

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет імені Івана Франка

## Хімічний факультет



# СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ хімічного факультету

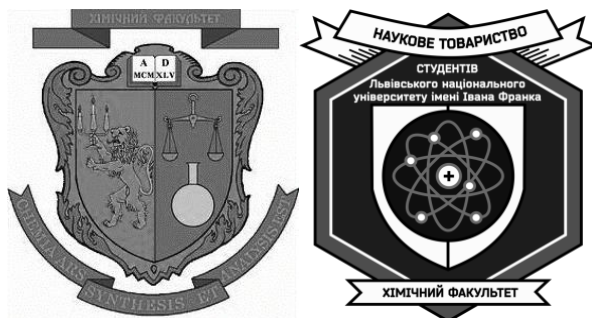
## Тези доповідей



15 травня 2025 року  
Львів

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Хімічний факультет



СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ  
хімічного факультету

Тези доповідей



15 травня 2025 року

Львів

**Рекомендовано до друку**

Радою Наукового товариства університету  
(протокол №10 від 26 травня 2025 р.)

Вченою радою хімічного факультету  
(протокол №44 від 23 червня 2025 р.)

**УДК 543+544+546+547**

Студентська наукова конференція. Пленарне засідання: програма та тези доповідей. Львів, 15 травня 2025 року /Е. Мацько, В. Рибак, Ю. Клапач, М. Гулик, Т. Безрука, В. Савченко, В. Журавель, М. Кіц (ред.). – Львів: Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів ЛНУ імені Івана Франка, 2025. – 52 с.

У збірнику опубліковані тези доповідей учасників пленарного засідання звітної студентської наукової конференції хімічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка 2025 року. Окрім того, збірник містить програми та деякі тези доповідей секційних засідань кафедр хімічного факультету, а саме аналітичної хімії, неорганічної хімії, органічної хімії, фізичної та колоїдної хімії.

**Відповідальні за випуск:**

*Студенти хімічного факультету:* Евеліна Мацько, Вікторія Рибак, Юрій Клапач, Марія Гулик, Тетяна Безрука, Владислав Савченко, Володимир Журавель, Максим Кіц.

**В авторській редакції.**

**КАФЕДРА АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ**

**ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАПАВЕРИНУ ЗА  
ДОПОМОГОЮ ПЛАНАРНОЇ КОМІРКИ З РОБОЧИМ АЛМАЗНИМ  
ЕЛЕКТРОДОМ**

*Боднар Ю.П., Дубенська Л.О.*

*Кафедра аналітичної хімії*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: yuliia.bodnar.khmkh@lnu.edu.ua*

Папаверин – ізохоліновий алкалоїд, який виявляє виражену біологічну активність. Дія папаверину полягає у розслабленні гладкої мускулатури внутрішніх органів. Це дає змогу знижувати спазми під час захворювань шлунково-кишкового тракту, сечовивідної системи.

У зв'язку з активним використанням папаверину у фармакології виникає потреба у його точному, швидкому та доступному визначенні у лікарських препаратах та біологічних зразках. Традиційні методи аналізу, зокрема хроматографія та спектрофотометрія точні, проте потребують складної пробопідготовки та/або дорогого обладнання. Альтернативним підходом є використання електрохімічних методів, зокрема вольтамперометрії.

Метою дослідження було вивчення вольтамперометричної поведінки папаверину із застосуванням планарної комірки з робочим алмазним електродом. Для цього виду електродів характерні хімічна стабільність, широкий діапазон робочих потенціалів, низький фоновий струм, що забезпечує високу чутливість та відтворюваність сигналів.

Папаверин легко окиснюється в широких межах рН на поверхні АДБЕ з утворенням двох піків та відновлюється з утворенням одного піку. Як оптимальне рН для одночасного визначення і за піком відновлення, і за піком окиснення обрали рН = 7.0 Також дослідили тип фонового електроліту (обрали універсальну буферну суміш) та вплив сторонніх речовин, які можуть бути присутніми у реальних об'єктах (аскорбінова кислота, сечова кислота, дофамін, кофеїн, нікотин). Методами диференційної імпульсної та квадратно-хвильової вольтамперометрії отримано лінійні залежності струму від концентрації папаверину у межах 1-20 мкМ та побудовано градувальні графіки. Практичне значення методики підтвердили на модельній суміші лікарських засобів, яка містила анальгін, дибазол та папаверин у співвідношенні (13,6 : 2 : 1), що відповідає реальним таблеткам «АнДиПа» («Анальгін-Дибазол-Папаверин», ТДВ «ІнтерХім»). Попри накладання деяких електрохімічних сигналів, піки папаверину були ідентифіковані з достатньою роздільною здатністю, що демонструє ефективність та селективність розробленої методики.

Отримані результати свідчать про доцільність застосування вольтамперометрії з алмазним електродом для визначення папаверину у фармацевтичному контролі, аналітичному моніторингу та потенційно – у медико-біологічних дослідженнях.

## ВИКОРИСТАННЯ ЗАКАРПАТСЬКОГО КЛИНОПТИЛОЛІТУ ДЛЯ СОРБЦІЇ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ

*Васюхно Е.В., Бугай А.С.*

*Кафедра аналітичної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: evelina.vasiukhno@lnu.edu.ua*

До рідкісноземельних металів належать скандій, ітрій та усі представники лантаноїдного ряду. Останні мають дуже схожі хімічні властивості, що ускладнює їх розділення, але дозволяє об'єднувати в одну хімічну родину. Рідкісноземельні елементи (РЗЕ) відіграють ключову роль у сучасних технологіях: від виробництва постійних магнітів й акумуляторів до створення каталізаторів, дисплеїв та медичного обладнання. З огляду на їхню значущість та геополітичні ризики доступу до ресурсів, питання утилізації, переробки й вилучення РЗЕ із техногенних і природних джерел набуває особливої актуальності.

Пряме визначення слідових кількостей іонів РЗЕ в реальних зразках ускладнюється через наявність речовин зі значно вищими концентраціями, що впливає на точність та достовірність результатів аналізу. Ефективним підходом до розв'язання цієї проблеми є попереднє концентрування РЗЕ з одночасним відділенням від матриці. Це підвищує чутливість визначення на кілька порядків, поліпшує точність, знижує межу виявлення та зменшує матричний вплив. Для досягнення цих цілей доцільним є застосування методу твердофазової екстракції (ТФЕ), суть якого полягає у закріпленні аналіту на твердому сорбенті з подальшою десорбцією невеликим об'ємом розчинника. Серед переваг ТФЕ можна виокремити високі коефіцієнти збагачення та вилучення, швидке розділення фаз, екологічність завдяки мінімальному використанню шкідливих органічних розчинників, можливість комбінування з різними методами аналізу, низьку вартість, легкість автоматизації та зручність у застосуванні.

Закарпатський клиноптилоліт є перспективним сорбентом для вилучення лантаноїдів та інших металів з промислових розчинів та відходів. Завдяки поєднанню унікальних властивостей: великої питомої поверхні, хімічної та фізичної стійкості, можливості багаторазового використання, вибіркової, високої сорбційної ємності та швидкості процесів сорбції/десорбції – він має особливу цінність у методі ТФЕ, що підтверджується результатами досліджень [1].

Науковий керівник: проф. Каличак Я.М.

[1] *Сташків О.Д.* Концентрування та визначення Pr(III), Gd(III), Yb(III) з використанням закарпатського клиноптилоліту: дис. ... д-ра філософії: спец. 102 Хімія. – Львів, 2020. – 144 с.

## ЗАКАРПАТСЬКИЙ КЛИНОПТИЛОЛІТ ЯК НАЙПОШИРЕНІШИЙ ЦЕОЛІТ: УНІКАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Волошин Ю.Я.

Кафедра аналітичної хімії,

Львівський національний університет імені Івана Франка,

вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна

e-mail: yuliia.voloshyn.khmkh@lnu.edu.ua

Цеоліти – кристалічні пористі алюмосилікати з унікальною тривимірною каркасною структурою, що зумовлює їхні іоннообмінні та сорбційні властивості. Найпоширенішим природним представником цієї групи є клиноптилоліт. Його структура сформована з тетраедрів  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  та  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ , з'єднаних спільними атомами кисню в єдиний каркас (Рис.). У порожнинах і каналах каркасу розміщуються катіони лужних і лужноземельних металів (переважно  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), які й забезпечують іоннообмінну здатність.

Завдяки здатності сорбувати слідові кількості токсичних газів, важких металів, радіонуклідів, рідкісноземельних елементів та йонів амонію, природні цеоліти, зокрема клиноптилоліт, використовують для очищення повітря, природних та стічних вод. Висока селективність, значна сорбційна ємність, термостійкість і хімічна стабільність роблять їх універсальними сорбентами.

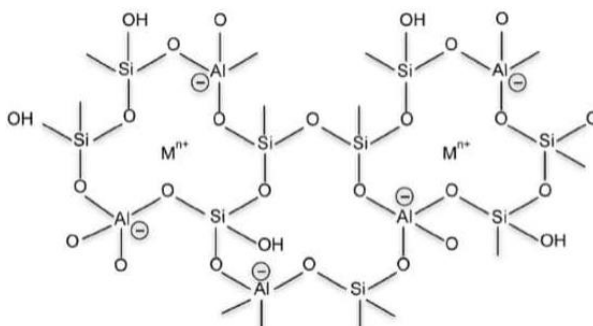


Рис. Двовимірне зображення структури цеоліту

Клиноптилоліт має надзвичайно широку сферу застосування. У медицині він слугує природним детоксикантом, що зв'язує важкі метали та сприяє підтриманню здорової мікрофлори кишківника. У ветеринарії його додають до кормів для зміцнення імунітету тварин. У сільському господарстві клиноптилоліт використовують як ґрунтовий кондиціонер і компонент добрив. В екології – для очищення вод та ґрунтів, а в побуті – як фільтрувальний матеріал, наповнювач для котячих туалетів і засіб для дезодорації. Завдяки своїм унікальним властивостям він є цінним мінералом для медичних, екологічних, сільськогосподарських та промислових потреб.

Науковий керівник: проф. Каличак Я.М.

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ БАРВНИКІВ У ЦУКАТАХ

*Габрей І.І., Дмухайло А.В.*

*Кафедра аналітичної хімії*

*Львівський національний університет імені Івана Франка*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: ivan.habrei@lnu.edu.ua*

Барвники є складовою харчових добавок, використання яких регламентується нормативними документами, зокрема ДСТУ-Н CODEX STAN 192:2014. Закон України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» вимагає зазначення барвників на пакуванні, проте на практиці зустрічаються порушення цієї вимоги.

Проведено аналіз продукції у торгових мережах м. Львова. Виявлено численні випадки недостовірного або неповного маркування: зокрема, на деяких упаковках не вказано назви барвників, відсутні застереження щодо їх шкідливого впливу або застосовано умовні назви, що не відповідають офіційним класифікаторам. Для подальшого дослідження обрали зразок цукатів, на пакуванні яких виробник зазначив, що це кубики із серцевини ананасу різнокольорові.

Ідентифікацію барвників у цукатах провели вольтамперометрично та спектрофотометрично. Встановлено, що у шматочках цукатів жовтого забарвлення міститься тартразин (Е 102), а у шматочках зеленого кольору суміш тартразину та діамантового синього (Е 133). Визначення тартразину у цукатах провели методом вольтамперометрії з лінійною швидкою розгорткою потенціалу з індикаторним електродом на основі твердої амальгами срібла. Вилучали барвник з основи п'ятикратним вимиванням порціями гарячої води (70 °С) до повного знебарвлення шматочків. Вміст барвника визначали способом багатьох добавок. Результати визначення подано в таблиці.

Для порівняння результатів, одержаних незалежно, використали тести Стюдента та Фішера. Порівнювали обчислене для експериментальних результатів  $t_{\text{екс}}$  з табличним значенням  $t_{\text{крит}}$ , значення  $t_{\text{екс}}$  не перевищили критичного значення 2.78 для всіх зразків, що свідчить про відсутність систематичних похибок визначення. Результати F-тесту не перевищили критичного значення 19.25.

Результати визначення вмісту Е 102 у цукатах (P = 0.95, n = 3)

Об'єкт	Методика	Визначено, мг/кг	Критерій Стюдента ( $t_{\text{екс}}$ )	Критерій Фішера ( $F_{\text{екс}}$ )
Цукати (жовті)	ВА	68.6±3.9	1.94	3.41
	СФ	72.6±2.3		
Цукати (зелені)	ВА	66.7±8.2	0.24	9.81
	СФ	66.2±2.6		

## ВИКОРИСТАННЯ ЗАКАРПАТСЬКОГО КЛИНОПТИЛОЛІТУ ДЛЯ СОРБЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

*Гринів Ю.Р.<sup>1</sup>, Василечко В.О.<sup>1,2</sup>*

*Кафедра аналітичної хімії,*

*<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна;*

*<sup>2</sup>Львівський торговельно-економічний університет,*

*вул. Самчука, 9, 79011 Львів, Україна*

*e-mail: yuliia.hryniv@lnu.edu.ua*

Глобальною екологічною проблемою сьогодення є забруднення навколишнього середовища важкими металами, що зумовлено переважно антропогенними чинниками (промислова, гірничодобувна, сільськогосподарська, побутова діяльність тощо) через зростання індустріалізації, урбанізації та використання хімічних сполук у різних галузях.

У стічних водах містяться іони важких металів, зокрема: Cd(II), Cr(III і VI), Cu(II), Pb(II), Mn(II), Ni(II), Hg(II). Вони є токсичними, біологічно не розкладаються, накопичуються в організмі та можуть бути канцерогенними, що загрожує здоров'ю людини та довкіллю. Наприклад, надлишок йонів купруму може призводити до ураження слизових оболонок, печінки й нервової системи. Водночас їх нестача також шкідлива, адже може спричинити остеопороз, бронхіальну астму, алергодерматози тощо. Оптимальне добове надходження становить 2–10 мг. Оскільки цей діапазон є досить вузьким, контроль вмісту цього елемента в харчових продуктах, воді та інших об'єктах навколишнього середовища є надзвичайно важливим.

Залежно від типу сорбенту твердофазова екстракція може забезпечити високу селективність у вилученні йонів важких металів зі стічних вод. Одними із таких ефективних сорбентів є цеоліти, зокрема природний закарпатський клиноптилоліт, що підтверджується відповідними дослідженнями [1]. Окрім високої селективності, цеоліти вирізняються економічністю: після насичення їх можна регенерувати, тобто видалити поглинуті метали за контрольованих умов, і використовувати повторно. Завдяки поєднанню ефективності, селективності та відновлюваності цеоліти відіграють важливу роль в екологічній ремедіації – очищенні вод та ґрунтів від токсичних металів [2].

[1] *Василечко В., Гришук Г., Кедрук Т., Каличак Я.* Концентрування нікелю з використанням закарпатського клиноптилоліту // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. хім. – 2013. – Вип. 54. – Ч. 1. – С. 147–161.

[2] *Hakim M.S., Iqbal R.M., Adany F. et al.* A review on development of porous aluminosilicate-based zeolite adsorbent for heavy metal pollution treatment // JUSAMI – 2024. – Vol. 25. – Iss. 2. – P. 85–99.

## ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ОКСИМУ МЕТАМІЗОЛУ НАТРІЮ НА РКЕ

*Кіц М.О., Ридчук П.В.*  
Кафедра аналітичної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: maksym.kits@lnu.edu.ua

Оскільки основна частина відомих методик вольтамперометричного визначення метамізолу натрію базуються на реакції електрохімічного окиснення, що може дуже ускладнити аналіз реальних об'єктів зі складною матрицею, то ми вирішили вперше запровадити визначення метамізолу натрію в катодній ділянці вольтамперограми. Зважаючи на те, що молекула цієї речовини є електронеактивною, ми вирішили вдатися до введення оксимної групи з використанням гідроксиламіну.

Ми дослідили, що максимальний вихід відповідного оксиму простежується за рН 3. Встановили природу струму катодного піку, оптимальні концентраційний надлишок гідроксиламіну та час взаємодії реагентів, кількість електронів та іонів водню, що беруть участь у електрохімічному процесі. А також ми запропонували теоретичну схему електрохімічного відновлення оксиму метамізолу натрію.

На основі всіх одержаних даних ми розробили методику полярографічного визначення метамізолу натрію після його дериватизації гідроксиламіном. Ця методика є доволі простою та швидкою у виконанні і водночас вона є досить чутливою. Інтервал лінійності отриманого градууювального графіка (рис. 1) є в межах більше одного концентраційного порядку. Ця методика дає можливість визначати мікрокількості метамізолу натрію (LOD = 3,1 мкг/мл).

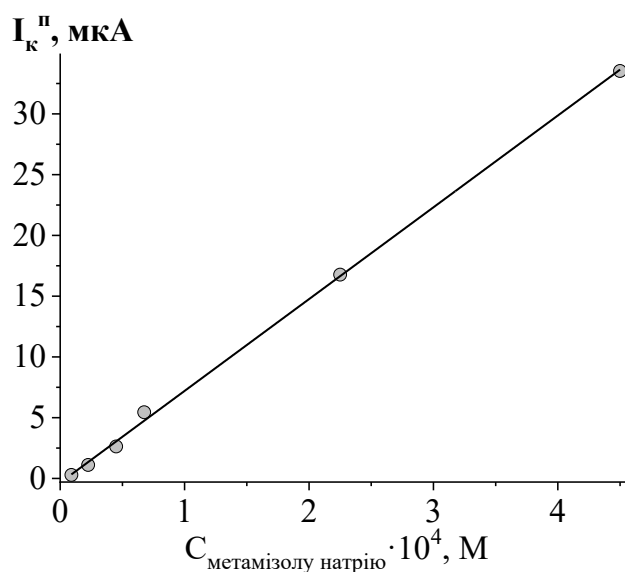


Рис 1. Градууювальний графік полярографічного визначення метамізолу натрію після дериватизації гідроксиламіном ( $C_{\text{гідроксиламіну}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ ,  $\mu = 0,3 \text{ М}$ ,  $\text{pH} = 3,0$ ,  $E_k^n = -0,572 \text{ В}$ ,  $V = 1,0 \text{ В/с}$ )

## ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СИНТЕТИЧНОГО ХАРЧОВОГО БАРВНИКА ДІАМАНТОВОГО ЧОРНОГО (Е 151) З ВИКОРИСТАННЯМ РОБОЧОГО АЛМАЗНОГО ЕЛЕКТРОДА

*Клапач Ю.М., Трухим М.В.*

*Кафедра аналітичної хімії*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: yurii.klapach@lnu.edu.ua*

Колір є одним із найважливіших показників, що характеризують харчові продукти. Певне забарвлення продукту пригнічує або стимулює апетит, дозволяє споживачеві робити висновки про якість продукту, багато в чому визначає вибір і відповідно конкурентоздатність продукту на ринку. Тому в харчовій промисловості здавна застосовують спеціальні добавки – барвники, які “повертають” продуктам звичний колір, який може втрачатися під час різного виду термічної обробки. Найбільше в промисловості використовують синтетичні харчові барвники (СХБ) завдяки їхній великій фарбувальній здатності та більшій стійкості. Однак, існують певні занепокоєння щодо безпечності вживання СХБ людиною.

Для розроблення методики визначення ми обрали синтетичний барвник діамантовий чорний (Е 151) – діазобарвник, який надає продуктам насиченого темно-фіолетового або синьо-фіолетового кольору, його широко використовують у харчовій промисловості. Для розроблення методики використали друковану планарну комірку з робочим алмазним, допованим бором, електродом (АДБЕ). Підібрали оптимальні умови, за яких спостерігаються найчіткіші піки та найбільші струми відновлення та окиснення (рН, фоновий електроліт, спосіб активації АДБЕ), побудували градувальні графіки для вольтамперометричного визначення Е 151 методом циклічної вольтамперометрії (ЦВ), які наведено на рис. 1.

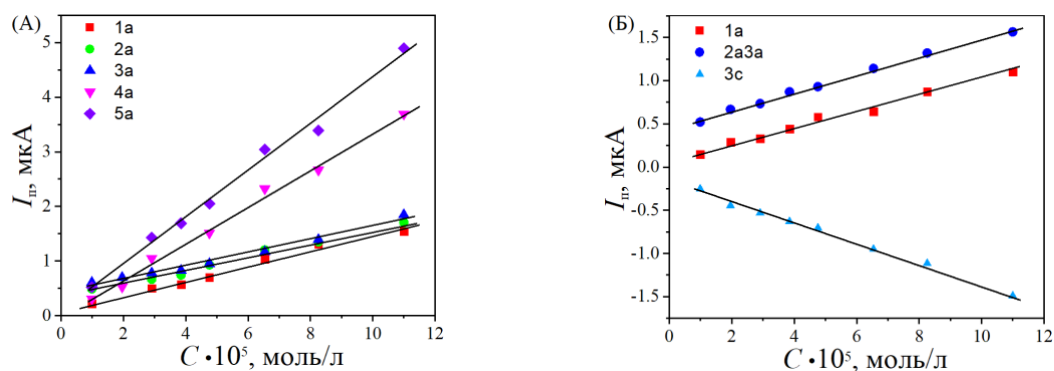


Рис. 1. Градувальні графіки для визначення Е151 методом ЦВ (позначення а стосується анодних піків, с – катодних). Умови: рН 2,6 (А), 6,0 (Б),  $v = 0,1$  В/с.

**АЛМАЗНИЙ ЕЛЕКТРОД, ДОПОВАНИЙ БОРОМ, ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ  
ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ХАРЧОВОГО БАРВНИКА  
ДІАМАНТОВОГО ЧОРНОГО**

*Комарницька В.Ю., Трухим М.В.*

*Кафедра аналітичної хімії*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: viktoriiia.komarnytska.khmkh@lnu.edu.ua*

Алмазний електрод, допований бором (АДБЕ) – один з найсучасніших пристроїв для електрохімії, який все більше набуває популярності для визначення слідових кількостей органічних речовин у різноманітних складних матрицях. Електрод поєднує високу електрохімічну стабільність, широкий інтервал потенціалів та низький фоновий струм, що робить його застосування у вольтамперометрії дуже успішним. Алмазна матриця забезпечує механічну міцність, хімічну інертність та стійкість до агресивних середовищ, а допування бором – електропровідність електрода. Особливістю АДБЕ є можливість багаторазового електрохімічного очищення та активації поверхні, що дає змогу адаптувати електрод під конкретну аналітичну задачу.

У цьому дослідженні АДБЕ ми використали для дослідження електрохімічної поведінки харчового барвника діамантового чорного (E151) у поєднанні з методом циклічної вольтамперометрії. Досліджено вплив рН розчину на потенціали та струми окиснення і відновлення барвника в широкому діапазоні 1–11, яке забезпечували різними фоновими електролітами ( $\text{HClO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ , гліциновий, цитратний, фосфатний, гідрофталатний та Бріттона-Робінсона буферні розчини). На вольтамперограмах спостерігали чимало анодних та катодних піків, кількість яких залежить від рН. Найкращі результати було отримано у буфері Бріттона–Робінсона.

Правильна попередня електрохімічна обробка електроду може бути цінним способом досягнення поліпшених аналітичних властивостей методики. Саме тому ми дослідили різні умови електрохімічної активації АДБЕ, серед яких спосіб накладання напруги поляризації, зміна потенціалу та часу активації. Як фоновий електроліт для активації використовували 0,05 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Найвищі струми та найчіткіші піки на вольтамперограмах отримували після попередньої обробки за умов накладання почергово потенціалу +2 В протягом 120 с і –2 В протягом 120 с. Таку активацію використовували для усіх подальших досліджень.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛИВУ рН НА СОРБЦІЮ ЙОНІВ ЛІТІУ НА ЗАКАРПАТСЬКОМУ КЛИНОПТИЛОЛІТІ

*Курдельчук А.О., Шевчук Л.М.*

*Кафедра аналітичної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: anastasiia.kurdelchuk@lnu.edu.ua*

Літій є ключовим елементом розвитку сучасних технологій: його використовують не лише як хімічне джерело струму, а й у виробництві лазерних матеріалів, ракетного палива та психотропних лікарських засобів. Через стрімке зростання попиту виникає потреба у впровадженні ефективних методів вилучення літію з альтернативних джерел, зокрема природних вод, а також у розробленні способів концентрування, що забезпечать високу вибірковість визначення слідових кількостей цього металу.

Встановлено, що сорбція йонів літію ( $\text{Li}^+$ ) природним закарпатським клиноптилолітом відбувається в слабкокислому, нейтральному та слабколужному середовищах. Максимальна сорбційна ємність спостерігається за рН 6,5 і становить 333 мкг/мл. Отримані результати підтверджують доцільність використання закарпатського клиноптилоліту як доступного й ефективного сорбенту для вилучення літію з водних розчинів, насамперед зі слабкокислих та нейтральних розчинів.

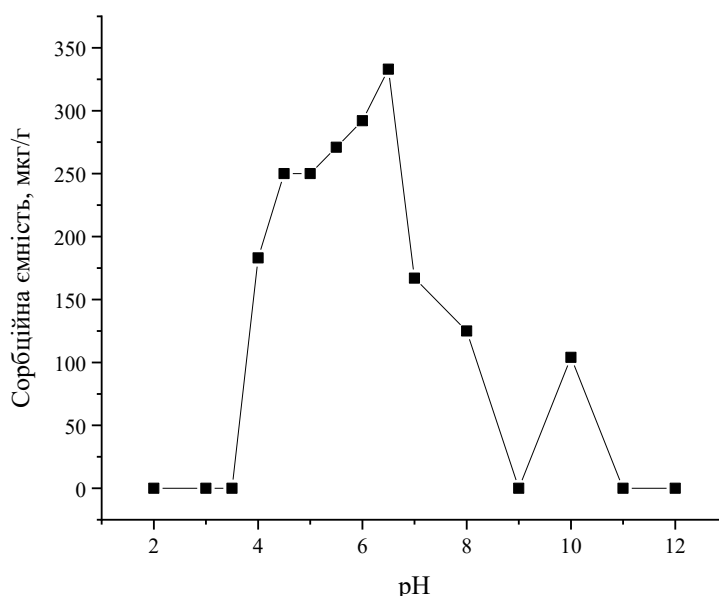


Рис. Залежність сорбційної ємності природного клиноптилоліту від рН розчину солі  $\text{Li(I)}$  ( $C_{\text{Li(I)}} = 0,5$  мкг/г; діаметр зерен клиноптилоліту 0,200–0,315 мм)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГЛЕЦЕВИХ  
ПЛАСТОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ МОДИФІКОВАНИХ ЗАКАРПАТСЬКИМ  
КЛИНОПТИЛОЛІТОМ**

*Макров А.В., Дубенська Л.О.*

*Кафедра аналітичної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: Andrii.makrov@lnu.edu.ua*

Використання різноманітних електродів розширює можливості застосування вольтамперометричного методу аналізу. Тому важливим є створення нових доступних електродів та дослідження їхніх характеристик. В останні роки з'явилася низка публікацій про аналітичне застосування модифікованих цеолітами електродів для визначення неорганічних та органічних сполук.

Досліджувані електроди – це графітова паста з певним вмістом закарпатського клиноптилоліту та силіконової олії, як пластифікатора. Було проведено попередні дослідження електрохімічних властивостей цих електродів.

Площа електрода є однією з головних характеристик, яка входить у рівняння Рендлса-Шевчика. Електрохімічна площа – це площа, яка доступна для окисно-відновних реакцій та може відрізнитися від геометричної, якщо не вся поверхня електрода є електрохімічно активною або доступною. Одним з методів визначення електрохімічної площі поверхні електрода є метод циклічної вольтамперометрії з модельними електроактивними речовинами, які ще називають електрохімічними маркерами чи зондами. Ці речовини так само використовують для вивчення кінетики перенесення електронів для нових електродних матеріалів. Ми використали модельну електрохімічну пару  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ .

Крім того, було побудовано залежності Тафеля для пастових електродів, модифікованих клиноптилолітом, та визначено коефіцієнти перенесення за значенням тангенса кута нахилу залежності Тафеля для електрохімічної пари  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ .

**ВЗАЄМОДІЯ N-[ФЕНІЛ(ПІРИДИН-2ІЛ)МЕТИЛІДЕН]ГІДРОКСИЛАМІНУ З ІОНАМИ КУПРУМУ, КОБАЛЬТУ, ФЕРУМУ ТА РУТЕНІЮ**

*Муравльов Г.О., Максимів Т.В., Васильків О.М., Климко О.П., Тимошук О.С.*

*Кафедра аналітичної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: hlib.muravlov@lnu.edu.ua*

Одержання нових аналітичних форм іонів металів у виглядів їхніх комплексних сполук з органічними реагентами залишається актуальним завданням аналітичної хімії. Для спектрофотометричного визначення іонів кобальту, купруму, феруму та рутенію досліджено новий реагент – N-[феніл(піридин-2іл)метиліден]гідроксиламін (FMON).

Встановлено, що взаємодія іонів феруму та рутенію з органічним реагентом в присутності аскорбінової кислоти супроводжується утворенням комплексної сполуки червоного забарвлення, а з іонами купруму та кобальту утворюються комплекси жовтого забарвлення.

Досліджено вплив кислотності середовища на максимальний вихід забарвлених комплексних сполук. Для феруму максимальний вихід спостерігали за рН 6-7, для купруму за рН 4, для кобальту спостерігали широке плато за рН 3-9, де оптична густина майже не залежить від кислотності середовища. Для іонів рутенію оптимальне значення рН 8,0, а оптична густина різко змінюється зі зміною кислотності середовища.

Експериментально було встановлено, що у всіх досліджуваних системах взаємодія відбувається за стехіометрії іон металу:реагент – 1:2.

Проведено дослідження впливу послідовності змішування розчинів, і встановлено, що зміна послідовності внесення компонентів не впливає на оптичну густина розчинів. Запропоновано використовувати FMON як новий аналітичний реагент

**ВИКОРИСТАННЯ ПЛАНАРНОЇ КОМІРКИ З АЛМАЗНИМ ІНДИКАТОРНИМ  
ЕЛЕКТРОДОМ ДЛЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ  
ПОХІДНИХ 5-НІТРОІМІДАЗОЛУ**

*Салагуб Т.В., Піта Р.І., Плотнікова К.М.*

*Кафедра аналітичної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: tetiana.salahub@lnu.edu.ua*

Похідні 5-нітроїмідазолу (метронідазол, орнідазол і ронідазол) становлять важливий клас протипротозойних засобів, які виявляють високу активність щодо ряду анаеробних одноклітинних мікроорганізмів, таких як амеби, трихомонади, лямблії та ін. Їхнє застосування охоплює як медичну практику, так і ветеринарію, зокрема для лікування інфекцій у тварин різних видів — від великої рогатої худоби до бджіл.

При потраплянні в організм людини, ці похідні, відновлюючись у клітинах анаеробних мікроорганізмів за участі специфічних білків, здатні ушкоджувати ДНК та РНК, що спричиняє загибель клітин організму. Тому дослідження їх електрохімічної поведінки та розробка чутливих експрес-методик їх визначення у лікарських засобах є актуальним завданням на сьогодні.

У дослідженнях ми використовували алмазний електрод, допований бором (АЕДБ), який має низку переваг: широкий діапазон робочих потенціалів понад 3,5 В, стійкість у водному середовищі та електрохімічну інертність. Для вимірювань застосовували планарну електрохімічну комірку з діаметром електрода 1 мм і методи циклічної та диференційно-імпульсної вольтамперометрії.

Струм і потенціал відновлення залежать від рН розчину та швидкості накладання напруги: зі збільшенням швидкості (10–100 мВ/с) висота піків збільшується, а потенціал зсувається катодно. За оптимальних значень рН побудували градувальні графіки методом диференційно-імпульсної вольтамперометрії й визначили метрологічні характеристики, при цьому найменшу межу виявлення ( $6,8 \cdot 10^{-7}$  М) отримано для метронідазолу.

За обраних оптимальних умов розробили методики вольтамперометричного визначення метронідазолу в розчині для інфузій “Метронідазол”, орнідазолу в розчині для інфузій “Орнізол” та ронідазолу в таблетках “Ронідазол”. Одержані результати підтвердили правильність розроблених методик.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИКОМПОНЕНТНИХ ЗРАЗКІВ СИСТЕМИ Sc-Pd-P ЗА ДОПОМОГОЮ X-ПРОМЕНЕВОГО ФАЗОВОГО ТА СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ**

*Терешкевич С.А., Жак О.В.*

*Кафедра аналітичної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: Sofiia.Tereshkevych@lnu.edu.ua*

Системи на основі скандію, перехідного металу та фосфору є перспективними об'єктами для пошуку нових тернарних сполук, які можуть мати унікальні фізико-хімічні властивості. Особливо цікавими є потрійні системи за участю паладію — металу з високою магнітною сприйнятливостю серед платинових металів. Незважаючи на це, потрійна система Sc–Pd–P на сьогодні залишається практично невивченою, а відомості про утворення тернарних фосфідів за її участю у літературі відсутні. Метою роботи було синтезувати нові трикомпонентні зразки системи Sc–Pd–P, провести їх X-променевої фазовий та структурний аналіз, а також визначити особливості кристалічної структури отриманих сполук.

Синтез здійснювали за допомогою сплавлення компонентів високої чистоти у вакуумованих кварцових ампулах з подальшим відпалом і гомогенізацією. Зразки аналізували методами X-променевої фазового аналізу та структурного аналізу монокристалів. У результаті досліджень виявлено новий тернарний фосфід складу ScPdP, для якого встановлено структурний тип TiNiSi (просторова група  $Pnma$ ) з параметрами елементарної комірки:  $a = 3,8175(5) \text{ \AA}$ ,  $b = 6,5540(8) \text{ \AA}$ ,  $c = 7,5208(10) \text{ \AA}$ , фактори розбіжності  $R_F = 0,0226$ ;  $wR_F = 0,0574$ .

Особливістю структури є те, що атоми скандію займають вузли кристалічної ґратки з координаційним числом 15, паладію — 12, а фосфору — 9. У структурі спостерігається чітке упорядкування атомів у площинах  $y = \frac{1}{4}$  та  $\frac{3}{4}$  без часткового заселення кристалографічних позицій, що підтверджено методом монокристала. Обчислені міжатомні віддалі добре узгоджуються з сумами атомних радіусів компонентів.

Представлений новий тернарний фосфід є перспективним для подальших фізичних досліджень — зокрема, магнітних і електронних властивостей. Отримані результати підтверджують можливість існування цікавих структур у системах з участю скандію та паладію, відкриваючи перспективу подальшого пошуку тернарних фосфідів у системі Sc–Pd–P.

**КАФЕДРА НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ**

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ГІДРУВАННЯ СПЛАВІВ Tb<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>:Mg ТА Tb<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>:Mg,  
МОДИФІКОВАНИМИ ОКСИДАМИ ТА CNT**

*Волошин В.Т., Кордан В.М., Павлюк В.В.*

*Кафедра неорганічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: viktorii.voloshyn.hmh@lnu.edu.ua*

Інтерметалічні сполуки на основі рідкісноземельних металів, нікелю та магнію перспективні для використання як матеріалів для накопичування водню та як анодних матеріалів у металогідрідних акумуляторах. Нікель-металогідрідні акумулятори є широко застосовуваними хімічними джерелами електричної енергії завдяки їхній високій ємності, густині енергії та здатності витримувати високі навантаження.

Синтез сплавів складу Tb<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>:Mg та Tb<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>:Mg масою 1.5 г здійснювали електродуговим сплавленням металів високої чистоти (Mg був взятий у надлишку 10%) в атмосфері аргону з подальшим гомогенізаційним відпалом впродовж 2 місяців при температурі 400°C. Композити на основі інтерметалічної фази з додаванням 5 мас. % керамічної фази або вуглецевих нанотрубок готували перетиранням суміші в агатовій ступці до утворення гомогенного порошку. Методами рентгенфлуоресцентної спектроскопії та EDX-аналізу перевіряли склад зразків. Фазовий аналіз проведено за масивами порошкових даних, одержаних на дифрактометрі ДРОН-2.0М. Морфологію поверхні порошоків вивчено методом скануючої електронної мікроскопії на електронному мікроскопі Tescan Vega3 LMU. Електрохімічне гідрування сплавів виконано у 2-електродних прототипах акумуляторів “Swagelok-cell”.

Електрохімічні властивості електрода залежать як від структурних характеристик матеріалу, так і від стану поверхні зерен після гідрування. Після електрохімічного гідрування морфологія зерен інтерметаліду змінилася – грані стали більш округлені, зерна утворили гранули з керамікою, вуглецеві нанотрубки оточили зерна інтерметаліду. Хімічний склад композитів під час електрохімічних процесів практично не змінився.

Порівняно з електродами на основі сплавів Tb<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>:Mg та Tb<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>:Mg без додавання оксидної добавки або CNT, композитні електроди демонстрували вищу ємність приблизно на 10%. Такий позитивний ефект збільшення питомої ємності для композитних матеріалів можна пояснити підвищенням електропровідності зразків (у випадку з CNT), зменшенням протравлення поверхні зерен інтерметаліду та агломерацією частинок під дією електроліту.

## КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА СПОЛУК У СИСТЕМАХ {La,Nd,Sm}–Ni–Al–Ge

*Дацко Р.М., Муць Н.М., Токайчук Я.О., Гладшевський Р.Є.*  
 Кафедра неорганічної хімії,  
 Львівський національний університет імені Івана Франка,  
 вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
 e-mail: roman.datsko@lnu.edu.ua

В результаті проведених досліджень [1] нами встановлено існування нової тетравної сполуки  $\text{Pr}_2\text{Ni}_{1,30}\text{Al}_{5,77}\text{Ge}_{4,93}$  (символ Пірсона  $tP28$ , просторова група  $P4/nmm$ ,  $a = 5,9039$ ,  $c = 15,0902$  Å).

З метою пошуку тетрачних сполук у системах {La,Nd,Sm}–Ni–Al–Ge синтезовано три зразки складу  $R_{15}\text{Ni}_9\text{Al}_{40}\text{Ge}_{36}$ ,  $R = \text{La}, \text{Nd}, \text{Sm}$ , методом електродугового сплавлення чистих полікристалічних простих речовин La, Nd і Sm із вмістом основного компонента – 99,89 мас. %, Ni – 99,99 мас. %, Al – 99,985 мас. % і Ge – 99,999 мас. %. Гомогенізаційний відпал тривав 126 днів за температури 600 °С. Проведено енергодисперсійну рентгенівську спектроскопію (скануючий електронний мікроскоп Tescan Vega 3 LMU з мікроаналізатором Oxford Instruments Aztec ONE), рентенофазовий та рентгеноструктурний аналізи (дифрактометри STOE Stadi P, проміння Cu  $K\alpha_1$  та PROTO AXRD Vanchtop, проміння Cu  $K\alpha$ ). Результати рентенофазового аналізу синтезованих зразків подано в таблиці. Встановлено існування трьох нових сполук зі структурою типу  $\text{Sm}_2\text{Ni}(\text{Ni}_{0,27}\text{Si}_{0,73})\text{Al}_4\text{Si}_6$  ( $tP28$ ,  $P4/nmm$ ) та трьох сполук зі структурою типу  $\text{Ho}_2\text{CoGa}_8$  ( $tP11$ ,  $P4/mmm$ ).

Таблиця – Результати рентенофазового аналізу зразків  $R_{15}\text{Ni}_9\text{Al}_{40}\text{Ge}_{36}$ ,  $R = \text{La}, \text{Nd}, \text{Sm}$

Зразок	Сполука	Структурний тип	Параметри комірки, Å, об'єм комірки, Å <sup>3</sup>	Вміст фази, мас. %
La <sub>15</sub> Ni <sub>9</sub> Al <sub>41</sub> Ge <sub>35</sub>	La <sub>2</sub> Ni(Ni,Al)Al <sub>4</sub> Ge <sub>6</sub>	Sm <sub>2</sub> Ni(Ni <sub>0,27</sub> Si <sub>0,73</sub> )Al <sub>4</sub> Si <sub>6</sub>	$a = 5,9612(4)$ , $c = 15,241(1)$ , $V = 541,60(7)$	21,5(2)
	La <sub>2</sub> Ni(Al,Ge) <sub>8</sub>	Ho <sub>2</sub> CoGa <sub>8</sub>	$a = 4,1598(3)$ , $c = 13,086(1)$ , $V = 226,44(3)$	78,5(5)
Nd <sub>15</sub> Ni <sub>9</sub> Al <sub>41</sub> Ge <sub>35</sub>	Nd <sub>2</sub> NiAl <sub>4</sub> (Ni <sub>0,16</sub> (6)Al <sub>0,84</sub> (6)) × (Al <sub>0,31</sub> (6)Ge <sub>0,69</sub> (6))Ge <sub>4</sub>	Sm <sub>2</sub> Ni(Ni <sub>0,27</sub> Si <sub>0,73</sub> )Al <sub>4</sub> Si <sub>6</sub>	$a = 5,8867(1)$ , $c = 15,1221(1)$ , $V = 524,02(6)$	64,7(7)
	Nd <sub>2</sub> Ni(Al,Ge) <sub>8</sub>	Ho <sub>2</sub> CoGa <sub>8</sub>	$a = 4,1221(3)$ , $c = 12,851(1)$ , $V = 218,36(3)$	35,3(6)
Sm <sub>15</sub> Ni <sub>9</sub> Al <sub>41</sub> Ge <sub>35</sub>	Sm <sub>2</sub> NiAl <sub>5</sub> Ge <sub>6</sub>	Sm <sub>2</sub> Ni(Ni <sub>0,27</sub> Si <sub>0,73</sub> )Al <sub>4</sub> Si <sub>6</sub>	$a = 5,8550(2)$ , $c = 15,0315(5)$ , $V = 515,29(3)$	39,2(5)
	SmNiAl <sub>4</sub> Ge <sub>2</sub>	SmNiAl <sub>4</sub> Ge <sub>2</sub>	$a = 4,1136(1)$ , $c = 31,066(2)$ , $V = 455,26(4)$	21,6(3)
	Sm <sub>2</sub> Ni(Al,Ge) <sub>8</sub>	Ho <sub>2</sub> CoGa <sub>8</sub>	$a = 4,1018(1)$ , $c = 12,7879(7)$ , $V = 215,18(1)$	39,2(4)

[1] V. Humenchuk, R. Datsko, N. Muts, Ya. Tokaychuk, R. Gladyshevskii, *Coll. Abstr. XV Int. Conf. Cryst. Chem. Intermet. Compd., Lviv, 2023.* – P. 88.

**ВИСОКОЕНТРОПІЙНА ФАЗА (La,Zr)(Ni,Mg,Ga)<sub>5</sub>:  
СИНТЕЗ, ФАЗОВИЙ АНАЛІЗ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ГІДРУВАННЯ**

*Калитовський І.В., Зелінська О.Я., Павлюк В.В., Зелінський А.В., Кордан В.М.*

*Кафедра неорганічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: ihor.kalytovskiy@lnu.edu.ua*

Матеріали на основі  $\text{LaNi}_5$  відомі як компактні накопичувачі водню та негативні електроди для NiMH джерел енергії. Легування іншими металами та неметалами може суттєво покращувати сорбційні та електрохімічні властивості електродних матеріалів, підвищувати корозійну стійкість та час експлуатації. Тому метою цієї роботи був синтез, дослідження фазового складу та електрохімічного гідрування сплаву на основі  $\text{LaNi}_5$ , легovanого Zr, Mg та Ga.

Синтез сплаву провели електродуговим сплавленням високочистих металів у електродуговій печі в атмосфері аргону, гомогенізаційний відпал зразка – у вакуумованій ампулі в муфельній печі за  $400^\circ\text{C}$  впродовж 2 тижнів з наступним гартуванням в холодній воді. Рентгенофазовий аналіз виконали за масивами порошкових даних, одержаних на дифрактометрі ДРОН-2.0М (FeK $\alpha$ -проміння), використовуючи програму PowderCell. Повнопрофільне уточнення дифрактограм здійснили методом Рітвельда за допомогою програми FullProf. Дослідження ефективності електрохімічного гідрування провели в гальваностатичному режимі (гальваностат MТech G410-2) у прототипі акумулятора Swagelok-cell. Морфологію поверхні зразка до та після електрохімічного гідрування дослідили за допомогою електронного мікроскопа TescanVega3 LMU з EDX-системою Oxford Instruments Aztec ONE.

Фазовий аналіз зразка підтвердив утворення очікуваної фази  $\text{La}_{0,7}\text{Zr}_{0,3}\text{Ni}_{4,4}\text{Mg}_{0,3}\text{Ga}_{0,3}$ , яка, як і бінарний прототип  $\text{LaNi}_5$ , кристалізується в структурі типу  $\text{CaCu}_5$  ( $a = 0,50124(3)$  нм,  $c = 0,40327(3)$  нм,  $V = 0,08774(1)$  нм<sup>3</sup>). Крім неї, на дифрактограмі присутні відбиття від  $\text{ZrNi}_3$ , проте через невелику кількість вона не впливає на гідрування основної фази. Електрохімічне гідрування зразка (час заряджання  $t_{\text{ch}} = 4$  год, струм заряджання  $I_{\text{ch}} = 1,0$  мА) підтвердило, що він інтеркалює водень, демонструючи високу ефективність та час розряджання (9-ий цикл:  $\eta = 87,6\%$ ,  $\tau_{\text{розр.}} = 3,5$  год). За умов експерименту кількість поглинутого водню становила  $0,169$  Н/ф.о., а відносне збільшення об'єму комірки сполуки –  $0,54\%$ . Після 50 циклів заряджання-розряджання спостерігали часткову аморфізацію матеріалу електрода, проте структура матеріалу залишилася незмінною.

## ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФАЗ $Y_{5-x}Sm_xGe_3$

*Красицька А.М., Кордан В.М., Шпирка З.М.*

*Кафедра неорганічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: anna.krasitska@lnu.edu.ua*

Бінарні германіди РЗМ характеризуються утворенням фаз зі структурою типу  $Mn_5Si_3$  (просторова група  $R\bar{6}_3/mcm$ ), який характеризується великими октаедричними пустотами, утвореними шістьма атомами РЗМ. Позиція  $2b$  у структурі  $Mn_5Si_3$  є вакантна та придатна для інтеркаляції літію.

Метою і завданням дослідження було визначити механізм інтеркаляції літію в пустоти фаз  $Y_{5-x}Sm_xGe_3$ , провести фазовий аналіз зразків до та після літування, дослідити їхній якісний та кількісний склад. Синтез зразків проводили електродуговим сплавлянням чистих металів, відпалювали упродовж 720 годин за температури  $600^\circ C$ . Рентгенівський фазовий аналіз проводили за масивами порошкових даних, одержаних на дифрактометрі ДРОН-2.0М (FeK $\alpha$ -проміння). Електрохімічне літіювання/делітіювання досліджуваних електродів (сплави  $Y_{40}Sm_{22,5}Ge_{37,5}$  та  $Y_{60}Sm_{2,5}Ge_{37,5}$ ) проводили в двоелектродній моделі акумулятора “Swagelok-cell”. Морфологію поверхні електродів досліджували на скануючому електронному мікроскопі TESCAN Vega3 LMU. Кількісний склад порошоків аналізували за допомогою енергодисперсійного рентгенівського аналізатора Oxford Instruments (система Aztec ONE).

Рентгенофазовий аналіз засвідчив зміну параметрів елементарної комірки до та після літіювання для фази  $Y_{40}Sm_{22,5}Ge_{37,5}$ :  $a = 8,4586(1) \text{ \AA}$ ,  $c = 6,3405(2) \text{ \AA}$ ,  $V = 392,99 \text{ \AA}^3$  та  $a = 8,4690(6) \text{ \AA}$ ,  $c = 6,351(1) \text{ \AA}$ ,  $V = 395(1) \text{ \AA}^3$ ; для фази  $Y_{60}Sm_{2,5}Ge_{37,5}$ :  $a = 8,417(4) \text{ \AA}$ ,  $c = 6,240(2) \text{ \AA}$ ,  $V = 387,95 \text{ \AA}^3$  та  $a = 8,404(9) \text{ \AA}$ ,  $c = 6,177(1) \text{ \AA}$ ,  $V = 377,80 \text{ \AA}^3$  відповідно. Процес літій-інтеркаляції складався з двох етапів: перший – включення Li в октаедричні пустоти ( $2b$ ) з утворенням тетраарних фаз  $Li_xY_{3,6}Sm_{1,4}Ge_3$  і  $Li_xY_{4,8}Sm_{0,2}Ge_3$ , другий – часткове заміщення атомів Ge на Li з утворенням фаз  $Li_{x+y}Y_{3,6}Sm_{1,4}Ge_{3-y}$  та  $Li_{x+y}Y_{4,8}Sm_{0,2}Ge_{3-y}$  відповідно. Після введення Li в октаедричні пустоти структура типу  $Mn_5Si_3$  трансформується в тип  $Hf_5CuSn_3$  [1]. Кількість деінтеркальованого літію в обох зразках становить 0,22 Li/ф.о.

[1] Kowalczyk G., Kordan V., Stetskiv A., Pavlyuk V. Lithiation and magnesianation of  $R_5Sn_3$  ( $R = Y$  and Gd) alloys. *Intermetallics*. 2016, 70, 53–60.

## СИНТЕЗ, ФАЗОВИЙ СКЛАД І ГІДРОГЕНСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ СПЛАВІВ $Y_2Ni_{17}$

*Мацько Е.А., Кордан В.М., Павлюк В.В.*

*Кафедра неорганічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: evelina.matsko@lnu.edu.ua*

Воднева енергетика є одним із найперспективніших напрямків сучасної промисловості. Привабливими та перспективними є матеріали для накопичення водню у вигляді гідридів інтерметалічних сполук або композитів. Ці матеріали мають різні кристалічні структури та хімічний склад, і більшість із них походять від  $CaCu_5$ . Наприклад структурний тип  $Th_2Ni_{17}$  (просторової групи  $P6/mmm$ ) є споріднений до  $CaCu_5$ -типу і має подібні пустоти в структурі, придатні для включення атомів водню.

Сплав з номінальним складом  $Y_8Ti_{2.5}Ni_{87}Mg_{2.5}$  був синтезований електродуговим сплавлянням (надлишок Mg 10 мас. %) і переплавлявся декілька разів для кращої гомогенізації. Енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія (Tescan VEGA3 LMU мікроскоп, EDX-спектрометр) підтвердили вміст фаз. Фазовий аналіз і скануюча електронна мікроскопія показали, що зразок складається з двох фаз: головної фази на основі твердого розчину  $Y_2Ni_{17}:Mg,Ti$  ( $Y_{7.9}Ti_{3.1}Ni_{86.6}Mg_{2.4}$ , просторова група  $P6_3/mmc$ ) і малої кількості Ni ( $Ni_{98.5}Y_{0.2}Ti_{1.3}$ , просторова група  $Fm-3m$ ). Оксидна фаза  $GdFeO_3$ -типу (просторова група  $Rnma$ ) була синтезована шляхом твердої реакції з карбонату ( $CaCO_3$ ) і оксидів ( $Dy_2O_3$  and  $Mn_2O_3$ ) у 2 стадії при 1273 та 1473 К. Тривалість стадій становила 24 та 8 годин, відповідно. Мікрокристаліти кераміки мали розмір від 250 до 600 нм.

Твердий розчин  $Y_2Ni_{17}:Mg,Ti$  можна інтерпретувати як  $Y_{2-y-z}Ti_yNi_{17-x}Mg_{x+z}$  зі складним механізмом заміщення, де позиції ітрію частково зайняті Ti та Mg атомами, а нікель заміщений атомами магнію. Сплав складу  $Y_8Ti_{2.5}Ni_{87}Mg_{2.5}$  та оксидна фаза (5 wt. %) були змішані та ретельно перетиралися протягом 2 годин для приготування композиту. Композит складу  $Y_2Ni_{17}:Mg,Ti/Ca_{0.5}Dy_{0.5}MnO_3$  показав добрі гідрогенсорбційні характеристики, а саме 0,19 мас. % водню. Синтез гідриду проводили при кімнатній температурі за тиску водню 10 МПа. Значення воденьсорбційної ємності оцінювали об'ємно-манометричним методом.

Ефективність електрохімічного гідрування композиту досліджено на двоелектродному прототипі типу Swagelok. Додавання кераміки зменшує травлення поверхні металевої фази та підвищує сорбційні характеристики водню. Після електрохімічного гідрування вміст водню становив  $H \sim 2,2$  H/f.u.

## НОВІ ТЕТРАРНІ ФАЗИ У СИСТЕМІ Dy–Pd–Al–Ga

*Олексюк Д.Р., Муць Н.М., Токайчук Я.О., Гладішевський Р.С.*

*Кафедра неорганічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: denys.oleksiuk@lnu.edu.ua*

Понад 30 сполук зі структурою типу  $Sc_{0,6}Fe_2Si_{4,9}$  (символ Пірсона  $hP20$ , просторова група  $P6_3/mmc$ ) утворюються в металічних системах, що містять рідкісноземельний елемент, а структурний тип  $Gd_{1,33}Pt_3Al_8$  ( $hR51$ ,  $R-3m$ ) представлений у потрійних системах  $Se-Pt-Al$ ,  $Sm-\{Pd, Pt\}-Al$  та  $Er-Pt-Ga$ , а також у чотириконтентній системі  $Gd-Pt-Al-Si$  [1].

З метою пошуку нових сполук зразки складів  $Du_{10}Pd_{25}Al_{55}Ga_{10}$ ,  $Du_{8,7}Pd_{26,1}Al_{39,8}Ga_{25,4}$  та  $Du_{10,8}Pd_{24,3}Al_{59,1}Ga_{5,8}$  виготовили методом сплавлення шихти полікристалічних компонентів високої чистоти (Dy із вмістом основного компонента 99,89 мас.%, Pd – 99,95 мас.%, Al – 99,985 мас.%, Ga – 99,99 мас.%) в електродуговій печі на охолоджуваному поді з наступним гомогенізаційним відпалом за температури 600°C впродовж 70 днів. Рентгенофазовий аналіз здійснили на основі дифрактограм (дифрактометри ДРОН-2.0М з Fe  $K\alpha$  промінням та STOE Stadi P з промінням Cu  $K\alpha_1$ ). Енергодисперсійну рентгенівську спектроскопію провели на **скануючому електронному мікроскопі Tescan Vega 3 LMU за допомогою** мікроаналізатора Oxford Instruments Aztec ONE.

Зразок  $Du_{10}Pd_{25}Al_{55}Ga_{10}$  містить чотири фази: бінарну сполуку  $Pd_2Al_3$  (структурний тип  $Ni_2Al_3$ , вміст фази у зразку 64,5(4) мас.%), тетраРНу фазу  $Du_{0,67}Pd_2(Al_{0,61}Ga_{0,39})_5$  ( $Sc_{0,6}Fe_2Si_{4,9}$ , 26,3(2) мас.%), бінарну сполуку еквіатомного складу  $PdAl$  (FeSi, 6,8(1) мас.%) та фазу  $Du_{1,33}Pd_3(Al_{0,87}Ga_{0,13})_8$  ( $Gd_{1,33}Pt_3Al_8$ , 2,4(1) мас.%).

Зразок  $Du_{8,7}Pd_{26,1}Al_{39,8}Ga_{25,4}$  є також чотирифазним:  $Du_{0,67}Pd_2(Al_{0,58}Ga_{0,42})_5$  ( $Sc_{0,6}Fe_2Si_{4,9}$ , 60,6(8) мас.%),  $Du_{1,33}Pd_3(Al_{0,57}Ga_{0,43})_8$  ( $Gd_{1,33}Pt_3Al_8$ , 26,1(3) мас.%),  $PdAl$  (FeSi, 11,1(2) мас.%),  $Pd_2Al_3$  ( $Ni_2Al_3$ , 2,2(2) мас.%).

Зразок  $Du_{10,8}Pd_{24,3}Al_{59,1}Ga_{5,8}$  містить три фази:  $Du_2Pd_3Al_9$  ( $Y_2Co_3Ga_9$ , 75,2(8) мас.%),  $Du_{1,33}Pd_3Al_8$  ( $Gd_{1,33}Pt_3Al_8$ , 14,4(2) мас.%),  $Pd(Al,Ga)$  (FeSi, 10,4(2) мас.%).

Визначено координати атомів для сполук зі структурами типів  $Sc_{0,6}Fe_2Si_{4,9}$ ,  $Gd_{1,33}Pt_3Al_8$  та  $Y_2Co_3Ga_9$ . Нові фази  $Du_{0,67}Pd_2(Al_{0,61}Ga_{0,39})_5$ ,  $Du_{1,33}Pd_3(Al_{0,57}Ga_{0,43})_8$  та  $Du_{1,33}Pd_3Al_8$  належать до гомологічного ряду сполук із загальною формулою  $R_{0,67}T_nM_{2n+m}$ , що складається з атомних шарів складів  $R_{0,67}M$  і  $TM_2$ . В їхніх структурах шари, що містять атоми рідкісноземельного металу, розділені одинарним або подвійними шарами  $Pd(Al,Ga)_2$ .

[1] P. Villars, K. Cenzual (Eds.), Pearson's Crystal Data: Crystal Structure Database for Inorganic Compounds, ASM International: Materials Park, Ohio, USA, Release 2023/24.

## ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФАЗИ $\text{Ba}_2\text{HoCu}_3\text{O}_7$ ЗІ СТРУКТУРОЮ YBCO

Теплінська М.-С.А., Заремба О.І., Гладисhevський Р.Є.  
Кафедра неорганічної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005, Львів, Україна  
e-mail: mariiasuzanna.teplinska@lnu.edu.ua

Фази зі структурою  $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_7$  (YBCO) володіють надпровідними властивостями за температур, вищих температури кипіння рідкого азоту, отож є перспективними для виробництва надпровідних стрічок і дротів. У літературі є відомості про існування цієї фази у всіх системах  $\text{BaO}-\text{R}_2\text{O}_3-\text{CuO}$ , де R – РЗМ ітрієвої підгрупи, згідно [1] найбільше вивчено фази з Dy, Ho, Er, Tm і Yb, тоді як відомості про сполуки з Lu і Tb поодинокі. Метою цієї роботи було синтезувати фази зі структурою YBCO з подальшим вивченням електрохімічних властивостей.

Зразки складу  $\text{Ba}_2\text{RCu}_3\text{O}_7$  синтезували методом твердофазної реакції в атмосфері повітря з відповідних кількостей  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$ , де R – Tb-Lu, та CuO за температури  $900^\circ\text{C}$  у дві стадії. Серед методів дослідження рентгенівський фазовий та структурний аналіз (ДРОН 2,0М та STOE Stadi P), скануюча електронна мікроскопія (Tescan Vega 3 LMU) та диференційний термічний аналіз (TG-DTA Setaram SETSYS 16/18).

Система з лютецієм була нами детально досліджена раніше [2], де показано відсутність фази YBCO за умов нашого експерименту. За аналогією зразок з Yb виявився трифазним (44,2 мас.%  $\text{Ba}_{44}\text{Cu}_{45}\text{O}_{90}$ , 41,2 мас.%  $\text{BaYb}_2\text{CuO}_5$ , 14,6 мас.% CuO). Сполуки зі структурою YBCO вдалось отримати у системах з Tm та Er – 78 та 80,5 мас. %, відповідно, однак вони ще не є рівноважними та містять по чотири фази. Однофазний зразок отримали у системі з Ho, який протестували як катодний матеріал для літій-йонної батареї. В результаті електрохімічної реакції синтезовано фазу  $\text{Ba}_2\text{HoCu}_3\text{O}_7:\text{Li}$ , структура якої залишилась без змін (СП *oP13*, ПГ *Pmmm*), а збільшення об'єму елементарної комірки на 0,21% вказало на формування твердого розчину включення (0,63 ат. Li / ф.о.) У системі з Dy одержано практично чистий зразок, на дифрактограмі якого простежувались малоінтенсивні відбиття від фази  $\text{Ba}_{44}\text{Cu}_{45}\text{O}_{90}$ , присутність якої додатково було підтверджено методом ДТА. Дослідження Tb-вмісної системи за аналогічних умов показало відсутність фази YBCO [3].

[1] P. Villars, K. Cenzual (Eds.), *Pearson's Crystal Data – Crystal Structure Database for Inorganic Compounds*, ASM International, Materials Park, OH, 2023/2024.

[2] O. Zaremba, M-S. Teplinska, P. Demchenko, V. Kordan, R. Gladyshevskii, *Solid State Sciences*, 2024, 157, 107722.

[3] O. Zaremba, R. Gladyshevskii, *Acta Physica Polonica A.*, 2018, 133, 1024–1026.

## ІНТЕРАКТИВНІ ФОРМИ НАВЧАННЯ – ІНСТРУМЕНТ МОДЕРНІЗАЦІЇ УРОКІВ ХІМІЇ

*Фурманець І.Ю., Штурка З.М.  
Кафедра неорганічної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: iryna.furmanets@lnu.edu.ua*

З розвитком цифрових технологій учнівство стало більш комп'ютеризованим. Нове покоління прагне здобувати знання без усіляких труднощів та отримувати від цього лише задоволення. Вони все менше і менше записують щось власноруч у зошитах. Невелика частина школярів веде нотатки в електронному форматі за допомогою різних гаджетів. Інші обирають найпростіший варіант – сфотографувати те, що потрібно вивчити чи виконати. Традиційні методи поступово втрачають ефективність, тому важливо впроваджувати та використовувати на уроках хімії інтерактивні форми навчання. Саме такі інструменти підвищують зацікавленість, сприяють кращому засвоєнню навчального матеріалу й формують критичне мислення.

За програмою Григоровича О.В. для учнів 7 класу (НУШ) ми розробили ігровий навчальний матеріал (хімічний квіз “Хімічні елементи та речовини”) до теми “Від хімічних елементів до хімічних сполук” на онлайн-сервісах Kahoot, Educaplay та Interacty. Він складається з 15 запитань різного типу, наприклад, вибір однієї правильної відповіді з чотирьох варіантів, перевірка правильності тверджень (так чи ні), які доповнено цікавими зображеннями. Завершується квіз слайдом з розміщеним QR-кодом, який дозволяє учням перейти до інтерактивних флеш-карток для перевірки та систематизації знань про хімічні елементи. Ще дві навчальні гри “Хімічні пари” та “Пошук хімічних елементів” згенерували за допомогою платформи Educaplay. Ігри рекомендуємо застосовувати на етапі закріплення нового навчального матеріалу або для актуалізації опорних знань до теми “Хімічні елементи”. Щоб зацікавити учнів у вивченні органічної хімії та зробити процес навчання легким для учнів 10 класу до теми “Хімічні властивості насичених одноатомних спиртів” розробили інтерактивний конспект уроку з використанням платформи Canva, яка дозволяє реалізувати всі ідеї на робочому аркуші Wizer. З таким освітнім контентом органічна хімія не здаватиметься такою “страшною”, а навпаки в школярів буде формуватися мотивація до її вивчення. Для зручності весь створений контент ми розмістили на онлайн дошці Padlet.

## КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА ТЕРНАРНОГО ГАЛІДУ $Zr_{1-x}Ga_xRu_2$ ( $x=0,18$ )

Шаталов Б.С.<sup>1</sup>, Мякуш О.Р.<sup>2</sup>, Бабіжецький В.С.<sup>1</sup>, Котур Б.Я.<sup>1</sup>

Кафедра неорганічної хімії,

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

<sup>2</sup>Національний лісотехнічний університет України, Львів, Україна

e-mail: BOHDAN.SHATALOV@lnu.edu.ua

У літературі є відомості про існування тернарних сполук  $ZrRu_xGa_{2-x}$  ( $0,60 < x < 0,96$ ) (структурний тип (СТ)  $MgZn_2$ , просторова група (ПГ)  $P6_3/mmc$ ,  $a = 5,2475(5) - 5,2557(1)$ ,  $c = 8,3923(7) - 8,2854(1)$  Å [1];  $Zr_6Ru_xGa_{23-x}$ , ( $6,41 < x < 9,89$ ) (СТ  $Th_6Mn_{23}$ , ПГ  $Fm-3m$ ,  $a = 12,4627(1) - 12,5148(1)$  Å) [2, 3] та твердих розчинів на основі бінарних сполук  $RuGa$  та  $ZrRu$  зі структурою типу  $CsCl$  (ПГ  $Pm-3m$ ) [4].

Під час дослідження потрійних сплавів системи  $Zr-Ru-Ga$ , гомогенізованих при 870 К, в області, що прилягає до сполуки  $ZrRu_2$ , ми виявили нову сполуку  $Zr_{1-x}Ga_xRu_2$  ( $x = 0,18$ ), яка є у рівновазі з твердими розчинами  $Zr_{1-x}Ga_xRu$  ( $0 \leq x \leq 0,26$ ),  $RuGa_{1-x}Zr_x$  ( $0 \leq x \leq 0,50$ ) та  $Ru$ . Для проведення дослідження кристалічної структури тернарного галіду методом електродугової плавки було синтезовано зразок складу  $Zr_{36}Ru_{58}Ga_6$  і проведено його повне дослідження за допомогою методів енерго-дисперсійної X-променевої спектроскопії та X-променевого фазового аналізу (метод порошку). За результатами аналізу визначено кристалічну структуру тернарного галіду: структурний тип  $MgZn_2$ , просторова група  $P6_3/mmc$  (194), параметри ґратки:  $a = 5,1392(2)$  Å;  $c = 8,4862(4)$  Å. Уточнено координати атомів, визначено координаційні числа (КЧ) і координаційні поліедри (КП) атомів у структурі: для атомів  $Ru_1$  і  $Ru_2$  – ікосаедри (КЧ = 12); статистичної суміші атомів  $Zr/Ga$  ( $M = 0,82 Zr + 0,18 Ga$ ) – 16-ти вершинник (КЧ = 16). Ймовірно, незначне легування галієм (6 ат. %) високотемпературної бінарної сполуки  $ZrRu_2$  (температурний інтервал існування 1825–1285°C, структурний тип  $MgZn_2$ ) приводить до її стабілізації за нижчих температур.

1. *Myakush O., Fedorchuk A., Mokra I., Myakush O.* Crystal structure of compound  $ZrRu_xGa_{2-x}$  ( $0,60 < x < 0,96$ ) // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2006. Iss. 47. P. 36–40 (in Ukrainian).
2. *Myakush O. Ya., Mokra I., Fedorchuk A., Myakush O. R.* Crystal structure of compound  $Zr_6(M,Ga)_{23}$  // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2007. Iss. 48. P. 67–71 (in Ukrainian).
3. *Markiv V. Ya., Storozhenko A. I.* New ternary compounds with the  $Mg_6Cu_{16}Si_7$  type structure in some systems of two transition metals with aluminium and gallium // *Dopov. AN Ukr. RSR. Ser. A.* 1973. No. 10. P. 941–943 (in Ukrainian).
4. *Myakush O., Babizhetskyy V., Shatalov B., Kotur B.* Phases with the structure of  $CsCl$  in the system  $Zr-Ru-Ga$  // *Proc. III Internat. Sci. Confer. "Actual problems of chemistry, material science and ecology"*. Lutsk, Ukraine, 1–3 June, 2023. P. 99–101 (in Ukrainian)

**КАФЕДРА ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ**

## НОВІ АДУКТИ УГІ НА ОСНОВІ 2-АЗИДО-3-АРИЛПРОПАНОВИХ КИСЛОТ ТА 2,2-ДИМЕТОКСИЕТАН-1-АМІНУ

*Боднар М.І., Тупичак М.А., Походило Н.Т.*

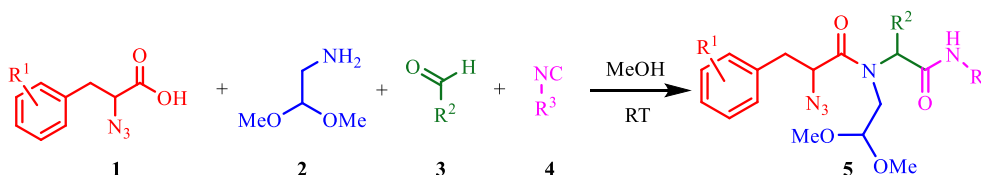
*Кафедра органічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: maksym.bodnar@lnu.edu.ua*

Яскравим прикладом популярних нині багатокомпонентних реакцій є чотирикомпонентна реакція Угі. У цій реакції взаємодіють карбонова кислота, альдегід, амін і ізонітрил, у результаті утворюється пептидоподібна сполука. Висока толерантність до різних замісників, дає змогу отримувати складні молекули за мінімальної кількості стадій. Це значно спрощує розробку нових сполук і дозволяє вдосконалення синтезу вже відомих речовин. Використання біфункціональних сполук в реакції Угі дозволяє комбінувати її з іншими хімічними перетвореннями, що розширює потенціал методу та дозволяє отримувати складні молекули, простіше ніж іншими методами. Однією з таких сполук є 2,2-диметоксиетан-1-амін, який містить захищену альдегідну групу. Доведено що використавши його в реакції Угі можна отримати гетеро- та поліциклічні сполуки. [1,2] α-Азидокислоти є зручними для синтезу білогічно активних сполук. Азидна група може бути використана як захищена аміногрупа або як попередник 1,2,3-триазольного циклу. Раніше нами було розроблено практичний метод синтезу 2-азидо-3-арилпропанових кислот, що є ефективними реагентами у реакції Угі [3]. У цьому дослідженні ми прагнули розширити застосування цих кислот у реакції Угі. 2-Азидо-3-арилпропанові кислоти **1** вводили в реакцію Угі з 2,2-диметоксиетан-1-аміном **2**, альдегідами **3** та ізонітрилами **4**. Перемішували еквімолярну суміш реагентів у метанолі без нагріву протягом 20–60 хв. Продукти виділяли з реакційної суміші шляхом фільтрування без потреби в додатковому очищенні. У результаті отримано серію нових аддуктів Угі **5** з високими виходами.



**Рис. 1.** Синтез аддуктів Угі **5**

Синтезовані лінійні аддукти містять захищені високоактивні аміно- та альдегідні групи, що робить їх зручними прекурсорами для подальших перетворень, зокрема гетероциклізацій.

[1] Amador-Sánchez, Yoarhy A. *Tetrahedron* 76.36 (2020) 131383

[2] Sinha, Mantosh K., 11.29 (2013): 4792-4796.

[3] N. Pokhodylo, M. Tupyshak, E. Goreschnik, Obushak M. *Synthesis*, 2023, **55**, 977–988.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТЕРИЧНО УСКЛАДНЕНИХ АМІНІВ У РЕАКЦІЇ УГІ

*Піонтковський І.І., Тупичак М.А.*

*Кафедра органічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

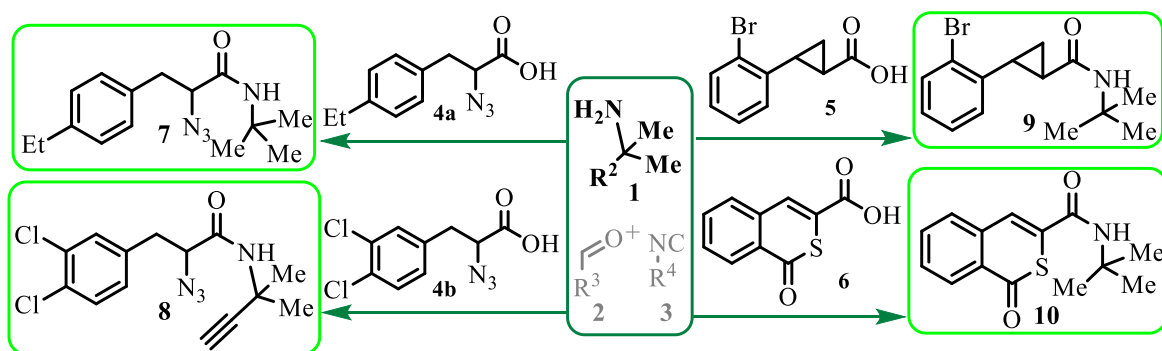
*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: ivan.piontkovskyi@lnu.edu.ua*

За останнє десятиліття мультикомпонентні реакції набули великої популярності, оскільки дозволяють отримувати сполуки з хорошими виходами за одну стадію при використанні простих та доступних вихідних реагентів. Однією з таких реакцій є чотирьохкомпонентна реакція Угі. У цій реакції застосовувався широкий спектр прекурсорів різної природи. Водночас варто зазначити, що деякі прості реагенти залишаються малодослідженими у межах цього високоефективного перетворення. Зокрема, ефективне використання *трет*-бутиламіну описано лише в окремих роботах.

Ми здійснили низку спроб введення *трет*-бутиламіну в реакції Угі з карбоновими кислотами різної природи: 3-арил-2-азидопропановими **4a,b**, 2-(2-бромовеніл)циклопропан-1-карбоною **5** та 1-оксо-1H-ізотіохромен-3-карбоною **6** кислотами. Реакцію між кислотами **4a,b**, **5**, **6** *трет*-бутиламіном (або 2-метилбут-3-ін-2-аміном) **1**, альдегідами **2** та ізонітрилами **3** проводили в метанольному розчині за перемішування при температурі 50 °C протягом 48 год. Однак замість очікуваних аддуктів Угі основними продуктами реакцій виявилися аміді відповідних карбонових кислот **7-10**.

Отримані результати свідчать про те, що стеричні перешкоди з боку амінокомпоненти у реакції Угі можуть змінити її перебіг, сприяючи альтернативному механізму з утворенням амідів — ймовірно, внаслідок взаємодії проміжних основ Шиффа з карбоновими кислотами. Це не лише демонструє синтетичні обмеження реакції Угі, а й відкриває перспективу для розробки нового підходу до синтезу амідів безпосередньо з карбонових кислот за м'яких умов.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСТРАКТІВ БОБОВОЇ РОСЛИНИ INDIGOFERA SPICATA

*Савченко В.П., Тупичак М.А.*

*Кафедра органічної хімії*

*Львівський національний університет імені Івана Франка*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: Vladyslav.Savchenko@lnu.edu.ua*

*Indigofera spicata* — це ґрунтопокривна рослина, яка належать до родини бобових. Поширена переважно в тропічних і субтропічних кліматичних зонах.

Індоспіцин є непротеїногенною амінокислотою, яка зустрічається в більше 40 видів *Indigofera*. Він є конкурентним інгібітором аргінази і викликає дегенерацію печінки і викидень. Гепатотоксичність індоспіцину зустрічається у всіх тварин. Також індоспіцин викликає науковий інтерес завдяки здатності впливати на ріст пухлин, оскільки деякі агресивні типи карцином демонструють чутливість до дефіциту аргініну. Як джерело індоспіцину використовували висушену біомасу *Indigofera spicata* (стебла та листя з поодиноким насінням), що накопичує значну кількість вільного Індоспіцину (0,4 - 1,5 мг на грам сухої біо маси). Екстрагування висушеного матеріалу проводилося 70% етанолом з додаванням 0,01 н. НСІ. Наявність індоспіцину в екстракті підтверджували методом тонкошарової хроматографії. Як елюент було обрано водно-ацетатний буфер з рН = 3.74 з додаванням 4% ацетонітрилу. В якості «свідків» було застосовано аргініну, канаваніну та хімічно синтезованого індоспіцину, які є компонентами екстракту. Так, на отриманих хроматограмах екстракту спостерігаються пляма при  $R_f = 0,46$ , що відповідає амінокислоті індоспіцину, та співпадає з плямою «свідком» індоспіцину. Також на хроматограмі присутні плями ( $R_f = 0,65$ ), що належать канаваніну та аргініну, котрі елюють в суміші через близькі значення  $R_f$ .

Хромато-мас-спектральний аналіз підтвердив присутність індоспіцину. Пік індоспіцину спостерігався у періоді 0,9–1 хвилини у суміші з іншими амінокислотами, його мас-спектральний пік становить 174.

У отриманих екстрактів присутня протипухлинна активність. Екстракт *Indigofera spicata* демонструє інгібуючий ефект щодо клітин людської карциноми НСТ-116 та SKOV3. Спричинено це дефіцитом ангірину, екстракт значно знижує життєдіяльність пухлинних клітин і пригнічує їх здатність до відновлення росту після лікування.

Нами були здійснені спроби виділення індоспіцину з екстрактів *Indigofera spicata*. Для цього ми спробували використати тонкошарову хроматографію і осадженні індоспіцину з екстракту у вигляді монофлавіанату. Обидва методи не дали бажаного результату, в подальшому буде використано іонно-обмінні смоли для генерування гідрохлориду з монофлавіанату.

## АРИЛЮВАННЯ 3-МЕТИЛ-2-ФУРАНКАРБОНОВОЇ КИСЛОТИ, ЇЇ ЕТИЛОВОГО ЕСТЕРУ ТА СИНТЕЗ 1,3,4-ОКСА(ТІА)ДІАЗОЛІВ НА ЇХ ОСНОВІ

*Садило К.А., Смалюс А.В., Горак Ю.І., Обушак М.Д.*  
*Кафедра органічної хімії*  
*Львівський національний університет імені Івана Франка,*  
*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*  
*e-mail: Kateryna.sadylo@lnu.edu.ua, Andrii.Smalyus@lnu.edu.ua*

Азоли, що являють собою п'ятичленні азот – і кисневмісні ароматичні гетероцикли привертають увагу дослідників досить високою реакційною здатністю та різноманітністю хімічних перетворень. Похідні азолів запропоновані до застосування в сучасній медицині, біотехнології, вони є цінними вихідними реагентами для синтезу речовин з новими корисними властивостями. Особливе місце в цьому ряду займають 1,3,4-оксадіазоли, 1,3,4-тіадіазоли. З іншого боку, похідні арилфуранів – це важливий клас органічних сполук, що володіють широким спектром цінних фізико-хімічних та біологічних властивостей. Їх використовують у медицині, як біологічно активні добавки, матеріали в органічній хімії та інших галузях.

З метою синтезу 1,3,4-окса(тіа)діазолів арилфуранового ряду ми одержали вихідні сполуки – 3-метил-5-арил-2-фуранкарбонів кислоти, застосувавши реакцію арилювання 3-метил-2-фуранкарбонів кислоти солями арендіазонію в умовах реакції Мерсвейна.

Після численних хімічних перетворень, ми отримали амід **10** (3-метил-5-арил-2-фуранкарбонів кислоти)

Одержані амід **10** (3-метил-5-арил-2-фуранкарбонів кислоти) ми використали для побудови 1,3,4-оксадіазолів та 1,3,4-тіадіазолів арилфуранового ряду. З цією метою сполуки **10** кип'ятили в середовищі  $\text{POCl}_3$  протягом 4 годин. Одержані 1,3,4-окса(тіа)діазоли – високоплавкі кристалічні сполуки кремово-жовтого забарвлення.

Для формування оксадіазольного циклу ми також використали підхід, який ґрунтується на рециклізації тетразольного циклу. З цією метою ми вивчили взаємодію тетразолів **12** з хлорангідрідами **9** (3-метил-5-арил-2-фуранкарбонів кислоти). При нагріванні реагентів в піридині до припинення виділення азоту отримані сполуки **13** (1,3,4-оксадіазоли арилфуранового ряду)

1,3,4-Оксадіазоли арилфуранового ряду **11** та **13** виявляють сильну люмінесценцію у твердому стані та у розчинах при опроміненні ультрафіолетом при 360 нм.

Таким чином, показана можливість застосування 3-метил-5-арил-2-фуранкарбонів кислот та їх хлорангідрідів у синтезі 1,3,4-оксадіазолів і 1,3,4-тіадіазолів з арилфурановими фрагментами, які виявляють сильну фотолюмінесценцію при опроміненні ультрафіолетом при довжині хвилі 360 нанометрів.

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ СИНТЕЗУ НЕПРОТЕЇНОГЕННИХ АМІНОКИСЛОТ, СПОРІДНЕНИХ З АРГІНІНОМ

*Шкробацька Я.Р., Матуляк П.Я., Тупичак М.А.*

*Кафедра органічної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

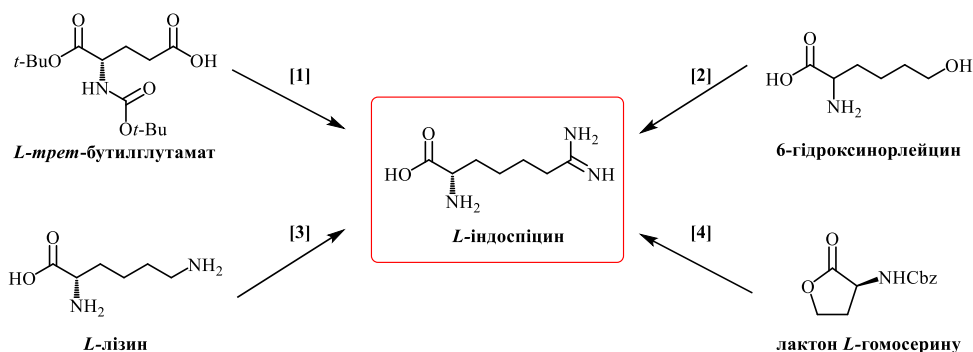
*вул. Кирила і Мефодія, 6, Львів, 79005,*

*e-mail: yaryna.shkrobatska@lnu.edu.ua*

Чутливість агресивних типів пухлин до дефіциту аргініну є перспективною стратегією метаболічної протипухлинної терапії. Отримання структурних аналогів аргініну є важливим завданням органічної хімії для реалізації цих біологічних досліджень. Комерційно доступними є багато аналогів аргініну, окрім *L*-індоспіцину.

*L*-індоспіцин – це непротеїногенна амінокислота, що є токсичною. Водночас він є перспективним як протипухлинний агент. Станом на сьогодні на ринку відомо лише два постачальники, які декларують можливість комерційного синтезу індоспіцину під замовлення.

У науковій літературі описано чотири публікації, присвячені методам синтезу *L*-індоспіцину: з *t*-бутилглютамату, 6-гідроксинорлейцину та лактону *L*-гомосерину. Під час дослідження ми відтворили два з них — синтез з *L*-лізину та з лактону *L*-гомосерину.



Під час синтезу індоспіцину з *L*-лізину виникли труднощі на стадії обробки тозилату ціанідом калію. У зв'язку з цим нами було розроблено новий альтернативний підхід — синтез *L*-індоспіцину з *L*-орнітину.

[1] P. L. Feldman, S. Chi, N. Sennequier, *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, **1996**, 6(1), 111-114

[2] C. C. J. Culvenor, M. C. Foster, M. P. Hegarty, *Chemical Communications*, **1969**, 19, 1091

[3] A. K. Bence, P. A. Crooks, *Synthetic Communications*, **2002**, 32(13), 2075-2082

[4] C. Lang, S. Wong, S. Chow, *Organic & Biomolecular Chemistry*, **2016**, 14,

**КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ТА КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ**

## ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАН ТА ЙОГО МЕТАЛОКОМПЗИТИВ В ТОНКИХ ПЛІВКАХ ТА У ВИГЛЯДІ ВОДНИХ ДИСПЕРСІЙ

*Волинець В.Ю., Гулик М.Т., Стеців Ю.А., Яцишин М.М., Решетняк О.В.*

*Кафедра фізичної та колоїдної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: VIKTORIIA.VOLYNETS@lnu.edu.ua, MARIIA.HULYK@lnu.edu.ua*

Металокомпозити на основі ПАН викликають неабиякий інтерес у науковій спільноті. Вони демонструють кращі оптичні властивості, ніж ПАН. Це зумовлено синергією, яка виникає завдяки включенню нанометалевих частинок у матрицю ПАН. Дослідження оптичних властивостей тонких плівок і водних дисперсій ПАН та його металокомпозитів сприятиме можливості їх застосування в оптоелектронних пристроях.

ПАН було синтезовано методом окиснювальної полімеризації. Метал-ПАН композити одержано додаванням до ПАН розчинів  $\text{HAuCl}_4$  та  $\text{K}_2[\text{PdCl}_4]$ . Плівки Цел/ПАН-НСІ, Цел/ПАН-НСІ/Au одержали диспергуванням ультразвуком 10, 15 і 20 мг ПАН і його композиту Au-ПАН відповідно й додаванням 10 мл 10% розчину целюлози з подальшим диспергуванням ультразвуком протягом 10 хв. Спектри поглинання тонких плівок і водних дисперсій реєстрували за допомогою спектрофотометра Cadas 100. Значення  $E_g$  розраховано за допомогою методу підгонки спектрів поглинання (absorption spectrum fitting (ASF)) [1]) (рис.1). За допомогою кореляційних рівнянь [2] між  $E_g$  та показником заломлення ( $n$ ) напівпровідників обчислено показники заломлення зразків.

Табл. 1. Оптичні параметри

<i>Зразок</i>	<i><math>E_g</math>, eV</i>	<i><math>n</math></i>
ПАН	2,03	2,701
Au-ПАН	1,85	2,764
Pd-ПАН	1,73	2,811
(Au-Pd)-ПАН	1,71	2,819

Табл. 2. Оптичні параметри

<i>Вміст</i>	<i><math>E_{g(1)}</math>, eV</i>	<i><math>E_{g(2)}</math>, eV</i>
Цел/ПВС/ПАН/Au		
10 мг	2,025	2,125
15 мг	1,6	2,2
20 мг	1,955	2,15

Досліджено, що ширина забороненої зони зменшується з додаванням до ПАН металевих наночастинок зменшується. Це вказує на зростання оптичної провідності.

[1] Ali F.M. Structural and optical characterization of [(PVA:PVP)- $\text{Cu}^{2+}$ ] composite films for promising semiconducting polymer devices // J. Mol. Struct. 2019. Vol. 1189. P. 352–359.

[2] Chand P., Vaish S., Kumar Pr. Structural, optical and dielectric properties of transition metal ( $\text{MFe}_2\text{O}_4$ ; M = Co, Ni and Zn) nanoferrites // Physica B. 2017. Vol. 524. P. 53–63.

## ВИВЧЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ У СИСТЕМІ ПОЛІПІРОЛ/МАХ

*Жицький А.К., Горбенко Ю.Ю.  
Кафедра фізичної та колоїдної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: artem.zhytskyi@lnu.edu.ua*

Фази МАХ складаються з шаруватих нітридів або карбідів перехідних металів, розташованих між шарами елементів групи ІІА або ІVА періодичної таблиці. Їхня структура дозволяє отримувати матеріали з високою механічною міцністю, термостійкістю та електропровідністю.

Поліпірол – це провідний полімер, який вирізняється високою електропровідністю та хімічною стабільністю. Його застосовують у виготовленні сенсорів, антистатичних покриттів, суперконденсаторів і гнучкої електроніки.

Зразки композитного порошку поліпірол/МАХ були отримані методом окисної полімеризації «in situ» у водному розчині 0,5 М толуолсульфонової кислоти. Як окисник використовували пересульфату амонію. Перед синтезом композитів порошок  $Ti_2AlC$  диспергували в розчині мономеру за допомогою ультразвукової обробки.

Змодельовано та проведено Квантово-хімічний розрахунок з допомогою напівемпіричного методу РМ7 гексамеру піролу, визначено теоретично  $E_a$  та розподіл електростатичного потенціалу моделі.

Дослідження структури і морфології отриманих композитів проводили з допомогою методу скануючої електронної мікроскопії. Встановлено, що вплив наповнювача на структуру композиту стає добре помітним при вмісті  $Ti_2AlC$  5 %.

Аналіз спектрів FTIR полімеру та його композитів вказує на можливу взаємодію функціональних груп полімеру з наповнювачем. Підтвердженням взаємодії полімерної матриці з  $Ti_2AlC$  є зсув піків валентного коливання на спектрах композитів в бік збільшення частоти із зростанням вмісту до 5% вмісту  $Ti_2AlC$ .

X-променеві дифрактограми поліпіролу та МАХ фази узгоджуються з тими, що були описані раніше в літературі. Вплив наповнювача на структуру композиту стає добре помітним при вмісті  $Ti_2AlC$  5 мас%.

На основі температурної залежності питомого опору композитів визначено енергію активації провідності та її залежність від вмісту наповнювача. Мінімальне значення  $E_a$  спостерігається при 5 % вмісті  $Ti_2AlC$ . Встановлено зростання термічної стабільності композиту поліпірол– $Ti_2AlC$  при 5% вмісті  $Ti_2AlC$ .

## СИНТЕЗ І ВЛАСТИВОСТІ КОПОЛІМЕРІВ АНІЛІНУ ТА О-АНІЗИДИНУ ЯК МАТЕРІАЛІВ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТИЧНИХ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ

*Журіна Н.Ю., Марків Ю.Б., Аксіментьєва О.І.  
Кафедра фізичної та колоїдної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: nataliia.zhurina@lnu.edu.ua*

**Актуальність** роботи полягає у необхідності розробки ефективних методів отримання нових матеріалів з сенсорними властивостями. Перспективними є сенсорні середовища на основі спряжених поліаміноаренів. На сьогодні бракує систематичних досліджень, спрямованих на розкриття механізму полімеризації заміщених аміноаренів та встановлення зв'язку склад-структура-властивості утворених (ко)полімерів.

**Метою** роботи є вивчення процесу полімеризації о-анізидину та його кополімеризації з аніліном, а також оцінка потенціалу отриманих полімерів як чутливих елементів оптичних газових сенсорів. Плівки синтезовано на ІТО методом окисної полімеризації еквімолярних розчинів мономерів та  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  у 0,5 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Структуру та властивості досліджено методами ІЧ-Фур'є та оптичної спектроскопії, оптичної мікроскопії, механізм полімеризації підтверджений квантово-хімічними розрахунками.

Методом FTIR за наявності характеристичних смуг (2926, 1647, 1344, 1285  $\text{cm}^{-1}$  та ін.) підтверджено утворення полі-(о-анізидину). Квантово-хімічні розрахунки показали, що зі збільшенням числа мономерних ланок потенціал іонізації та енергетична щільність ВЗМО-НВМО зменшуються, що пояснює збільшення швидкості полімеризації аміноаренів у процесі синтезу. Співвідношення інтенсивностей смуг поглинання в оптичних спектрах залежить від складу кополімерів аніліну й о-анізидину.

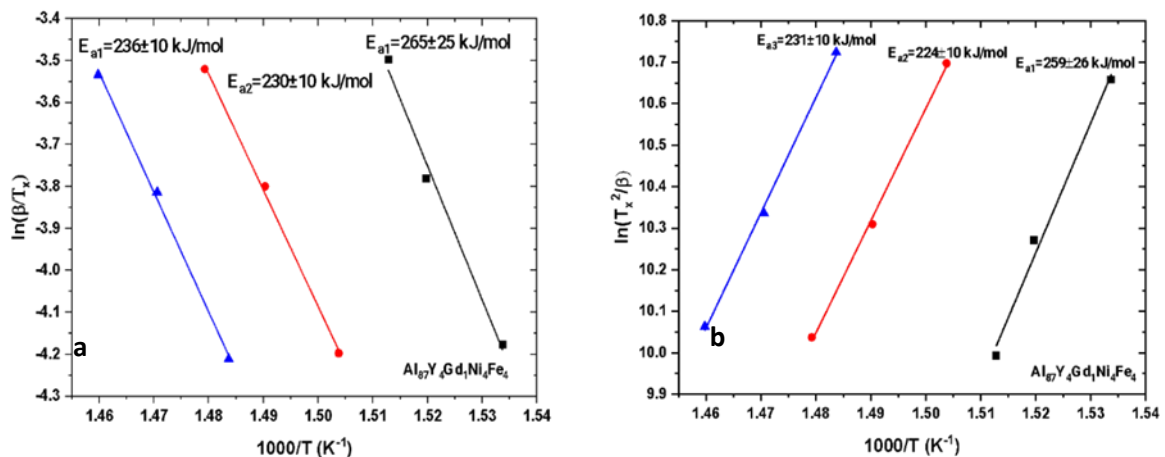
Під дією аміаку відбувається суттєва зміна оптичних спектрів внаслідок часткової нейтралізації провідної форми кополімеру і збільшення частки емеральдинової основи. Отримані результати підтверджують перспективність використання кополімерів для розробки оптичних газових сенсорів. Висока чутливість до аміаку і оборотність оптичних змін роблять ці матеріали придатними для моніторингу цього газу в атмосфері.

**Подяка.** Дослідження виконані за грантового фінансування НФД України в рамках конкурсу «Наука для зміцнення обороноздатності України» за проектом 2023.04/0133 (0124U003799) «Розробка детекторів для експрес-контролю токсичних речовин на забруднених територіях» (2024-2025).

**ВПЛИВ КОРОТКОТРИВАЛОГО ВІДПАЛУ НА СТРУКТУРУ АМС НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ**

*Пігель В.Р., Хрущук Х.І., Кулик Ю.О., Герцик О.М., Бойчишин Л.М.  
Кафедра фізичної та колоїдної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: veronika.pihel@lnu.edu.ua*

В абсолютній більшості випадків кристалізація аморфної фази в АМС відбувається за механізмом зародження і росту. Ці процеси є чутливими як до елементного складу зразків, так і до температурних умов впливу на АМС. За допомогою досліджень методом ДСК визначено температурні межі переходу з аморфного стану, який є метастабільним, у більш стабільний кристалічний стан. За температурами та швидкостями нагріву, за допомогою кінетичних моделей розраховано  $E_a$  за моделлю Кіссінджера, Озави та Аугіса- Беннета. Значення енергії активації розраховані різними методами при  $T_1, T_2, T_3$ , які відповідають зародженню, росту нанокристалів алюмінію та температурі сталої кристалізації, відповідно. Використовуючи розраховані значення  $E_a$ , можна прогнозувати механізм наноструктурування. Високі значення енергії активації вказують на складні процеси дифузії у аморфній матриці. Видно, що кінетичні параметри послідовних стадій кристалізації при різних швидкостях нагріву залежать від вмісту та природи RE. Ріст нанокристалів  $\alpha$ - Al відбувається у сплаві, легovanого Gd. Легування Y проводить до деякого підвищення значень  $E_a$ , які знаходяться в межах  $200 \pm 5$  кДж/моль. Особливу увагу привертають АМС, легovanі Fe,  $E_a$  в яких найвища. Це вказує на можливі утворення бар'єрів з атомів Fe, які утруднюють нанокристалізацію  $\alpha$ - Al. Легування АМС 8 ат.% Fe приводить до збільшення  $E_a$ , практично на 75 кДж/моль порівняно із базовим сплавом  $Al_{87}Gd_5Ni_8$ , а легування 4 ат % Fe приводить до збільшення  $E_a$  на 50-60 кДж/моль.



**Рисунок.** Криві Аугіса-Беннета (а) та Кіссінджера (б) для АМС:  $Al_{87}Y_4Gd_1Ni_4Fe_4$

**ВПЛИВ рН СЕРЕДОВИЩА НА ДЕГРАДАЦІЮ БАРВНИКА  
Brilliant Black E151 ЗА УЧАСТІ АМС СИСТЕМИ Fe-Nb-B**

*Семенюк М.В., Бойчишин Л.М.*

*Кафедра фізичної та колоїдної хімії,*

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

*e-mail: semeniukmaria44@gmail.com*

Властивості аморфних металів сплавів (АМС) визначаються природою базового металу, а також складом легуючих добавок. Тому, змінюючи елементний склад АМС, можна розширити сферу їх застосування. Багатофункціональні сплави аморфних металів є перспективними для підвищення реакційної здатності, а також розкладі органічних сполук. У пошуках матеріалів, які спричинили б розкладання шкідливих речовин та використовувалися б багаторазово, ми застосували АМС на основі заліза.

Для кращого дослідження впливу заліза на азобарвники було використано реакцію Фентона при різних концентраціях пероксиду водню. Реакція Фентона — хімічна реакція розпаду пероксиду водню під дією солей заліза, яку можна описати брутто-рівнянням:



Ця реакція йде з утворення активних радикалів, які можуть ініціювати радикально-ланцюгові процеси в тому числі і біохімічні, які приводять до руйнування молекул.

Досліджено вплив концентрації  $\text{H}_2\text{O}_2$  на деградацію азобарвника Brilliant black E151 за участі АМС Fe-Nb-B, що дозволить встановити оптимальні параметри для підвищення ефективності очищення водних систем. Досліджували ефект різних концентрацій  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0,01–1,0 М) на процес деградації. Спектрофотометричний аналіз проводили на довжині хвилі максимального поглинання барвника. Паралельно визначали зміни рН середовища та концентрацію залишкового  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Результати експериментів показали, що за низьких концентрацій  $\text{H}_2\text{O}_2$  процес деградації є повільним через недостатню кількість окисника. При підвищенні концентрації до певного рівня (0,1–0,3 М) спостерігається максимальна швидкість реакції, що підтверджується зменшенням оптичної густини розчину. Подальше збільшення концентрації  $\text{H}_2\text{O}_2$  до 1,0 М не сприяє зростанню ефективності деградації, а навпаки, може призводити до утворення побічних продуктів, що сповільнюють реакцію.

Дослідження показало, що існує оптимальна концентрація пероксиду водню для ефективною деградації азобарвника за участі аморфних металевих сплавів на основі заліза. Отримані результати можуть бути використані для розробки більш ефективних методів очищення промислових стічних вод.

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМОΡФНИХ  
СПЛАВІВ Co-Me-Si-B У ЛУЖНОМУ РОЗЧИНІ**

*Слободний В.А., Герцик О.М.  
Кафедра фізичної та колоїдної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: vitalii.slobodnyi@lnu.edu.ua*

Одним з перспективних напрямків є використання аморфних сплавів (АМС) системи Co-Me-Si-B як каталізаторів в різних процесах, зокрема, одержання водню. Для цього попередньо необхідно оцінити корозійну тривкість таких матеріалів у лужних розчинах [1,2].

Щоб порівняти електрохімічні властивості аморфних сплавів  $Co_{72,0}Fe_{5,0}Si_{11,0}B_{12,0}$  та  $Co_{80,85}Fe_{4,17}Mn_{3,69}Si_{5,81}B_{5,48}$  у 1,0 М водному розчині КОН, застосовано метод циклічної вольтамперометрії в потенціодинамічному режимі. Для двох сплавів знімалися вольтамперограми протягом 10-ти циклів, за різних швидкостей розгортки потенціалу: 20, 50, 70, 100 мВ/с. У випадку із зразком АМС  $Co_{72,0}Fe_{5,0}Si_{11,0}B_{12,0}$  в умовах контакту з агресивним середовищем та циклічною зміною потенціалу, значення потенціалів корозії зсуваються в катодний бік, а струми корозії змінюються нелінійно з тенденцією до зростання за всіх досліджуваних швидкостях розгортки, окрім швидкості 50 мВ/с. Там спостерігається зниження значень струмів корозії. Аналізуючи отримані дані електрохімічних досліджень АМС  $Co_{80,85}Fe_{4,17}Mn_{3,69}Si_{5,81}B_{5,48}$  за всіх швидкостей розгортки, окрім 100 мВ/с, значення потенціалів корозії також зсуваються в катодний бік, а струми корозії змінюються нелінійно з тенденцією до зростання. Проте за швидкості 100 мВ/с значення потенціалів корозії зсуваються в анодний бік, а струми корозії змінюються з тенденцією на зниження.

Порівнюючи циклічні вольтамперограми АМС  $Co_{72,0}Fe_{5,0}Si_{11,0}B_{12,0}$  та  $Co_{80,85}Fe_{4,17}Mn_{3,69}Si_{5,81}B_{5,48}$ , потенціали та струми піків окиснення суттєво відрізняються. У 1,0 М водному розчині КОН аморфний сплав з додатком Mn виявився менш корозійно тривким.

[1] Слободний В.А. Використання методу циклічної вольтамперометрії для дослідження аморфних сплавів на основі Co / Слободний В.А., Герцик О.М. // IX Наук. сем. студ., аспір. і мол. учених "Прикладні аспекти електрохімічного аналізу": Збірн. тез., Львів, Україна, 2-4 жовтня 2024 р. – Львів : ЛНУ, 2024. – С. 30.

[2] Слободний В.А. Електрохімічні параметри аморфного сплаву Co-Fe-Si-B у лужному розчині / Слободний В.А., Герцик О.М. // Студ. наук. конф. хім. фак. ЛНУ: Тез. доп., Львів, Україна, 16 травня 2024 р. – Львів: ЛНУ, 2024. – С. 30.

**ВПЛИВ КОРОТКОТРИВАЛОГО ВІДПАЛУ НА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ  
ВЛАСТИВОСТІ АМС НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ**

*Чава М.І., Хрущик Х.І., Бойчишин Л.М., Герцик О.М.  
Кафедра фізичної та колоїдної хімії,  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: marta.chava@lnu.edu.ua*

Розширення використання аморфних сплавів (АМС) на основі алюмінію зумовлює необхідність проведення комплексного дослідження їхніх властивостей в умовах можливої експлуатації. У зв'язку з цим досліджено вплив короткотривалого відпалу протягом 2 хв. в діапазоні температур 624- 643 та 661-686 К, які відповідають третій стадії кристалізації на електрохімічні властивості АМС  $Al_{87}Y_4Gd_1Ni_8$  та  $Al_{87}Y_4Gd_1Ni_4Fe_4$ .

Для визначення електрохімічних параметрів використано циклічну вольтамперометрію та електрохімічну імпедансну спектроскопію. Аналіз результатів циклічної вольтамперометрії (табл.) показує неоднозначність впливу попередньої термообробки на корозійну тривкість досліджуваних зразків. Сплав  $Al_{87}Y_4Gd_1Ni_4Fe_4$  характеризується вищою корозійною тривкістю як у вихідному стані, так і після короткотривалої термообробки.

**Таблиця.** Параметри корозії АМС на основі алюмінію після термообробки у 0,3% розчині NaCl

$Al_{87}Y_4Gd_1Ni_8$			$Al_{87}Y_4Gd_1Ni_4Fe_4$		
Температура відпалу, К	-E <sub>кор</sub> , В	i <sub>кор</sub> · 10 <sup>8</sup> , А/см <sup>2</sup>	Температура відпалу, К	-E <sub>кор</sub> , В	i <sub>кор</sub> · 10 <sup>8</sup> , А/см <sup>2</sup>
633	0,620	2,69	661	0,533	0,41
643	0,536	51,2	677	0,552	1,47
			686	0,578	0,003

Нанокристалізація сплавів, коли має місце виділення нанокристалів вже твердого розчину Al(R) та інтерметалічних сполук зумовлює зсув потенціалів корозії в катодну область, тобто активуються процеси пітингової корозії і зростання струмів корозії. Очевидно, відпал при температурі третьої стадії кристалізації призводить до формування поверхневої гранульованої можливо пористої структури, через пори якої швидше дифундують іони електроліту, які тим самим провокують корозію.

**ПРОГРАМА ЗВІТНОЇ СТУДЕНТСЬКОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Пленарне засідання

15 травня 2025 року, 15:00, ауд. №1

1. **Мацько Евеліна** (III курс). Синтез, фазовий склад і гідрогенсорбційні властивості модифікованих сплавів  $Y_2Ni_{17}$ .  
Наукові керівники: проф. Павлюк В.В., ст. наук. сп. Кордан В.М.
2. **Кіц Максим** (IV курс). Оптимізація умов вольтамперометричного визначення оксиму метамізолу натрію на РКЕ.  
Науковий керівник: доц. Ридчук П.В.
3. **Матійчук Вікторія** (III курс). Нові доміно реакції за участю 4,7-діоксо-7-фенілгептанової кислоти та біозостерної 4,7-діоксо-7-(2-тієніл)гептанової кислоти.  
Наукові керівники: ст. наук сп. Горак Ю.І., проф. Обушак М.Д.
4. **Гулик Марія** (I курс), **Волинець Вікторія** (I курс, магістр). Оптичні властивості ПАН та його металокомпозитів в тонких плівках та у вигляді водних дисперсій.  
Наукові керівники: доц. Яцишин М.М., проф. Решетняк О.В.
5. **Шаталов Богдан** (I курс, магістр). Кристалічна структура галіду  $Zr_{1-x}Ru_2Ga_x$  ( $x = 0,18$ ).  
Наукові керівники: проф. Котур Б.Я., пров. наук. сп. Бабіжецький В.С.
6. **Боднар Юлія** (IV курс). Вольтамперометричне дослідження папаверину з використанням планарної комірки з алмазним робочим електродом.  
Науковий керівник: доц. Дубенська Л.О.
7. **Красножон Глафіра** (IV курс). Синтез боронових комплексів з фрагментами карбазолу.  
Наукові керівники: ст. наук. сп. Литвин Р.З., проф. Обушак М.Д.
8. **Наталія Журіна** (III курс) Синтез і властивості кополімерів аніліну та о-анізидину як матеріалів чутливих елементів оптичних газових сенсорів.  
Науковий керівник: проф. Аксіментьєва О.І.

Засідання секції аналітичної хімії

1. **Кіц Максим** (IV курс). Оптимізація умов вольтамперометричного визначення оксиму метамізолу натрію на РКЕ.  
Науковий керівник: доц. Ридчук П.В.
2. **Комарницька Вікторія** (II курс), **Трухим Максим** (I курс, магістр). Алмазний електрод, допований бором, для дослідження електрохімічної поведінки харчового барвника діамантового чорного.  
Науковий керівник: доц. Дубенська Л.О.
3. **Клапач Юрій** (II курс), **Трухим Максим** (I курс, магістр). Вольтамперометричне визначення синтетичного харчового барвника діамантового чорного (E151) з використанням робочого алмазного електрода.  
Науковий керівник: доц. Дубенська Л.О.
4. **Муравльов Гліб** (III курс), **Максимів Тетяна** (IV курс), **Васильків Ольга** (IV курс), **Климко Олександр** (IV курс). Взаємодія N-[феніл(піридин-2іл)метиліден] гідроксиламіну з іонами феруму, кобальту, купруму та рутенію.  
Науковий керівник: доц. Тимошук О.С.
5. **Салагуб Тетяна** (II курс), **Піта Роман** (II курс, магістр). Використання планарної комірки з алмазним індикаторним електродом для вольтамперометричного визначення похідних 5-нітроімідазолу.  
Науковий керівник: асп. Плотнікова К.М.
6. **Волошин Юлія** (II курс). Закарпатський клиноптилоліт як найпоширеніший цеоліт: унікальні властивості та застосування.  
Науковий керівник: проф. Каличак Я.М.
7. **Габрей Іван** (II курс). Ідентифікація та визначення барвників у цукатах.  
Науковий керівник: асп. Дмухайло А.В.
8. **Гринів Юлія** (II курс). Використання клиноптилоліту для сорбції важких металів.  
Науковий керівник: доц. Василечко В.О.
9. **Макров Андрій** (III курс). Дослідження електрохімічних характеристик вуглецевих пастових електродів модифікованих закарпатським клиноптилолітом.  
Науковий керівник: доц. Дубенська Л.О.

10. **Васюхно Евеліна** (II курс), **Бугай Аліна** (IV курс). Використання клиноптилоліту для сорбції рідкісноземельних металів.  
Науковий керівник: проф. Каличак Я.М.
11. **Терешкевич Софія** (II курс). Дослідження трикомпонентних зразків системи Sc-Pd-P за допомогою X-променевого фазового та структурного аналізу.  
Науковий керівник: доц. Жак О.В.
12. **Курдельчук Анастасія** (III курс). Дослідження впливу рН на сорбцію іонів літію з водних розчинів на закарпатському клиноптиліті.  
Науковий керівник: асп. Шевчук Л.М.
13. **Боднар Юлія** (IV курс). Вольтамперометричне дослідження папаверину з використанням планарної комірки з алмазним робочим електродом.  
Науковий керівник: доц. Дубенська Л.О.

Засідання секції неорганічної хімії

1. **Теплінська Марія-Сузанна** (III курс). Електрохімічні властивості фази  $\text{Ba}_2\text{HoCu}_3\text{O}_7$  зі структурою YBCO.  
Наукові керівники: доц. Заремба О.І., проф. Гладішевський Р.Є.
2. **Калитовський Ігор** (III курс). Високоентропійна фаза  $(\text{La,Zr})(\text{Ni,Mg,Ga})_5$ : синтез, фазовий аналіз та електрохімічне гідрування.  
Науковий керівник: доц. Зелінська О.Я.
3. **Красіцька Анна** (III курс). Електрохімічне літіювання фаз  $\text{Y}_{5-x}\text{Sm}_x\text{Ge}_3$ .  
Наукові керівники: доц. Шпирка З.М., ст.наук.сп. Кордан В.М.
4. **Шаталов Богдан** (I курс, магістр). Кристалічна структура галіду  $\text{Zr}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Ga}_x$  ( $x = 0,18$ ).  
Наукові керівники: проф. Котур Б.Я., пров. наук. сп. Бабіжецький В.С.
5. **Фурманець Ірина** (I курс, магістр). Інтерактивні форми навчання – інструмент модернізації уроків хімії.  
Науковий керівник: доц Шпирка З.М.
6. **Дацко Роман** (III курс). Кристалічна структура сполук у системах  $\{\text{La,Pr,Nd,Sm}\}-\text{Ni}-\text{Al}-\text{Ge}$ .  
Наукові керівники: доц. Муць Н.М., ст. наук. сп. Токайчук Я.О., проф. Гладішевський Р.Є.
7. **Волошин Вікторія** (I курс, магістр). Електрохімічне гідрування сплавів  $\text{Tb}_2\text{Ni}_{17}:\text{Mg}$  та  $\text{Tb}_2\text{Ni}_{17}:\text{Mg}$ , модифікованих оксидами та CNT.  
Наукові керівники: проф. Павлюк В.В., ст.наук.сп. Кордан В.М.
8. **Олексюк Денис** (I курс, магістр). Тетрарні фази у системі  $\text{Dy}-\text{Pd}-\text{Al}-\text{Ga}$ .  
Наукові керівники: доц. Муць Н.М., ст. наук. сп. Токайчук Я.О., проф. Гладішевський Р.Є.
9. **Мацько Евеліна** (III курс). Синтез, фазовий склад і гідрогенсорбційні властивості модифікованих сплавів  $\text{Y}_2\text{Ni}_{17}$ .  
Наукові керівники: проф. Павлюк В.В., ст.наук.сп. Кордан В.М.
10. **Книжник Іван** (I курс, магістр). Синтез та особливості будови  $\pi$ -комплексів купруму(I) з 3-аліл-2-(2-піридил)іміно-1,3-тіазолідин-4-оном.  
Науковий керівник: доц. Сливка Ю.І.

Засідання секції органічної хімії

1. **Боднар Максим** (IV курс). Нові адукти Угі на основі 2-азидо-3-арилпропанових кислот та 2,2-диметоксиетан-1-аміну.  
Науковий керівник: доц. Тупичак М.А.
2. **Красножон Глафіра** (IV курс). Синтез боронових комплексів з фрагментами карбазолу.  
Наукові керівники: ст. наук. сп. Литвин Р.З., проф. Обушак М.Д.
3. **Піонтковський Іван** (IV курс). Дослідження стерично ускладнених амінів в реакції Угі.  
Науковий керівник: доц. Тупичак М.А.
4. **Дуда Діана-Мирослава** (IV курс). Молекулярний дизайн і синтез ангідридів бензойних кислот з флуорофорними замісниками.  
Наукові керівники: асп. Аксьонова М.В., проф. Обушак М.Д.
5. **Чура Олена** (IV курс). Дослідження взаємодії 5-арил-2-фуранкарбальдегідів з бета-дикарбонільними сполуками.  
Науковий керівник: ст. наук. сп. Горак Ю.І.
6. **Матійчук Вікторія** (III курс). Нові доміно реакції за участю 4,7-діоксо-7-фенілгептанової кислоти та біоізостерної 4,7-діоксо-7-(2-тієніл)гептанової кислоти.  
Наукові керівники: ст. наук. сп. Горак Ю.І., проф. Обушак М.Д.
7. **Шкробацька Ярина** (III курс), **Матуляк Петро** (I курс). Деякі аспекти синтезу непротеїногенних амінокислот, споріднених з аргініном.  
Науковий керівник: доц. Тупичак М.А.
8. **Садило Катерина** (II курс), **Смалиус Андрій** (II курс). Арилювання 3-метил-2-фуранкарбоненової кислоти, її етилового естеру та синтез 1,3,4-окса (тіа)діазолів на їх основі.  
Наукові керівники: ст. наук. сп. Горак Ю.І., проф. Обушак М.Д.
9. **Савченко Владислав** (I курс). Дослідження екстрактів бобової рослини *Indigofera spicata*.  
Науковий керівник: доц. Тупичак М.А.

Засідання секції фізичної та колоїдної хімії

1. **Слободний Віталій** (I курс, магістр). Електрохімічні параметри аморфних сплавів Co-Me-Si-B у лужному розчині.  
Науковий керівник: доц. Герцик О.М.
2. **Вероніка Пігель** (IV курс). Вплив короткотривалого відпалу на структуру АМС на основі алюмінію.  
Наукові керівники: доц. Герцик О.М., асп. Хрущик Х.І.
3. **Марта Чава** (IV курс). Вплив короткотривалого відпалу на електрохімічні властивості АМС на основі алюмінію.  
Наукові керівники: доц. Герцик О.М., асп. Хрущик Х.І.
4. **Артем Жицький** (I курс, магістр). Вивчення взаємодії у системі поліпірол/МАХ.  
Наукові керівники: проф. Аксіментьєва О.І., ст. наук. сп. Горбенко Ю.Ю.
5. **Наталія Журіна** (III курс) Синтез і властивості кополімерів аніліну та о-анізидину як матеріалів чутливих елементів оптичних газових сенсорів.  
Науковий керівник: проф. Аксіментьєва О.І.
6. **Вікторія Волинець** (I курс, магістр), **Марія Гулик** (I курс). Металокомпозити на основі поліаніліну: методи синтезу, дослідження та фізичні властивості.  
Наукові керівники: проф. Решетняк О.В., доц. Яцишин М.М.
7. **Марія Гулик** (I курс). Оптичні властивості плівок на основі целюлози та поліаніліну.  
Наукові керівники: доц. Яцишин М.М., проф. Решетняк О.В.
8. **Соломія Палка** (IV курс). Адсорбція  $\text{CrO}_4^{2-}$  та  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  поліаніліном.  
Науковий керівник: доц. Яцишин М.М.
9. **Марія Семенюк** (IV курс). Вплив рН середовища на деградацію барвника brilliant black E151 за участі АМС системи Fe-Nb-B.  
Науковий керівник: проф. Бойчишин Л.М.

ЗМІСТ

Вольтамперометричне дослідження папаверину з використанням планарної комірки з алмазним робочим електродом <i>Боднар Ю.П., Дубенська Л.О.</i>	4
Використання клиноптилоліту для сорбції рідкісноземельних металів <i>Васюхно Е.В., Бугай А.С.</i>	5
Закарпатський клиноптилоліт як найпоширеніший цеоліт: унікальні властивості та застосування <i>Волошин Ю.Я.</i>	6
Ідентифікація та визначення барвників у цукатах <i>Габрей І.І., Дмухайло А.В.</i>	7
Використання клиноптилоліту для сорбції важких металів <i>Гринів Ю.Р., Василечко В.О.</i>	8
Оптимізація умов вольтамперометричного визначення оксиму метамізолу натрію на РКЕ <i>Кіц М.О., Ридчук П.В.</i>	9
Вольтамперометричне визначення синтетичного харчового барвника діамантового чорного (Е151) з використанням робочого алмазного електрода <i>Клапач Ю.М., Трухим М.В.</i>	10
Алмазний електрод, допований бором, для дослідження електрохімічної поведінки харчового барвника діамантового чорного <i>Комарницька В.Ю., Трухим М.В.</i>	11
Дослідження впливу рН на сорбцію іонів літію з водних розчинів на закарпатському клиноптиліті <i>Курдельчук А.О., Шевчук Л.М.</i>	12
Дослідження електрохімічних характеристик вуглецевих пастових електродів модифікованих закарпатським клиноптилолітом <i>Макров А.В., Дубенська Л.О.</i>	13
Взаємодія N-[феніл(піридин-2іл)метиліден] гідроксиламіну з іонами феруму, кобальту, купруму та рутенію <i>Муравльов Г.О., Максимів Т.В., Васильків О.М., Климко О.П., Тимошук О.С.</i>	14

- Використання планарної комірки з алмазним індикаторним електродом для вольтамперометричного визначення похідних 5-нітроімідазолу 15  
*Салагуб Т.В., Піта Р.І., Плотнікова К.М.*
- Дослідження трикомпонентних зразків системи Sc-Pd-P за допомогою X-променевого фазового та структурного аналізу 16  
*Терешкевич С.А., Жак О.В.*
- Електрохімічне гідрування сплавів Tb<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>:Mg та Tb<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>:Mg, модифікованих оксидами та CNT 18  
*Волошин В.Т., Кордан В.М., Павлюк В.В.*
- Кристалічна структура сполук у системах {La,Pr,Nd,Sm}-Ni-Al-Ge 19  
*Дацко Р.М., Муць Н.М., Токайчук Я.О., Гладішевський Р.Є.*
- Високоентропійна фаза (La,Zr)(Ni,Mg,Ga)<sub>5</sub>: синтез, фазовий аналіз та електрохімічне гідрування 20  
*Калитовський І.В., Зелінська О.Я., Павлюк В.В., Зелінський А.В., Кордан В.М.*
- Електрохімічне літіювання фаз Y<sub>5-x</sub>Sm<sub>x</sub>Ge<sub>3</sub> 21  
*Красіцька А.М., Кордан В.М., Штурка З.М.*
- Синтез, фазовий склад і гідрогенсорбційні властивості модифікованих сплавів Y<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub> 22  
*Мацько Е.А., Кордан В.М., Павлюк В.В.*
- Тетрарні фази у системі Dy-Pd-Al-Ga 23  
*Олексюк Д.Р., Муць Н.М., Токайчук Я.О., Гладішевський Р.Є.*
- Електрохімічні властивості фази Ba<sub>2</sub>HoCu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> зі структурою YBCO 24  
*Теплінська М.-С.А., Заремба О.І., Гладішевський Р.Є.*
- Інтерактивні форми навчання – інструмент модернізації уроків хімії 25  
*Фурманець І.Ю., Штурка З.М.*
- Кристалічна структура галіду Zr<sub>1-x</sub>Ru<sub>2</sub>Ga<sub>x</sub> (x = 0,18) 26  
*Шталов Б.С., Мякуш О.Р., Бабіжецький В.С., Котур Б.Я.*
- Нові адукти Угі на основі 2-азидо-3-арилпропанових кислот та 2,2-диметоксигетан-1-аміну 28  
*Боднар М.І., Тупичак М.А., Походило Н.Т.*
- Дослідження стерично ускладнених амінів в реакції Угі 29  
*Піонтковський І.І., Тупичак М.А.*

Дослідження екстрактів бобової рослини <i>Indigofera spicata</i> <i>Савченко В.П., Тупичак М.А.</i>	30
Арилювання 3-метил-2-фуранкарбонової кислоти, її етилового естеру та синтез 1,3,4-окса (тіа)діазолів на їх основі <i>Садило К.А., Смаліус А.В., Горак Ю.І., Обушак М.Д.</i>	31
Деякі аспекти синтезу непротеїногенних амінокислот, споріднених з аргініном <i>Шкробацька Я.Р., Матуляк П.Я., Тупичак М.А.</i>	32
Вплив термообробки на корозійну тривкість аморфних сплавів Co-Me-Si-B у лужному розчині <i>Волинець В.Ю., Гулик М.Т., Стеців Ю.А., Яцишин М.М., Решетняк О.В.</i>	34
Вивчення взаємодії у системі поліпірол/МАХ <i>Жицький А.К., Горбенко Ю.Ю.</i>	35
Синтез і властивості кополімерів аніліну та о-анізидину як матеріалів чутливих елементів оптичних газових сенсорів <i>Журіна Н.Ю., Марків Ю.Б., Аксіментьєва О.І.</i>	36
Вплив короткотривалого відпалу на структуру АМС на основі алюмінію <i>Пігель В.Р., Хрущук Х.І., Кулик Ю.О., Герцик О.М., Бойчишин Л.М.</i>	37
Вплив рН середовища на деградацію барвника brilliant black E151 за участі АМС системи Fe-Nb-B <i>Семенюк М.В., Бойчишин Л.М.</i>	38
Електрохімічні параметри аморфних сплавів Co-Me-Si-B у лужному розчині <i>Слободний В.А., Герцик О.М.</i>	39
Вплив короткотривалого відпалу на електрохімічні властивості АМС на основі алюмінію <i>Чава М.І., Хрущук Х.І., Бойчишин Л.М., Герцик О.М.</i>	40
Програма звітної студентської наукової конференції	41
<i>Засідання секції аналітичної хімії</i>	42
<i>Засідання секції неорганічної хімії</i>	44
<i>Засідання секції органічної хімії</i>	45
<i>Засідання секції фізичної та колоїдної хімії</i>	46

## АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

<b>А</b>		<b>К</b>	
Аксiментьєва О.І.	36	Климко О.П.	14
<b>Б</b>		Комарницька В.Ю.	11
Бабiжецький В.С.	26	Кордан В.М.	18, 20, 21, 22
Боднар М.І.	28	Котур Б.Я.	26
Боднар Ю.П.	4	Красiцька А.М.	21
Бойчишин Л.М.	37, 38, 40	Кулик Ю.О.	37
Бугай А.С.	5	Курдельчук А.О.	12
<b>В</b>		<b>М</b>	
Василечко В.О.	8	Макров А.В.	13
Василькiв О.М.	14	Максимiв Т.В.	14
Васюхно Е.В.	5	Маркiв Ю.Б.	36
Волинець В.Ю.	34	Матуляк П.Я.	32
Волошин В.Т.	18	Мацько Е.А.	22
Волошин Ю.Я.	6	Муравльов Г.О.	14
<b>Г</b>		Муць Н.М.	19, 23
Габрей І.І.	7	Мякуш О.Р.	26
Герцик О.М.	37, 39, 40	<b>О</b>	
Гладишевський Р.Є.	19, 23, 24	Обушак М.Д.	31
Горак Ю.І.	31	Олексюк Д.Р.	23
Горбенко Ю.Ю.	35	<b>П</b>	
Гринiв Ю.Р.	8	Павлюк В.В.	18, 20, 22
Гулик М.Т.	34	Пiгель В.Р.	37
<b>Д</b>		Пiонтковський І.І.	29
Дацко Р.М.	19	Пiта Р.І.	15
Дмухайло А.В.	7	Плотнiкова К.М.	15
Дубенська Л.О.	4, 13	Походило Н.Т.	28
<b>Ж</b>		<b>Р</b>	
Жак О.В.	16	Решетняк О.В.	34
Жицький А.К.	35	Ридчук П.В.	9
Журiна Н.Ю.	36	<b>С</b>	
<b>З</b>		Савченко В.П.	30
Заремба О.І.	24	Садило К.А.	31
Зелiнська О.Я.	20	Салагуб Т.В.	15
Зелiнський А.В.	20	Семенюк М.В.	38
<b>К</b>		Слободний В.А.	39
Калитовський І.В.	20	Смалиус А.В.	31
Каличак Я.М.	5, 6	Стецiв Ю.А.	34
Кiц М.О.	9	<b>Т</b>	
Клапач Ю.М.	10	Теплiнська М.-С.А.	24
		Терешкевич С.А.	16

**Т**

Тимошук О.С.	14
Токайчук Я.О.	19, 23
Трухим М.В.	10, 11
Тупичак М.А.	28, 29, 30, 32

**Ф**

Фурманець І.Ю.	25
----------------	----

**Х**

Хрущик Х.І.	37, 40
-------------	--------

**Ч**

Чава М.І.	40
-----------	----

**Ш**

Шаталов Б.С.	26
Шевчук Л.М.	12
Шкробацька Я.Р.	32
Шпирка З.М.	21, 25

**Я**

Яцишин М.М.	34
-------------	----

Студентська наукова конференція хімічного факультету

Пленарне засідання

(програма та тези доповідей)

В авторській редакції.

Комп'ютерне верстання

*Евеліна Мацько*

*Вікторія Рибак*

*Юрій Клапач*

*Марія Гулик*

*Тетяна Безрука*

*Владислав Савченко*

*Володимир Журавель*

*Максим Кіц*

Підп. до друку 23.06.2025. Формат 60x84/16. Цифровий друк.

Тираж 15 прим.

Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів.

Львівський національний університет імені Івана Франка

Хімічний факультет

79005, м. Львів, вул. Кирила і Мефодія, 6.

