

# Магнітні адсорбенти

# Шпінельні ферити

Адсорбційна  
здатність

Висока  
площа поверхні

Магнітні  
властивості

Каталітичні  
властивості

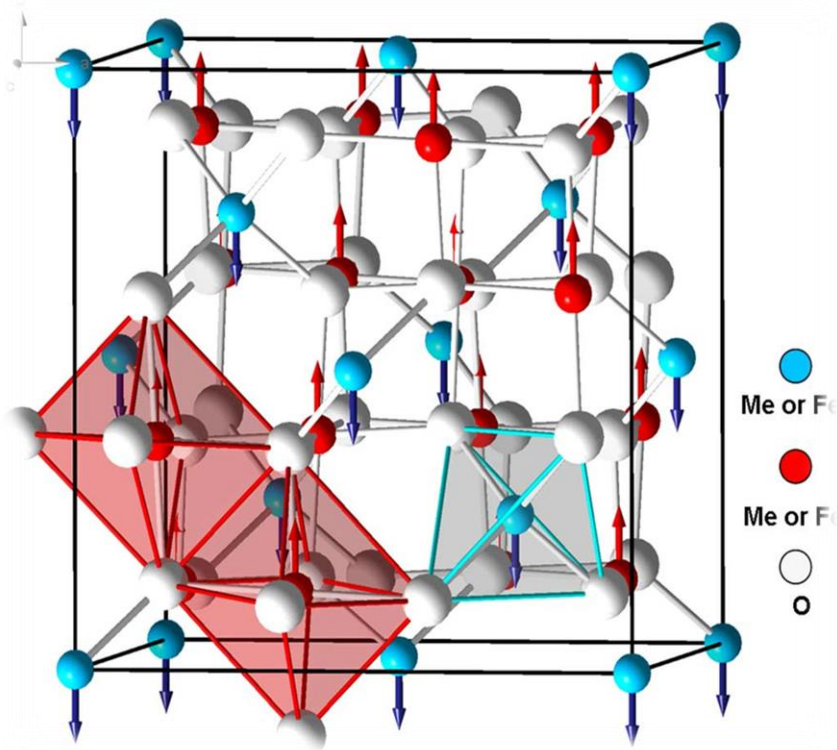


Рис. 1 Схематичне  
зображення структури  
фериту

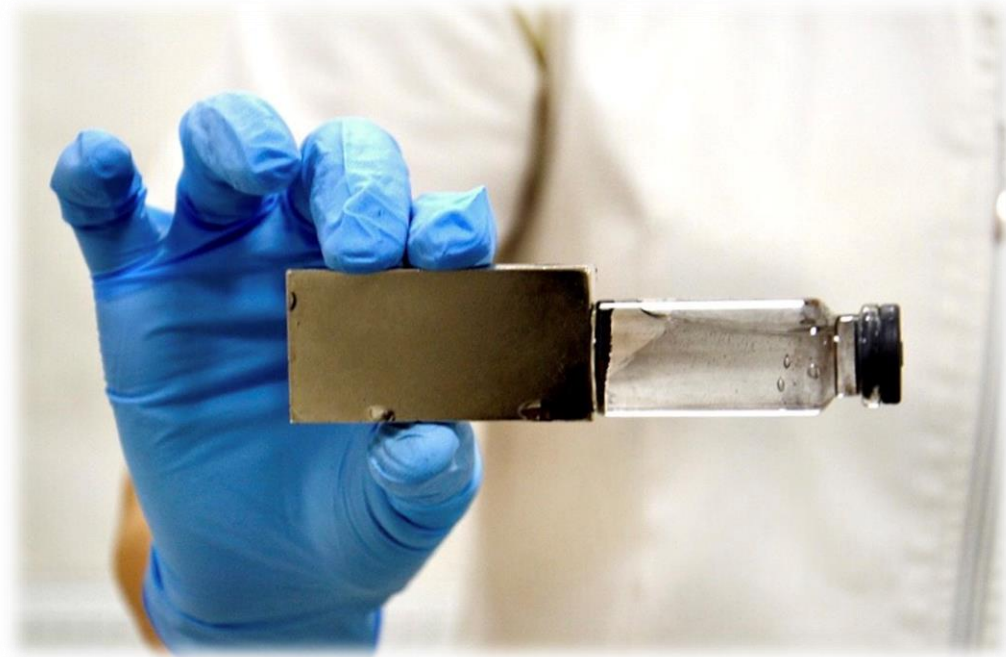





Рис. 2 Дія магнітного поля на  $\text{Mg-ZnFe}_2\text{O}_4$

# Методи дослідження феритів

- 
- Мессбауерівська спектроскопія
  - Інфрачервона спектроскопія

- 
- Скануюча електронна мікроскопія
  - Енергодисперсійний аналіз

- 
- Опис адсорбційних властивостей феритів за моделями Ленгмюра, Фрейндліха та Дубініна-Радушкевича

- 
- Вібраційна магнітометрія
  - Антиструктурне моделювання

# Синтез Mg-Zn феритів

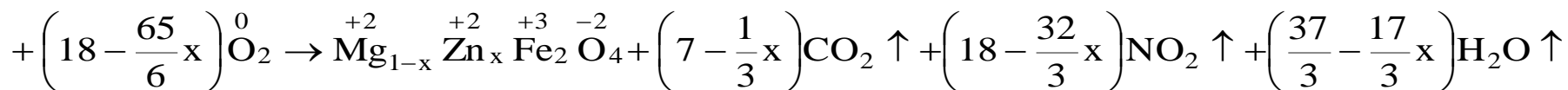
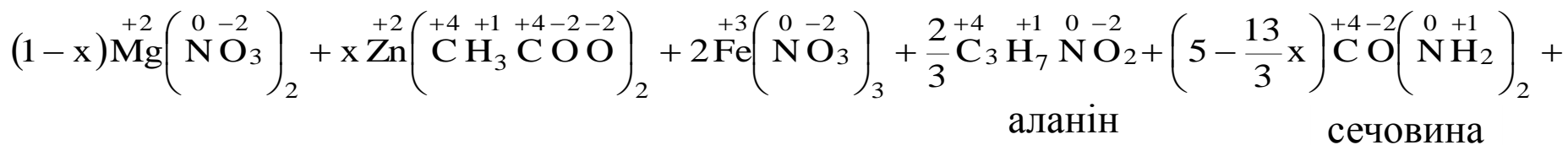
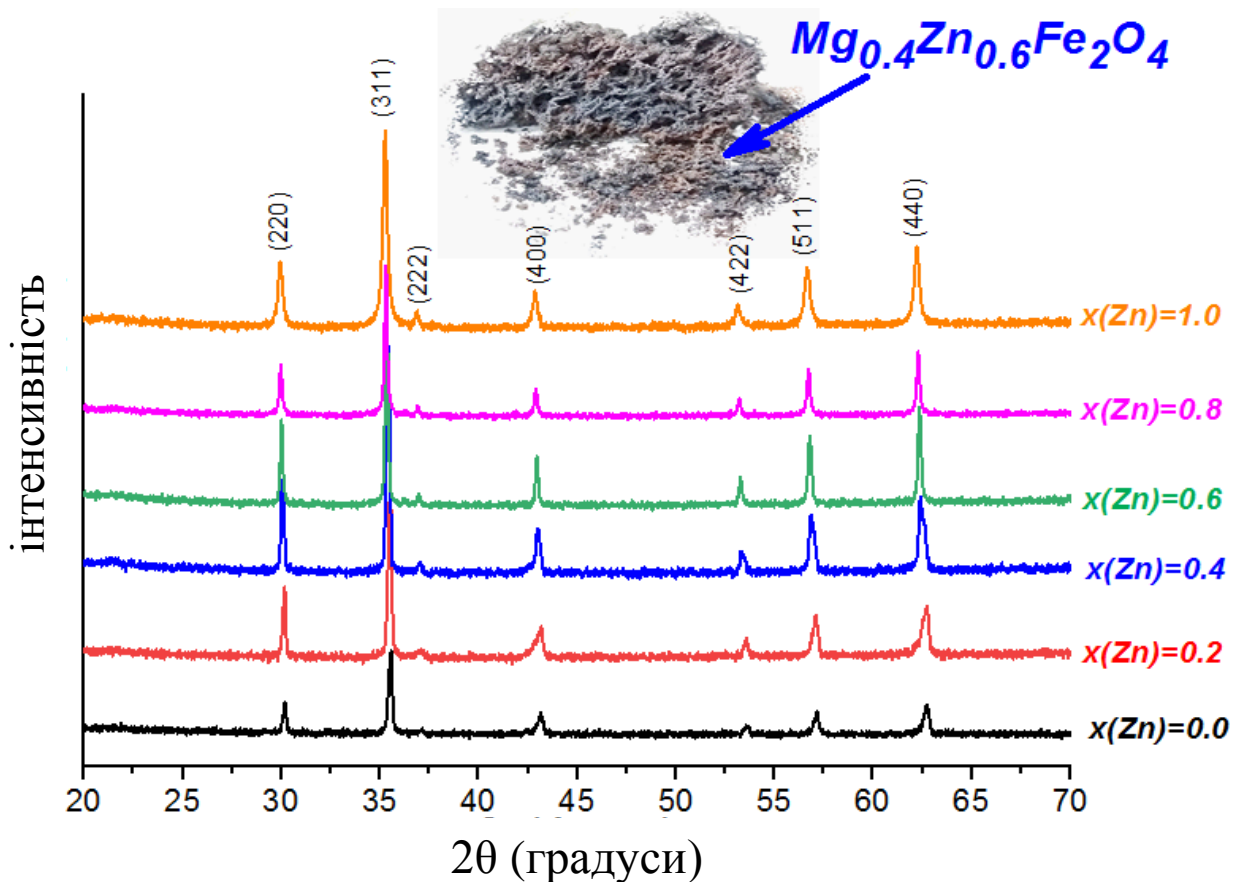
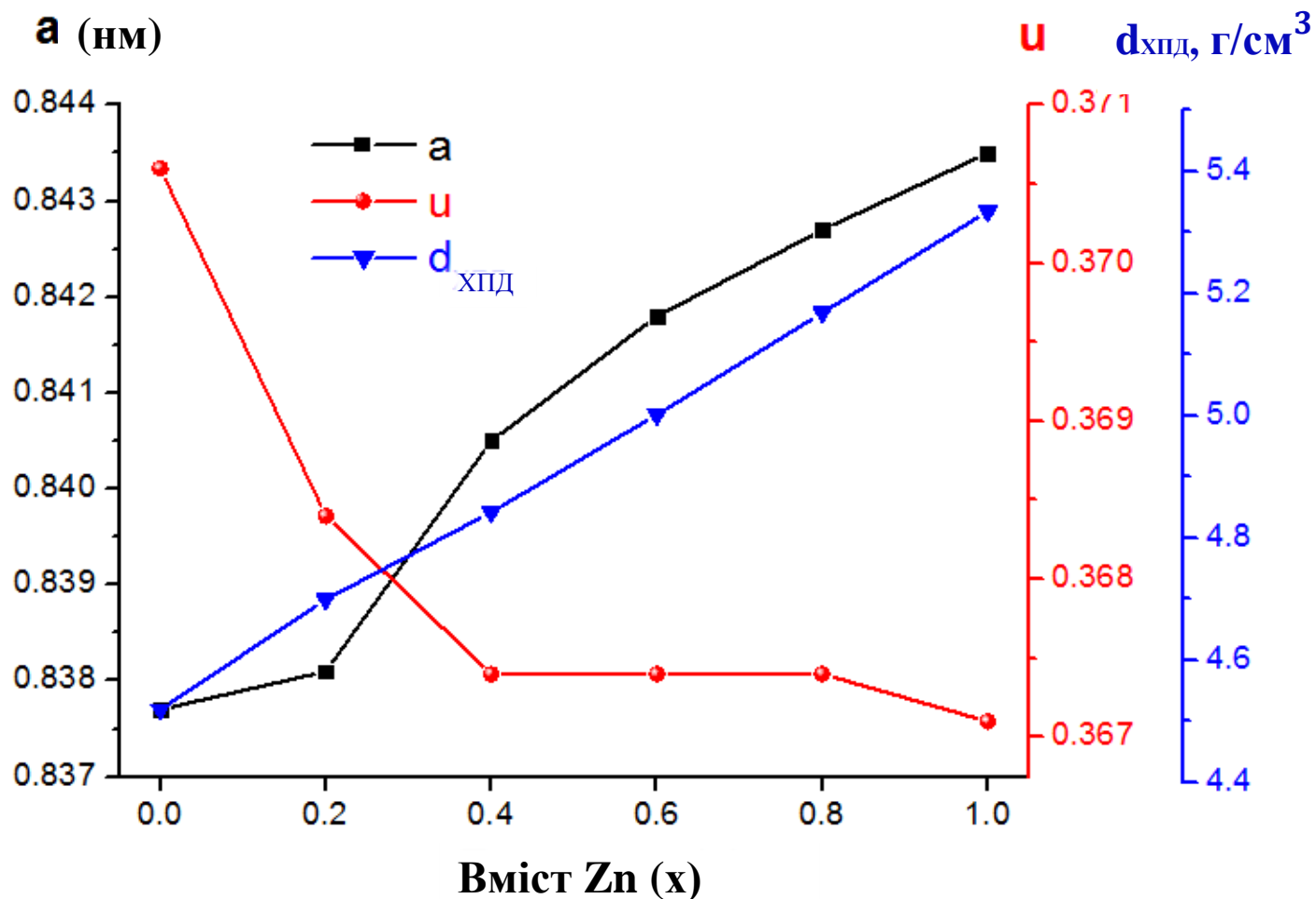


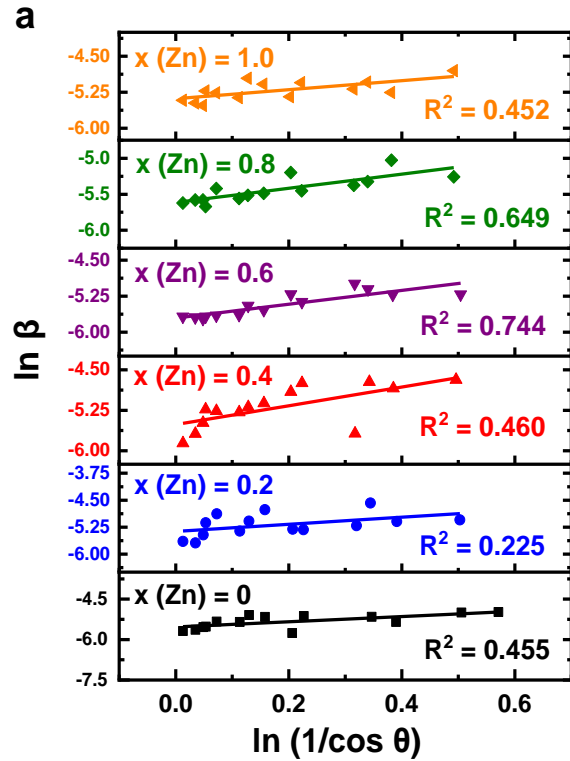
Рис. 3 X-променеві дифрактограми Zn-допованих магнієвих феритів



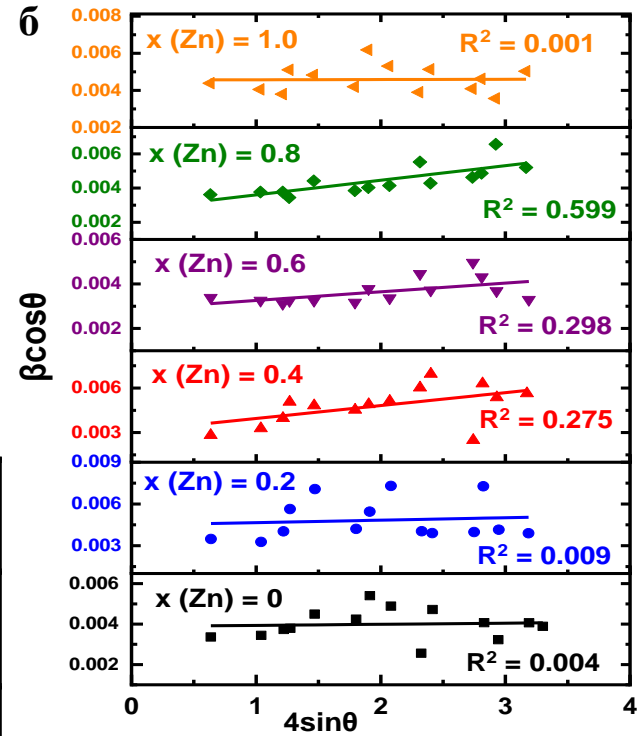
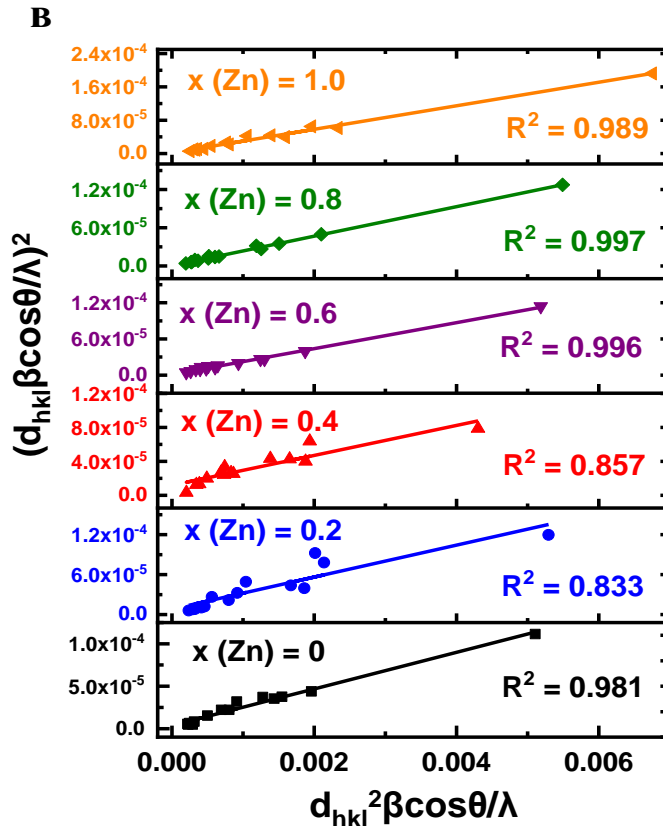
# Залежність параметру ґратки ( $a$ ), кисневого параметру ( $u$ ) та X-променевої густини ( $d_{\text{XПД}}$ ) від вмісту Zn у Mg-Zn феритах



# Розмір кристалітів $Mg-ZnFe_2O_4$



а) Модифікований метод Шеррера, (б) метод Вільямсона-Холла та (в) SSP (size-strain plot) метод розрахунку кристалітів



# Енергодисперсійна спектроскопія

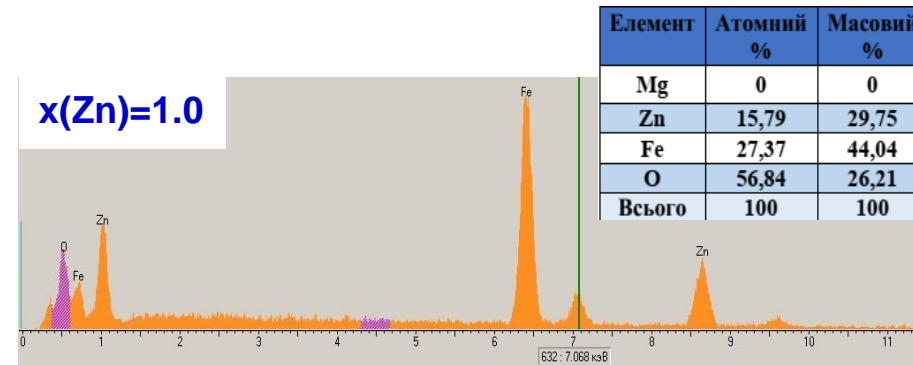
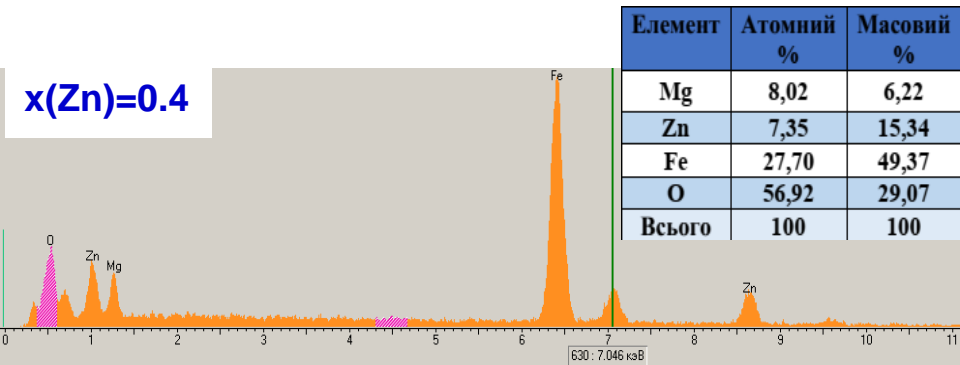
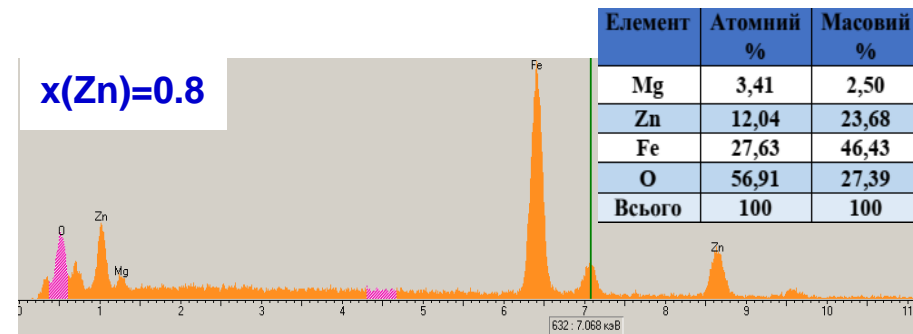
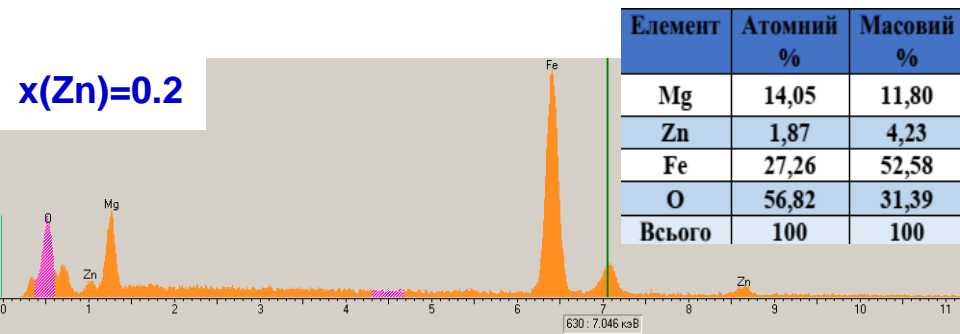
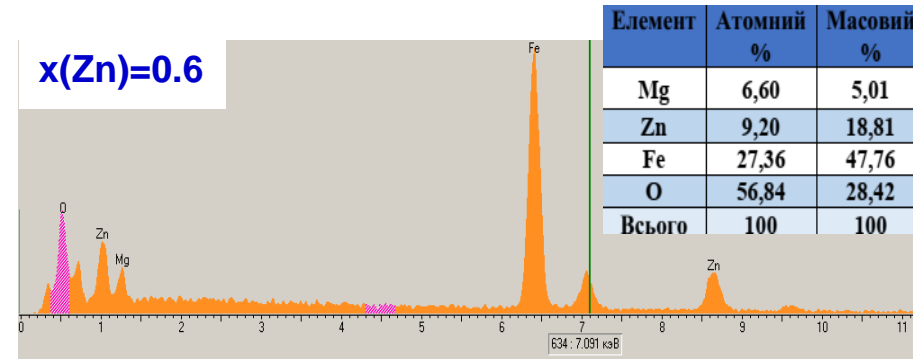
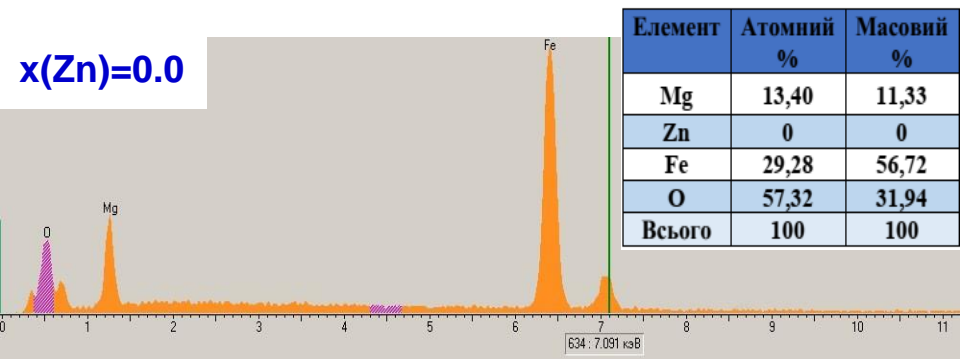
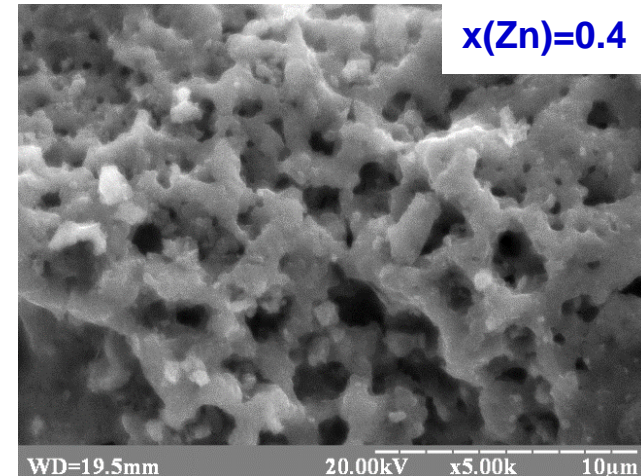
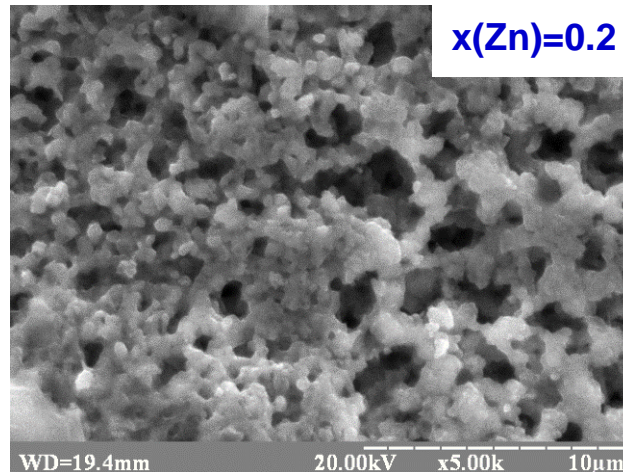
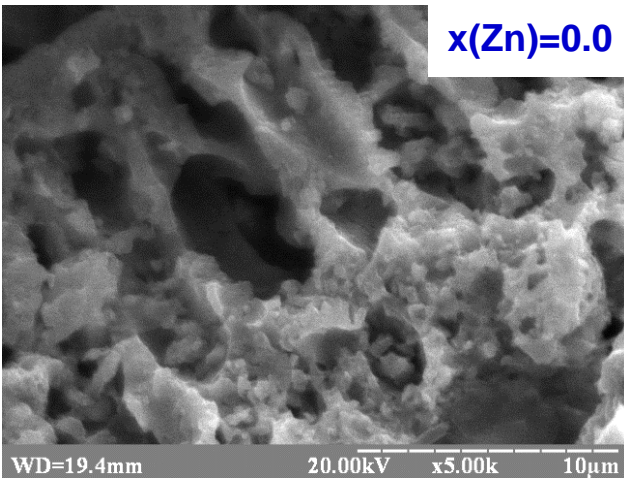


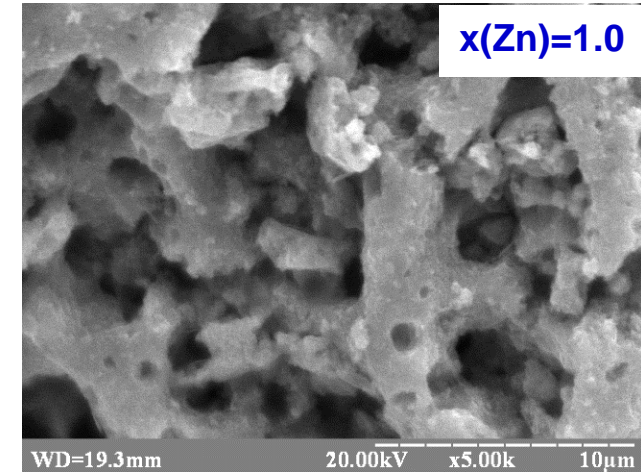
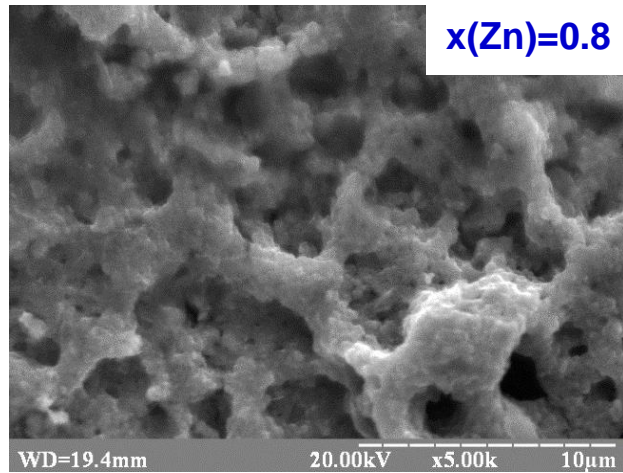
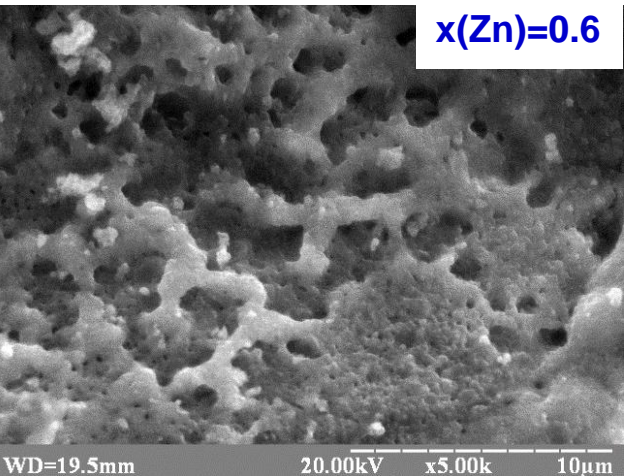
Рис. 6 Енергодисперсійний аналіз Mg-Zn феритів



# Скануюча електронна мікроскопія



Поверхня зразків відображає пористі сітчасті мікроструктури, викликані виділенням великої кількості газів в процесі синтезу





# Мессбауерівська спектроскопія

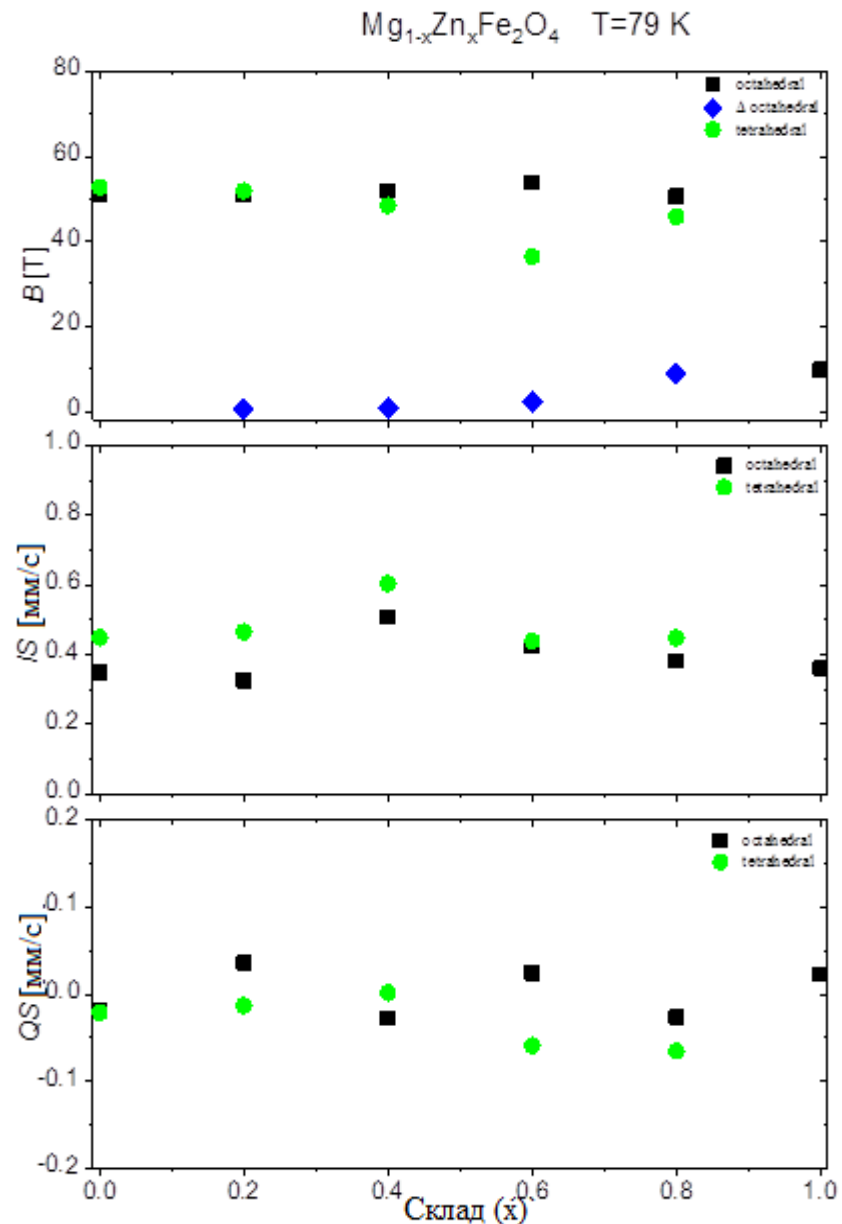
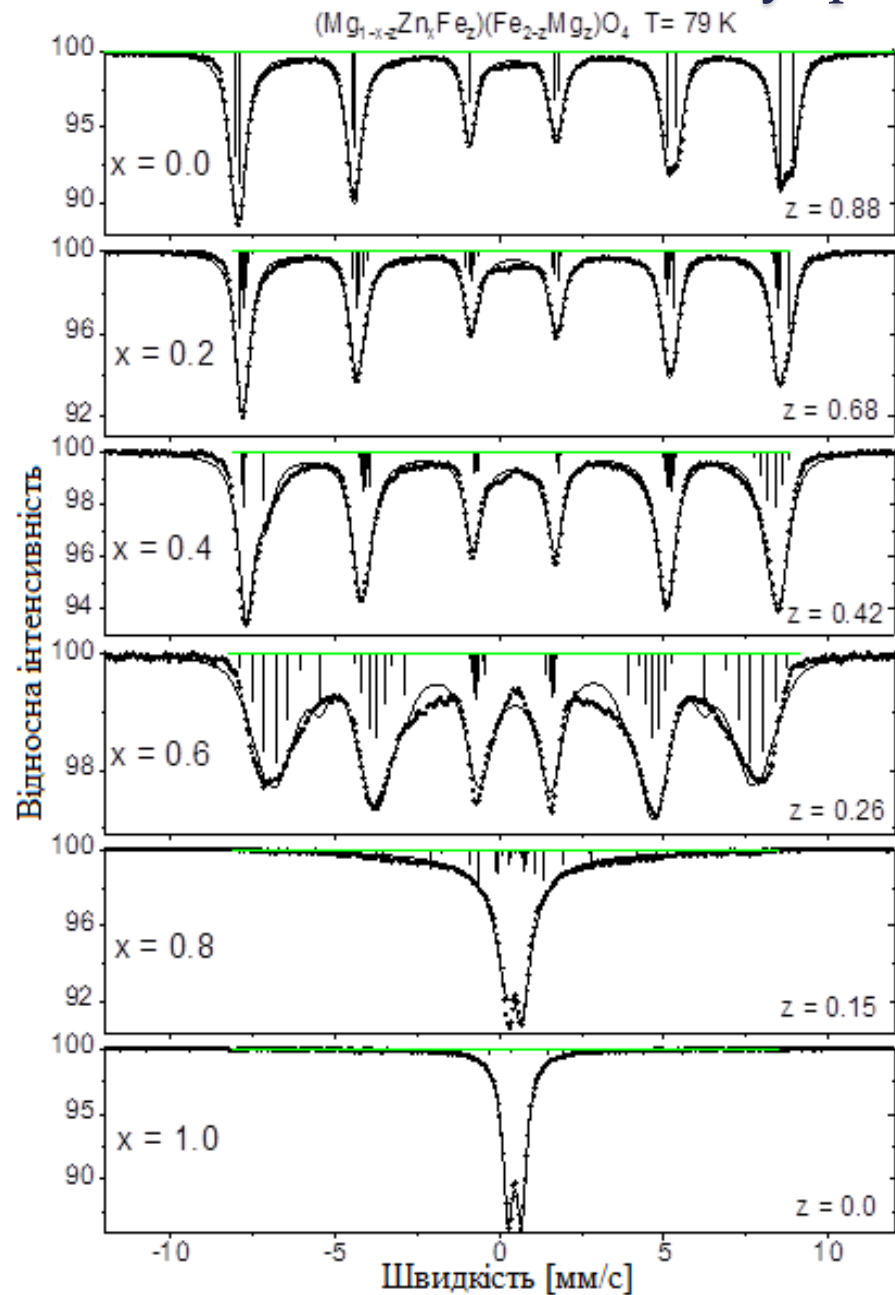


Рис. 8 Мессбауерівські спектри на ядрах <sup>57</sup>Fe

Рис. 9 Залежність надтонких параметрів взаємодії зразків

# Інфрачервона спектроскопія

У спектрах є два основні піки, що вказують на формування шпінельної структури для всіх зразків. Перший пік ( $\nu_1$ ) відповідає вібраційним коливанням катіон-оксигенових зв'язків, де катіон металу розміщується в тетраедричному положенні. Другий пік ( $\nu_2$ ) відповідає вібраційним коливанням катіон-оксигенового зв'язку, де катіон металу розміщується в октаедричному положенні

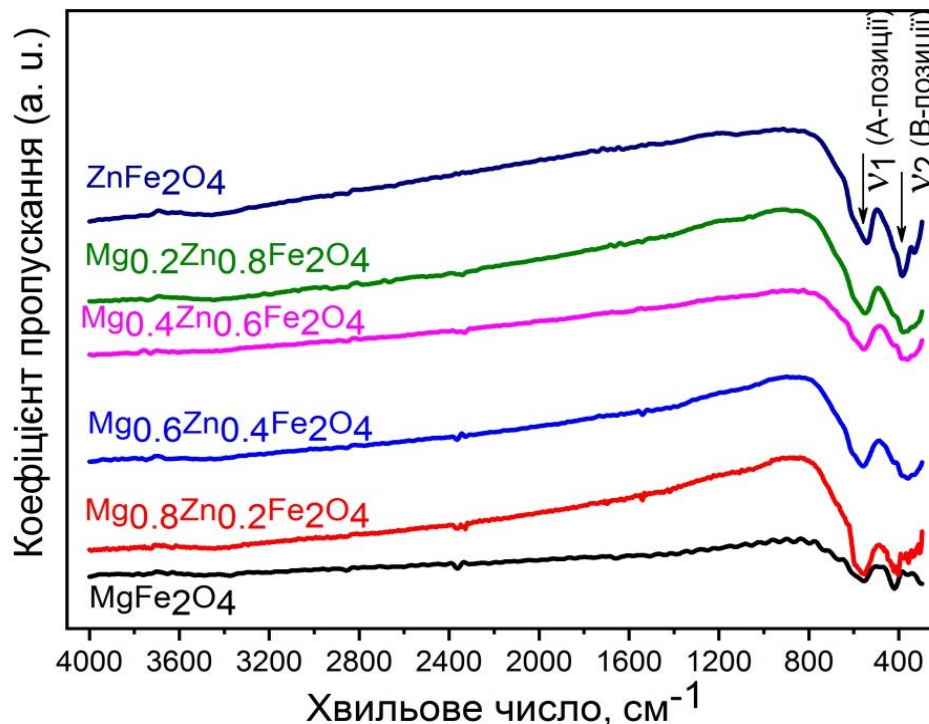


Рис. 10 ІЧ-спектри магній-цинкових феритів

# Визначення магнітних властивостей

Рис. 11 Зміна намагніченості (M) зразків  $Mg_{1-x}Zn_xFe_2O_4$  в залежності від прикладеного магнітного поля (H) при кімнатній температурі

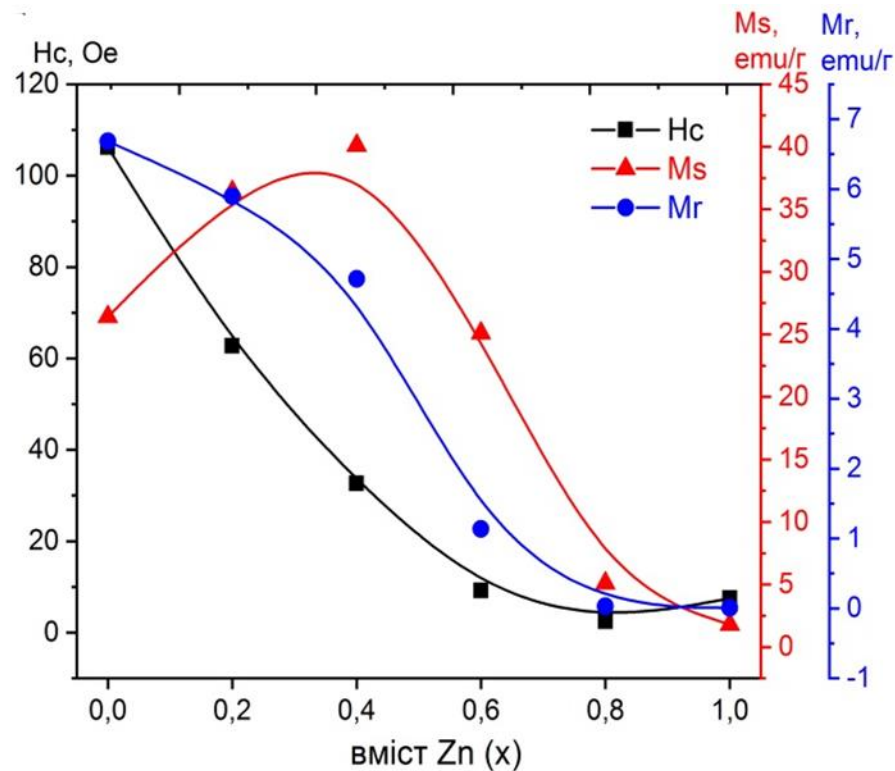
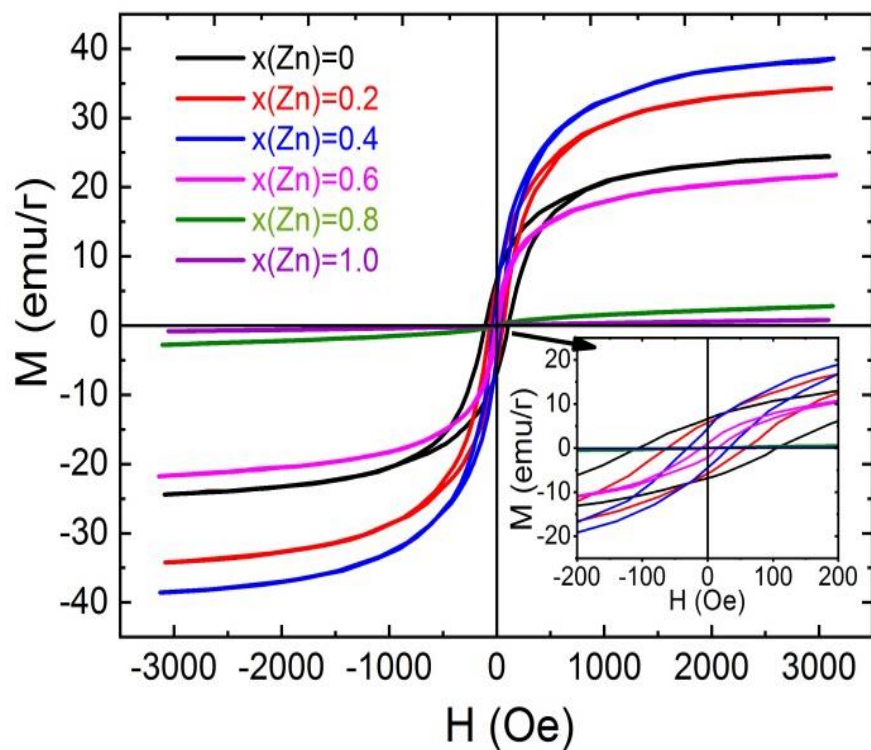
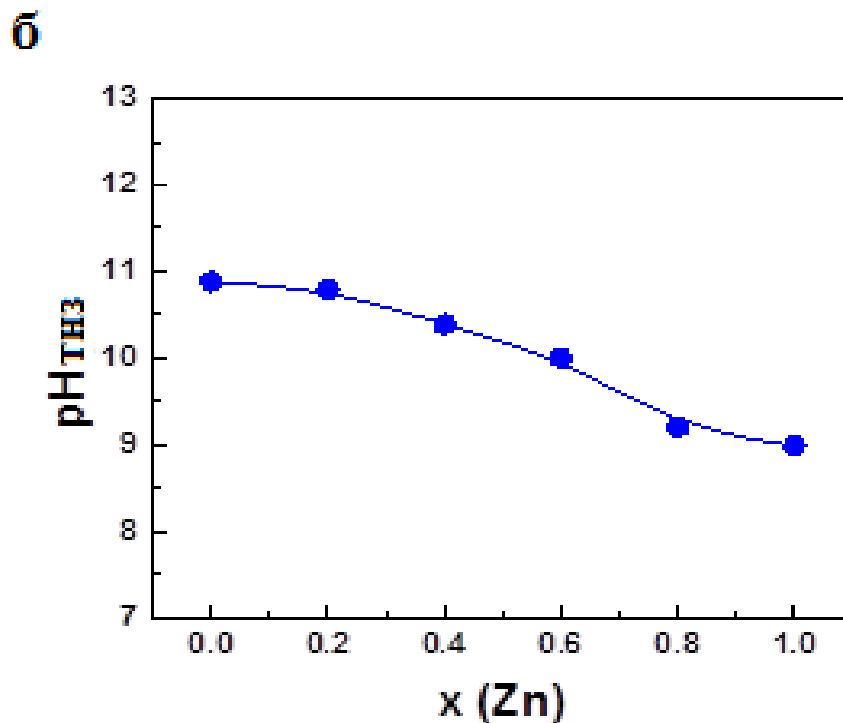
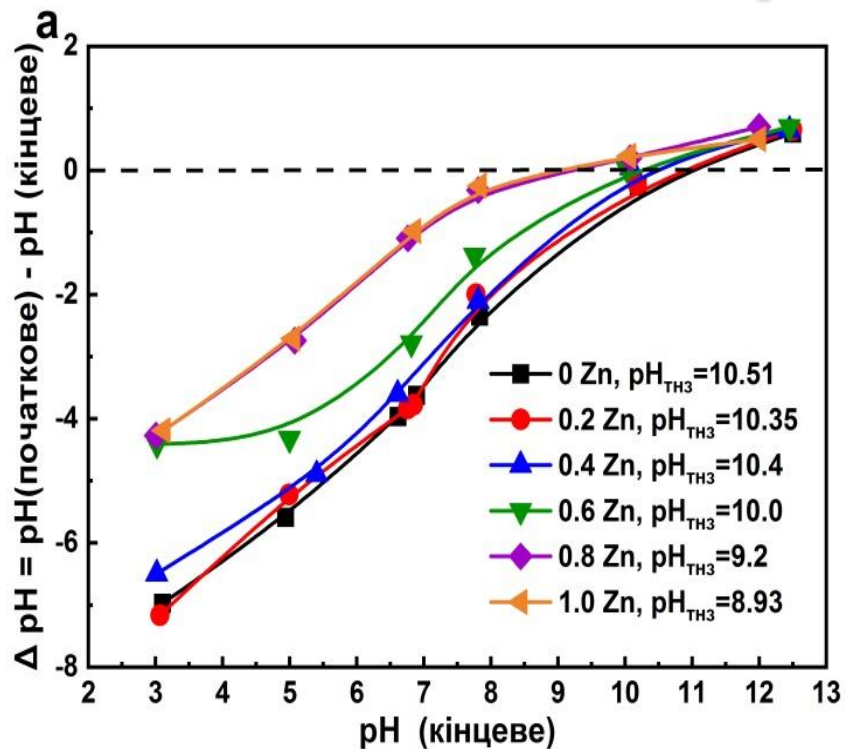


Рис. 12 Залежність намагніченості насичення ( $M_s$ ), залишкової намагніченості ( $M_r$ ) та коерцитивності ( $H_c$ ) від вмісту Zn (x) для зразків  $Mg_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ .

Рис. 13 Визначення  $pH_{ТНЗ}$  для  $Mg_{1-x}Zn_xFe_2O_4$  (а) та залежність точки нульового заряду від вмісту цинку в зразках (б)



Значення точки нульового заряду змінюється в межах від 10,5 до 8,9, тобто знижується із збільшенням вмісту Zn у феритах. Оскільки значення  $pH_{ТНЗ} > 7$ , то в нейтральному розчині поверхня магній-цинкових феритів буде набувати позитивного заряду.

# Адсорбція Cr(VI) на поверхні $Mg_{1-x}Zn_xFe_2O_4$

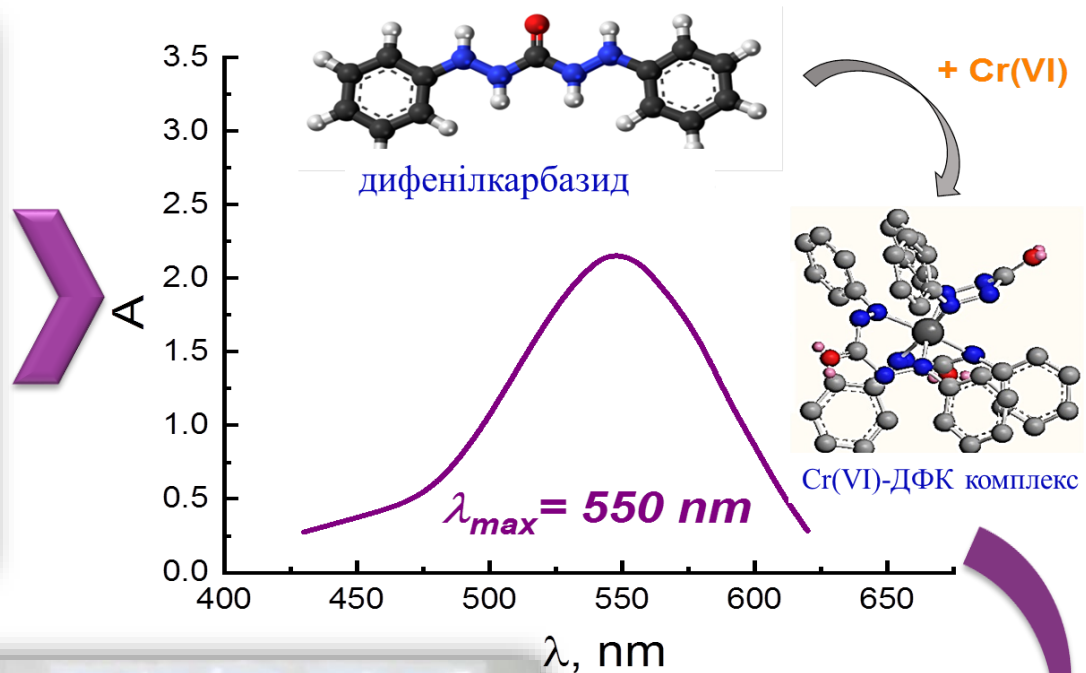


Рис. 14. Зразки фериту з  
концентрацією  $Cr_2O_7^{2-}$  2-25 мг/л



Рис. 16. Розчини Cr(VI)-ДФК в діапазоні концентрацій 2-25 мг/л

Рис. 15. Спектр поглинання комплексу  
Cr(VI)-ДФК в діапазоні 430-620 нм

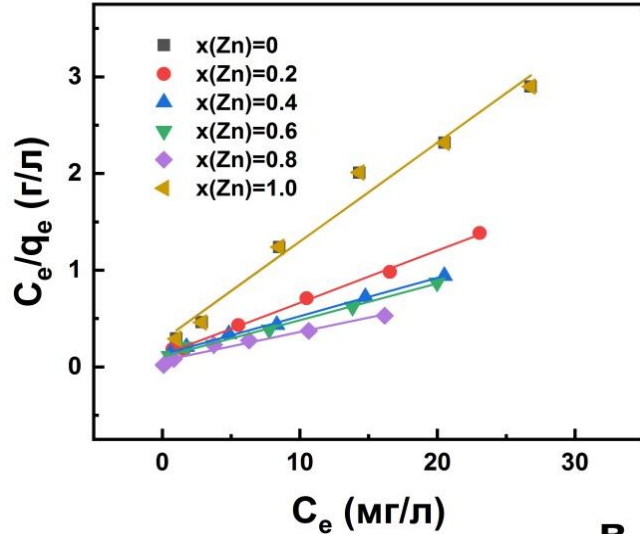




# Моделі адсорбції

Рис. 17 (а)

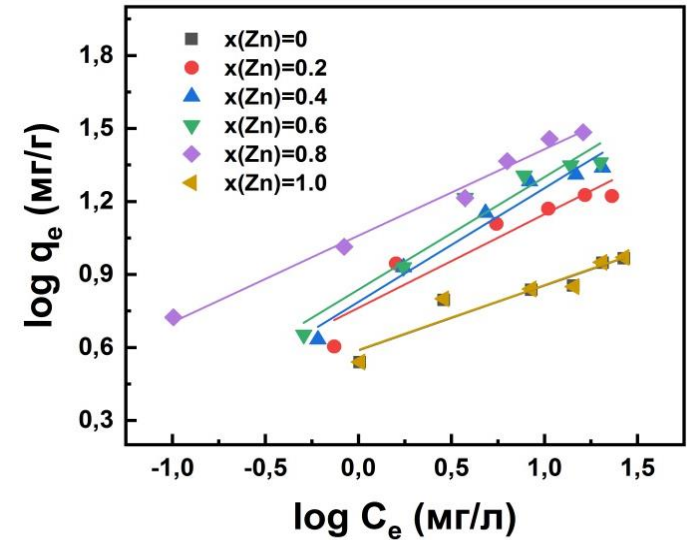
а Ізотерми моделі Ленгмюра



Модель Дубініна-Радушкевича визначил хімічну природу взаємодії між адсорбентом і адсорбатом

Рис. 17 (б)

б Ізотерми моделі Фрейндліха



Ізотерма Фрейндліха найкраще описує зразок  $Mg_{0,2}Zn_{0,8}Fe_2O_4$ ;

Модель Ленгмюра найкраще узгоджується з результатами адсорбції зразків  $Mg_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ , де  $x = 0.0; 0.2; 0.4; 0.6; 1$

в

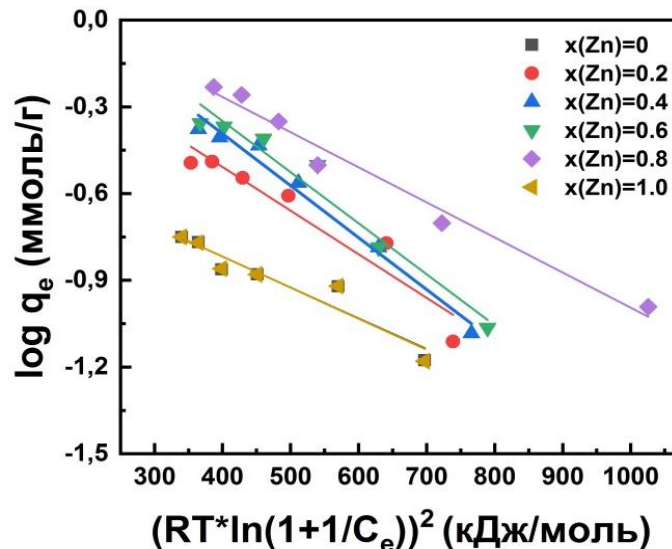


Рис. 17 (в) Ізотерми моделі Дубініна-Радушкевича

# Адсорбція Ni (II) та моделі ізотерм

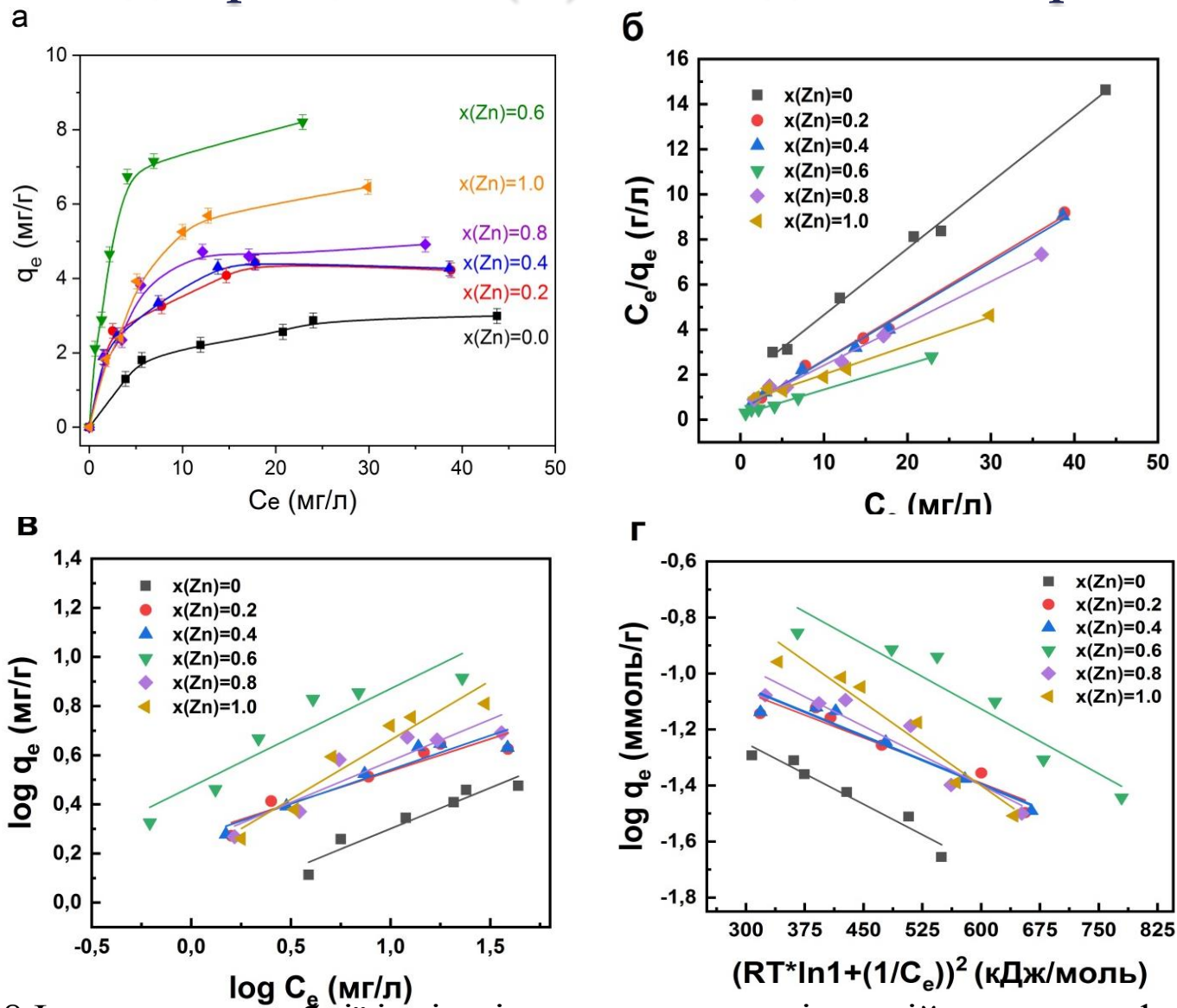


Рис. 18 Ізотерми адсорбції іонів нікелю на поверхні магній-цинкових феритів (а), узгоджені за ізотермами моделей Ленгмюра (б), Фрейндліха (в), Дубініна-Радушкевича (г)

Дослідження адсорбції Ni (II) на поверхні магній-цинкового фериту з  $x(\text{Zn}) = 0.8$  аналізували скануючою електронною мікроскопією (SEM) та енергодисперсійною рентгенівською спектроскопією (EDS)

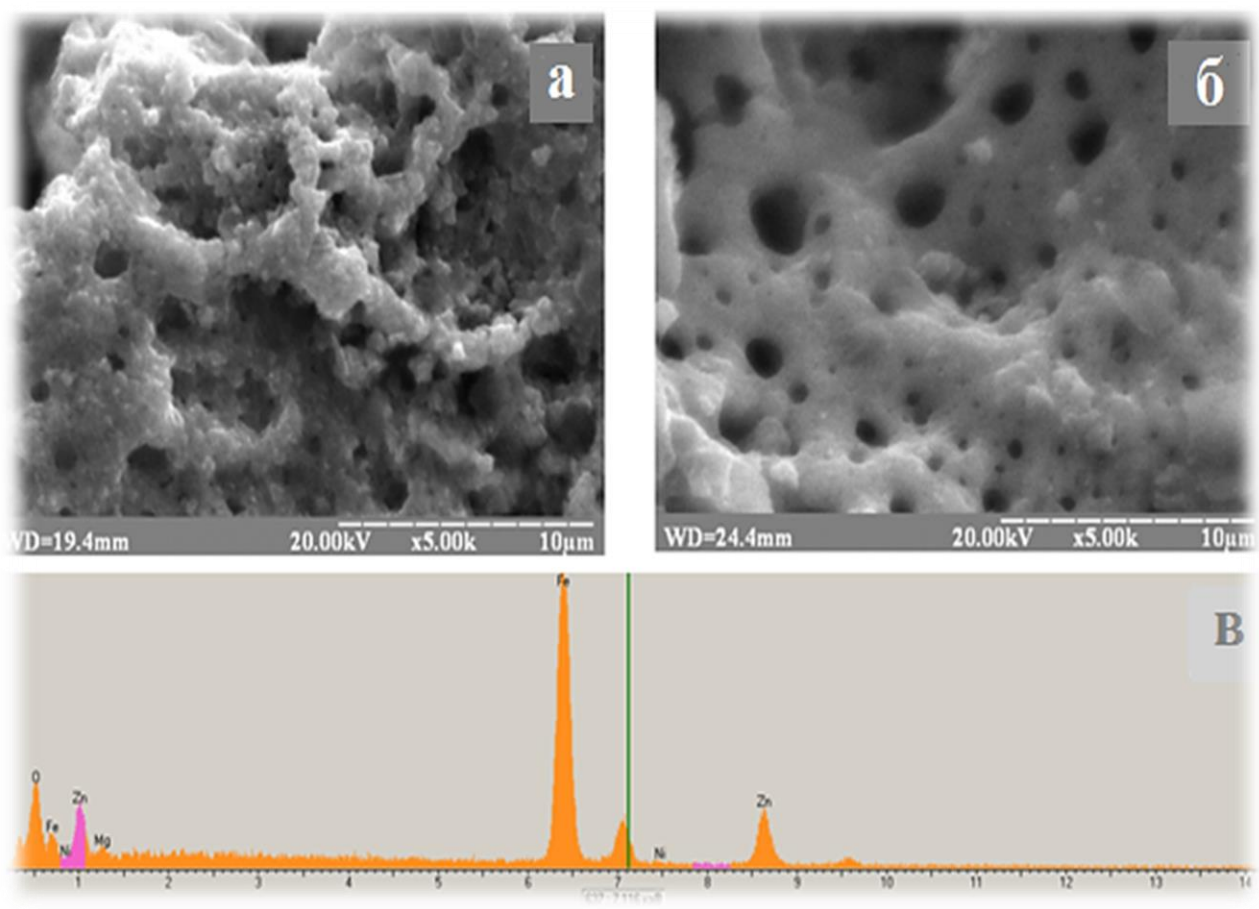


Рис. 19 СЕМ-фото  $\text{Mg}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$  до адсорбції (а) і СЕМ-фото (б) та EDS спектр після адсорбції йонів  $\text{Ni}^{2+}$  із розчину (в)

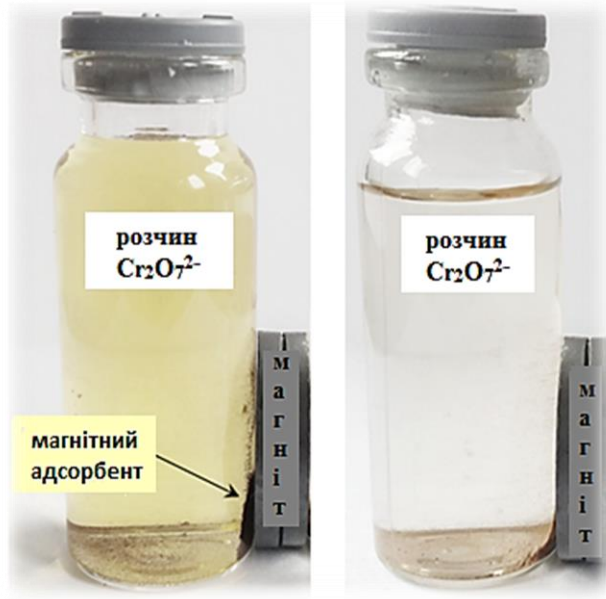
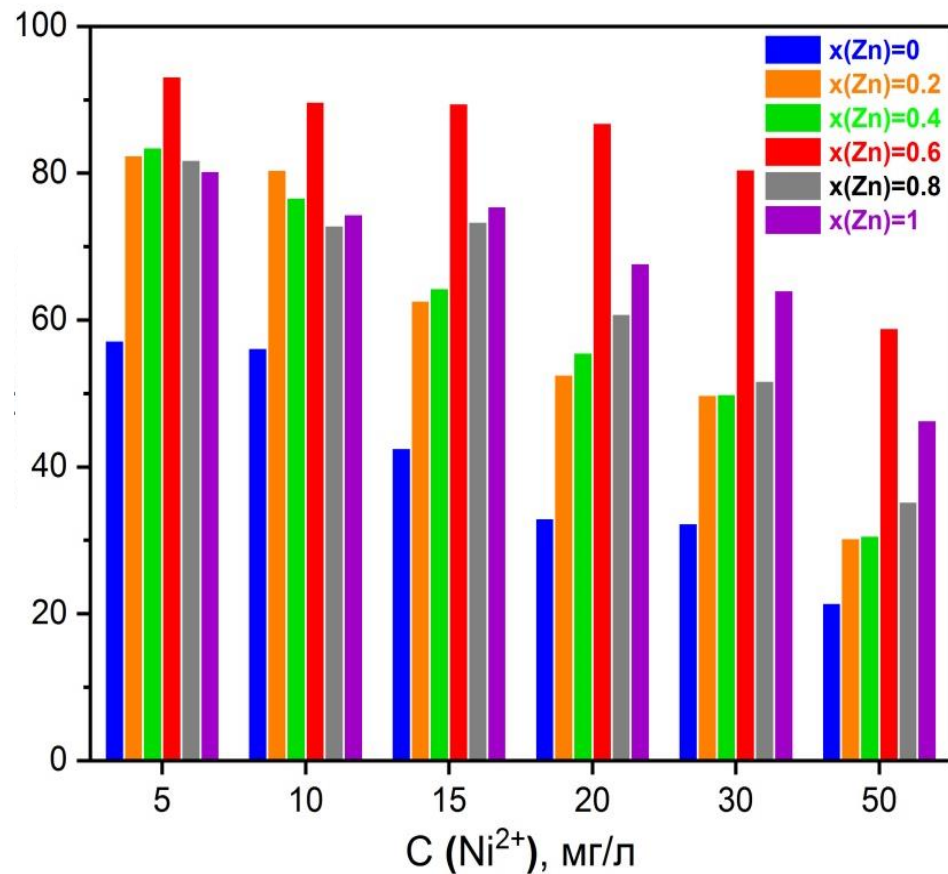
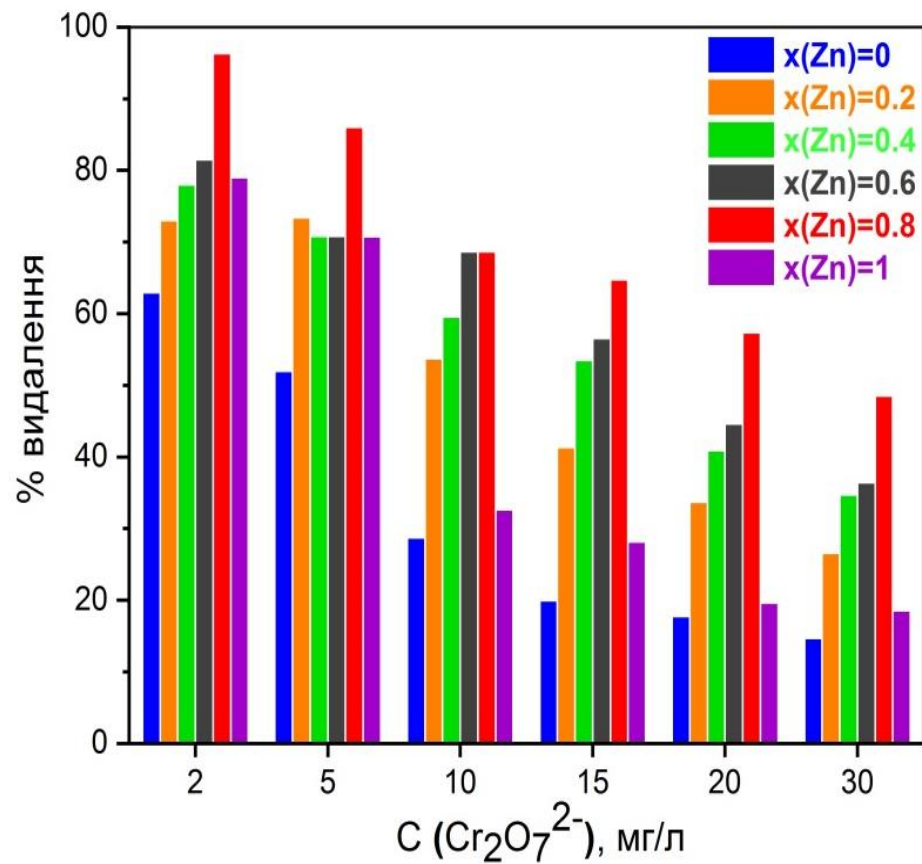


Рис. 20 Розчин  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  з  $\text{Mg}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$  до та після адсорбції під дією магніту

# Ефективність вилучення йонів $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ та $\text{Ni}^{2+}$ поверхнею магній-цинкових феритів



# Антиструктурне моделювання. Донорно-акцепторні активні центри на поверхні Mg-Zn феритів

x (Zn <sup>2+</sup> )	Хімічна формула	Антиструктурний склад
0.0	MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	(Mg <sup>×</sup> <sub>0.12</sub> Fe <sup>•</sup> <sub>0.88</sub> ) <sub>A</sub> [Mg' <sub>0.88</sub> Fe <sup>×</sup> <sub>1.12</sub> ] <sub>B</sub> (O <sup>×</sup> <sub>4</sub> ) <sub>O</sub>
0.2	Mg <sub>0.8</sub> Zn <sub>0.2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	(Mg <sup>×</sup> <sub>0.12</sub> Zn <sup>×</sup> <sub>0.2</sub> Fe <sup>•</sup> <sub>0.68</sub> ) <sub>A</sub> [Mg' <sub>0.68</sub> Fe <sup>×</sup> <sub>1.32</sub> ] <sub>B</sub> (O <sup>×</sup> <sub>4</sub> ) <sub>O</sub>
0.4	Mg <sub>0.6</sub> Zn <sub>0.4</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	(Mg <sup>×</sup> <sub>0.18</sub> Zn <sup>×</sup> <sub>0.4</sub> Fe <sup>•</sup> <sub>0.42</sub> ) <sub>A</sub> [Mg' <sub>0.42</sub> Fe <sup>×</sup> <sub>1.58</sub> ] <sub>B</sub> (O <sup>×</sup> <sub>4</sub> ) <sub>O</sub>
0.6	Mg <sub>0.4</sub> Zn <sub>0.6</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	(Mg <sup>×</sup> <sub>0.14</sub> Zn <sup>×</sup> <sub>0.6</sub> Fe <sup>•</sup> <sub>0.26</sub> ) <sub>A</sub> [Mg' <sub>0.26</sub> Fe <sup>×</sup> <sub>1.74</sub> ] <sub>B</sub> (O <sup>×</sup> <sub>4</sub> ) <sub>O</sub>
0.8	Mg <sub>0.2</sub> Zn <sub>0.8</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	(Mg <sup>×</sup> <sub>0.05</sub> Zn <sup>×</sup> <sub>0.8</sub> Fe <sup>•</sup> <sub>0.15</sub> ) <sub>A</sub> [Mg' <sub>0.15</sub> Fe <sup>×</sup> <sub>1.85</sub> ] <sub>B</sub> (O <sup>×</sup> <sub>4</sub> ) <sub>O</sub>
1.0	ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	(Zn <sup>×</sup> <sub>1.0</sub> ) <sub>A</sub> [Fe <sup>×</sup> <sub>2.0</sub> ] <sub>B</sub> (O <sup>×</sup> <sub>4</sub> ) <sub>O</sub>

- – надлишковий позитивний заряд; ' – надлишковий негативний заряд; A і B – це індекси катіонних тетраедричних і октаедричних позицій відповідно, а O – положення аніонів у шпінельній решітці



# Запропонований механізм адсорбції Cr (VI) та Ni (II) на поверхні магній-цинкових феритів

