичної активності матеріалів, що забезпечило високий рівень обґрунтованості отриманих результатів.

5. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації. Теоретичне та практичне значення результатів дослідження Старко Ірини Юріївни є науковою основою для створення та вдосконалення адсорбентів з використанням La/Gd-вмісних феритів для видалення барвників та антибіотиків для очистки стічних вод. Результати дисертаційного дослідження можуть використовуватись у змісті освітніх компонент «Технології очищення води» та «Магнітокеровані наноматеріали» ОНП 102 Хімія ОР Доктора філософії в ПНУ імені Василя Стефаника. Результати мають важливе значення для проведення майбутніх наукових досліджень.

6. Використання результатів роботи. Результати дослідження апробовані, про що свідчать 7 праць у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій, із яких 3 – міжнародних та 2 – всеукраїнських.

7. Особиста участь автора. Особистий внесок Старко Ірини Юріївни полягає у синтезі досліджуваних зразків феритів методом золь-гель самозаймання та методом відновного співосадження, дослідженні структурних, морфологічних та адсорбційних властивостей La- та Gd-вмісних Ni-Co феритів, написанні статей та підготовці до друку публікацій. Основний обсяг експериментальної роботи, аналіз даних, узагальнення отриманих результатів, пошук і аналіз наукової літератури та формулювання висновків дисертаційної роботи виконані особисто здобувачем. Постановка завдань та обговорення результатів здійснено спільно із науковим керівником к.х.н., доценткою Татарчук Тетяною Романівною.

8. Перелік публікацій за темою дисертації.

За матеріалами дисертації опубліковано 6 статей у міжнародних наукових виданнях, які індексуються наукометричними базами даних SCOPUS, та 7 тез доповідей наукових конференцій. Публікації розкривають основні положення дисертації, які виносяться на захист, висвітлюють елементи наукової новизни отриманих результатів. Публікації відповідають встановленим вимогам, в них визначено наукові задачі, методи їх вирішення й описано отримані наукові результати.

Статті, що індексуються в міжнародних наукометричних базах:

1. Starko I., Tatarchuk T., Bououdina M. (2018). La-doped $Ni_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$ nanoparticles: effect of cobalt precursors on structure and morphology, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 674(1), 110–119. (Scopus; Q3) *(Особистий внесок*

здобувача: проведення синтезу та експериментів, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті).

DOI: 10.1080/15421406.2019.1578517

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85067874571&origin=recordpage

ISSN: 1542-1406

2. Starko, I., Tatarchuk, T., Naushad, M. *et al.* (2024). Enhanced Activity of La-Substituted Nickel–Cobalt Ferrites in Congo Red Dye Removal and Hydrogen Peroxide Decomposition, *Water Air Soil Pollut* 235, 527. (Scopus; Q2) *(Особистий внесок здобувача: проведення синтезу зразків, проведення адсорбційних експериментів, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті).*

DOI: 10.1007/s11270-024-07329-5

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198627237&origin=recordpage

ISSN: 1573-2932

3. Starko, I., Tatarchuk, T., Naushad, M. (2024). The potential of Gd doping as a promising approach for enhancing the adsorption properties of nickel–cobalt ferrites. *Environ Sci Pollut Res.*, 31, 55462–55474 (Scopus; Q1) *(Особистий внесок здобувача: проведення синтезу зразків, проведення адсорбційних експериментів, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті).*

DOI: 10.1007/s11356-024-34809-2

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85203001169&origin=recordpage

ISSN: 1614-7499

4. Tatarchuk T., Starko I. (2025). Mesoporous La-substituted nickel-cobalt ferrites synthesized via reduction method resulting in significantly enhanced adsorption properties, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 13, 115657 (Scopus; Q1) *(Особистий внесок здобувача: проведення синтезу зразків, проведення адсорбційних експериментів, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті).*

DOI: 10.1016/j.jece.2025.115657

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85216547533&origin=recordpage

ISSN: 2213-3437

5. Starko, I., Tatarchuk, T., Sokolowski, K. et al. (2025). Engineering of Mesoporous Gd-substituted Ni-Co Ferrites as Adsorbents for Efficient Elimination of Congo Red Dye and Oxytetracycline, Water Air Soil Pollut. 236, 173. (Scopus; Q2) (Особистий внесок здобувача: проведення синтезу зразків, проведення адсорбційних експериментів, участь в аналізі та обговоренні результатів, написання статті).

DOI: 10.1007/s11270-025-07816-3

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85218448696&origin=recordpage

ISSN: 1573-2932

6. Starko, I. (2025). Purification of polluted water with La- and Gd-doped spinel ferrite nanoparticles: adsorption kinetics and mechanisms, Physics and Chemistry of Solid State, 26(1), 124–131. (Scopus; Q3)

DOI: 10.15330/pcss.26.1.124-131

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-105001713738&origin=recordpage

ISSN: 1729-4428

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Starko I.Y., Tatarchuk T.R. (2018, 27-30 серпня). The influence of La^{3+} doping on the structure and properties of $Ni_{0,5}Co_{0,5}Fe_2O_4$ synthesized by various methods. *6th International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials" NANO2018.* – Київ (Україна), С.260

URL: https://chemcenter.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/154/2025/03/starko-i.y.pdf

2. Юрів В.В., Старко І.Ю., Татарчук Т.Р. (2020, 20-22 травня). Синтез та властивості нікель-кобальтових наноферитів. *XXI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні проблеми хімії»*, Київ (Україна), С.134.

URL: https://conf.chem.knu.ua/arhiv/tezu/2020/all.pdf

3. Старко І.Ю, Данилюк Н.В., Татарчук Т.Р. (2023, 3-7 квітня). Адсорбційні та каталітичні властивості нікель-кобальтових феритів, допованих іонами Gd^{3+}. Звітна наукова конференція викладачів, докторантів, аспірантів університету за 2022рік Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Івано-Франківськ (Україна), С. 63.

URL: https://nauka.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/122/2023/10/2023-tezy-vyk-1.pdf

4. Старко І.Ю., Данилюк Н.В., Татарчук Т.Р. (2022, 23 листопада). Адсорбційні та каталітичні властивості Ni-Co фериту, допованого іонами La^{3+}. *II Інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі»*, Житомир (Україна), С.21

URL: http://eprints.zu.edu.ua/34869/1/6.pdf

5. Старко І.Ю., Татарчук Т.Р., (2023, 24-26 квітня). Синтез, структура та морфологія нікель-кобальтових феритів, допованих іонами гадолінію. *XV Всеукраїнська наукова конференція студентів та аспірантів "Хімічні Каразінські читання – 2023"* . Харків (Україна). С. 48.

URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/53101/1/%D0%9A%D1%83%D1%82_%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%20%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-2023.pdf

6. Старко І., Татарчук Т. (2024, 21-22 листопада). Вплив Gd(III) на структуру, морфологію та адсорбційні властивості Ni-Co феритів. *II-а Міжнародна науково–практична конференція "Актуальні проблеми хімії та хімічної технології"*. Київ (Україна), С. 187.

URL: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/58447bb6-823b-45b0-b814-387831249668/content

7. Старко І.Ю., Татарчук Т.Р. (2024, 20 листопада). Вплив іонів La(III) на адсорбційні властивості Ni-Co феритів: видалення барвника Конго Червоного та антибіотика окситетрацикліну з водних розчинів. *IV Всеукраїнська інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі».* Житомир (Україна), С. 31.

URL: http://eprints.zu.edu.ua/41918/1/1.pdf

9. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати. Виконане дослідження може бути використане при викладанні навчальних курсів для хімічних спеціальностей, зокрема для дисциплін «Магнітокеровані наноматеріали», «Технології очищення води» для здобувачів вищої освіти усіх освітніх рівнів.

10. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані. Практична цінність результатів дослідження полягає у створенні магнітно-активних наноматеріалів на основі модифікованих нікель-кобальтових феритів, здатних ефективно адсорбувати органічні забрудники з водних розчинів. Отримані наносорбенти характеризуються високою питомою поверхнею, а також здатністю до швидкого магнітного розділення, що робить їх придатними для практичного застосування в екотехнологіях очищення води. Результати дослідження можуть бути використані у системах очищення стічних вод текстильних підприємств, де у воді часто присутні аніонні барвники, а також у фармацевтичній та агропромисловій галузях, де виникає потреба у видаленні залишків антибіотиків, таких як окситетрациклін, з технологічної або стічної води. Розроблені матеріали можуть стати основою для створення мобільних або стаціонарних сорбційно-магнітних модулів очищення води, з можливістю їх впровадження у технологічні лінії підприємств, що зазнають екологічного навантаження через викиди органічних забруднювачів.

11. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення.

Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатку. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 189 сторінок, містить 63 рисунки, 31 таблицю, 184 бібліографічних посилань. Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

ВВАЖАТИ:

1. Що дисертаційна робота Старко Ірини Юріївни на тему «Синтез, структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання, що має важливе значення для галузі знань 10 Природничі науки.

2. За темою дисертації опубліковано 6 наукових статей, що індексуються в наукометричній базі Scopus; 7 публікацій в матеріалах наукових конференцій.

3. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 р. (зі змінами) «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

РЕКОМЕНДУВАТИ дисертаційну роботу «Синтез, структурно-морфологічні характеристики та адсорбційні властивості La- і Gd-вмісних нікель-кобальтових феритів», подану Старко Іриною Юріївною на здобуття ступеня доктора філософії, для подання до розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Розглянувши заяви і документи голови СВР, рецензентів і опонентів та встановивши, що подані документи відповідають вимогам до членів разової спеціалізованої вченої ради згідно «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами)), пропонувати Вченій раді Університету призначити наступний склад разової ради:

Голова разової спеціалізованої вченої ради:

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

1. 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,* V. 15, No. 1, P. 44.

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

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85215809363&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=1

ISSN: 2075-4701

Ключові слова: green synthesis, ferrite, spinel, adsorption, catalysis, electrochemical test

2. T. Tatarchuk, A. Shyichuk, Z. Sojka, J. Gryboś, M. Naushad, **V. Kotsyubynsky** et al. (2021). Green synthesis, structure, cations distribution and bonding characteristics of superparamagnetic cobalt-zinc ferrites nanoparticles for Pb(II) adsorption and magnetic hyperthermia applications. Journal of molecular liquids, V. 328, P. 115375.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115375

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85100062395&origin=resultslist&sort=plf-

f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=57

ISSN: 0167-7322

Ключові слова: cobalt-zinc ferrites, spinel, adsorption, lead, magnetic hyperthermia

3. M. Liaskovska, T. Tatarchuk, **V. Kotsyubynsky** et al. (2021). Zn-doped $CoFe_2O_4$ nanoparticles synthesized using ginkgo biloba extract: cation distribution, mossbauer studies and application for water treatment. *Physics and chemistry of solid state,* V. 22, No. 4, P. 792-803.

DOI: http://dx.doi.org/10.15330/pcss.22.4.792-803

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85123095767&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=51

ISSN: 2309-8589

Ключові слова: cobalt ferrite, spinel, green synthesis, adsorption, dye

4. T. Tatarchuk, N. Danyliuk, I. Lapchuk, W. Macyk, A. Shyichuk, R. Kutsyk, **V. Kotsyubynsky**, V. Boichuk. (2022). Oxytetracycline removal and E. Coli inactivation by decomposition of hydrogen peroxide in a continuous fixed bed reactor using heterogeneous catalyst. *Journal of Molecular Liquids,* V. 366, P. 120267.

DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120267

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85137569551&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=28

ISSN: 0167-7322

Ключові слова: fenton oxidation, hematite, hydrogen peroxide, fixed-bed reactor, water disinfection, oxytetracycline

5. T. Tatarchuk, A. Shyichuk, Nazarii Danyliuk, Mu. Naushad, **V. Kotsyubynsky**, V. Boychuk. (2023). Cobalt ferrite as an electromagnetically boosted metal oxide hetero-Fenton catalyst for water treatment. *Chemosphere,* P. 138364.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138364

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85150366397&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=15

ISSN: 0045-6535

Ключові слова: cobalt ferrite, hydrogen peroxide, fenton-like oxidation, electromagnetic heating

Рецензенти:

Шийчук Олександр Васильович – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

1. Lapchuk I., Shyichuk A., Tatarchuk T. (2023). Application of hybrid advanced oxidation and adsorption processes for pharmaceutical wastewater treatment. *The treatment of pharmaceutical wastewater,* P. 247–275. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99160-5.00008-4

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85159432768&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28shyichuk%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=13

ISSN: 9780323991605

Ключові слова: advanced oxidation processes, fenton oxidation, pharmaceutical, adsorption, iron oxide

2.T. Tatarchuk, M. Myslin, I. Lapchuk, A. Shyichuk, A.P. Murthy, R. Gargula, P. Kurzydło, B.F. Bogacz, A.T. Pędziwiatr. (2021). Magnesium-zinc ferrites as magnetic adsorbents for Cr(VI) and Ni(II) ions removal: cation distribution and antistructure modeling. *Chemosphere,* V. 270, P. 129414. (Scopus)

DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129414

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098866131&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28shyichuk%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=25

ISSN: 0045-6535

Ключові слова: adsorption, ferrite, antistructure modeling, active centers

3. T. Tatarchuk, A. Shyichuk, Z. Sojka, J. Gryboś, M. Naushad, V. Kotsyubynsky et al. (2021). Green synthesis, structure, cations distribution and bonding characteristics of superparamagnetic cobalt-zinc ferrites nanoparticles for Pb(II) adsorption and magnetic hyperthermia applications. *Journal of molecular liquids,* V. 328, P. 115375. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115375

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85100062395&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=57

ISSN: 0167-7322

Ключові слова: cobalt-zinc ferrites, spinel, adsorption, lead, magnetic hyperthermia

4. T. Tatarchuk, N. Danyliuk, I. Lapchuk, W. Macyk, A. Shyichuk, R. Kutsyk, V. Kotsyubynsky, V. Boichuk. (2022). Oxytetracycline removal and E. Coli inactivation by decomposition of hydrogen peroxide in a continuous fixed bed reactor using heterogeneous catalyst. *Journal of molecular liquids,* V. 366, P. 120267. (Scopus)

DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120267

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85137569551&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=28

ISSN: 0167-7322

Ключові слова: fenton oxidation, hematite, hydrogen peroxide, fixed-bed reactor, water disinfection, oxytetracycline

5. T. Tatarchuk, A. Shyichuk, N. Danyliuk, Mu. Naushad, V. Kotsyubynsky, V. Boychuk. (2023). Cobalt ferrite as an electromagnetically boosted metal oxide hetero-Fenton catalyst for water treatment. *Chemosphere,* P. 138364. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138364

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85150366397&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=15

ISSN: 0045-6535

Ключові слова: cobalt ferrite, hydrogen peroxide, fenton-like oxidation, electromagnetic heating

Бойчук Володимира Михайлівна – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

1. T. Tatarchuk, A. Shyichuk, Nazarii Danyliuk, Mu. Naushad, V. Kotsyubynsky, **V. Boychuk**. (2023). Cobalt ferrite as an electromagnetically boosted metal oxide hetero-Fenton catalyst for water treatment. *Chemosphere*, P. 138364.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138364

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85150366397&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=15

ISSN: 0045-6535

Ключові слова: cobalt ferrite, hydrogen peroxide, fenton-like oxidation, electromagnetic heating

2. T. Tatarchuk, N. Danyliuk, I. Lapchuk, W. Macyk, A. Shyichuk, R. Kutsyk, V. Kotsyubynsky, **V. Boichuk**. (2022). Oxytetracycline removal and E. Coli inactivation by decomposition of hydrogen peroxide in a continuous fixed bed reactor using heterogeneous catalyst. *Journal of Molecular Liquids*, V. 366, P. 120267.

DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120267

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85137569551&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=AUTH%28kotsyubynsky%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=28

ISSN: 0167-7322

Ключові слова: fenton oxidation, hematite, hydrogen peroxide, fixed-bed reactor, water disinfection, oxytetracycline

3. **V. Boychuk,** V. Kotsyubynsky, K.Bandura, I. Yaremiy, R. Zapukhlyak, S. Fedorchenko. (2021). Self-combustion synthesized $NiFe_2O_4$/reduced graphene oxide composite nanomaterials: effect of chelating agent type on the crystal structure and magnetic properties. *Materials Today: Proceedings*, V. 35, No. 4? P. 542-547.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.026

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85100985947&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE%28Self-combustion+synthesized+NiFe2O4%2Freduced+graphene+oxide+composite+nanomaterials%3A+effect+of+chelating+agent+type%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c

ISSN: 2214-7853

Ключові слова: nickel ferrite; reduced graphene oxide; self-combustion; XRD analysis; Mossbauer spectroscopy

4. **V. M. Boychuk**, R. I. Zapukhlyak, R. G. Abaszade, V. O. Kotsyubynsky, M. A. Hodlevsky, B. I. Rachiy, L. V. Turovska, A. M. Dmytriv, S. V. Fedorchenko. (2022). Solution combustion synthesized $NiFe_2O_4$ / reduced graphene oxide composite nanomaterials: morphology and electrical conductivity. *Physics and chemistry of solid state*, V. 23, No. 4, P. 815–824.

DOI: https://doi.org/10.15330/pcss.23.4.815-824

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85145603527&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE%28Solution+combustion+synthesized+NiFe2O4+%2F+reduced+graphene+oxide+composite+nanomaterials%3A+morphology+and+electrical+conductivity%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c

ISSN: 2309-8589

Ключові слова: nickel ferrite, graphene oxide, composite, mossbauer spectroscopy, electrical conductivity

Офіційні опоненти:

Сухацький Юрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії і технології неорганічних речовин Національного університету «Львівська політехніка».

1. **Sukhatskiy Y. V.**, Shepida M. V., Korniy S. A. (2023). Sonochemical synthesis of $MnFe_2O_4$ spinel nanoparticles. *Materials Science*, V. 59, P. 487-493. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.1007/s11003-024-00802-w

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85191048716&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE%28Sonochemical+synthesis+of+MnFe2O4+spinel+nanoparticles%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c

ISSN: 1573-885X

Ключові слова: sonochemical synthesis, co-precipitation method, ultrasound, nanoparticles, spinel, $MnFe_2O_4$

2. **Sukhatskiy Yu.,** Dmytrenko T., Shepida M., Sozanskyi M., Znak Z. (2024). Degradation of diazine dye Safranin T using potassium persulfate activated by ultrasonic treatment and $MnFe_2O_4$ spinel nanoparticles. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, No. 1, P. 99-108. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.32434/0321-4095-2024-152-1-99-108

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85186984328&origin=recordpage

ISSN: 0321-4095

Ключові слова: advanced oxidation process, catalyst, degradation, diazine dye, $MnFe_2O_4$ spinel nanoparticles, potassium persulfate, safranin T, ultrasound.

3. **Ю. В. Сухацький**, М. Шепіда, М. Созанський, З. О. Знак, Семен Хом'як. (2022). Кінетика окиснювальної деградації метилового оранжевого з використанням процесу "сонопероксат". *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2. С. 64–74. (Категорія «Б»)

DOI: https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2022.262234

URL: https://bulletin-chstu.com.ua/uk/journals/t-22-2-2022/kinetika-okisnyuvalnoyi-degradatsiyi-metilovogo-oranzhevogo-z-vikoristannyam-protsesu-sonoperoksat

ISSN: 2708-6070

Ключові слова: азобарвники, окиснювальна деградація, константа швидкості, ультразвукова кавітація, перйодат, UV/Vis-спектроскопія, ІЧ-спектроскопія

4. **Sukhatskiy, Y.V.,** Shepida, M.V., Holovchuk, M.Y. (2024). Synthesis of nanosized $MgMn_2O_4$ spinel by co-precipitation in the ultrasonic field. *Materials Science,* V.60, P. 205-211. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.1007/s11003-025-00873-3

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-105003182562&origin=recordpage

ISSN: 1573-885X

Ключові слова: synthesis, ultrasonic field, co-precipitation, nanosized spinel, $MgMn_2O_4$, catalyst, activation

Фролова Лілія Анатоліївна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології неорганічних речовин та екології Українського державного університету науки і технології

1. **Фролова Л. А.,** Баскевич О. С. (2024). Дослідження впливу параметрів синтезу на властивості кобальт-нікелевого фериту. *Вісник Херсонського національного технічного університету,* № 1(88), С. 134–139. (Категорія «Б»)

DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.17

URL: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/576

ISSN: 2078-4481

Ключові слова: феритизація, повний факторний експеримент, залишкова намагніченість, коерцитивна сила, константа анізотропії

2. **Frolova L.A.,** Khmelenko O. V. (2021). The study of Co-Ni-Mn ferrites for the catalytic decomposition of 4-nitrophenol. *Catalysis letters,* V. 151. P. 1522-1533. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.1007/s10562-020-03419-1

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092272902&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=sisr&s=AUTH%28frolova%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=9

ISSN: 1572-879X

Ключові слова: 4-nitrophenol, ferrites, photocatalytic oxidation, contact nonequilibrium plasma, precipitation, simplex experimental design

3. **Frolova L.A.**, Baskevich A.S., Sknar I.V., Kushnerov O.I. (2024). Influence of synthesis conditions on the structural and magnetic properties of $CoFe_2O_4$. *Journal of chemistry and technologies*, V. 32, No. 2. P. 456–464. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i2.303152

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198839861&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=sisr&s=AUTH%28frolova%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c

ISSN: 2663-2942

Ключові слова: precipitation, sodium hydroxide, simplex-lattice planning of the experiment, response function.

4. **Frolova L. A.,** Sknar I. V. (2024). Study of the influence of synthesis parameters on the structural and magnetic properties of cobalt ferrite. *Journal of Chemistry and Technologies,* V. 32, No. 1. P. 108-118. (Scopus)

DOI: https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i1.298377

URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85195059016&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=sisr&s=AUTH%28frolova%29&sessionSearchId=65de30d8ea17568f4711cfa925aa7f8c&relpos=2

ISSN: 2663-2942

Ключові слова: cobalt ferrite, plasma chemical synthesis, X-ray phase analysis, experimental planning, saturation magnetization, crystallite size

Результати голосування щодо рекомендації до захисту Старко Ірини Юріївни:

«За» - 10

«Проти» - немає

«Утримались» - немає

Голова фахового семінару
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри
прикладної фізики і матеріалознавства Володимир КОЦЮБИНСЬКИЙ

Секретар фахового семінару
провідний інженер кафедри хімії Оксана АНДРЕЙЧУК

26 травня 2025 р.