

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Декан агробіологічного факультету  
доктор с.г. наук, професор

\_\_\_\_\_ О.Л. Тонха  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**РОЗГЛЯНУТО І СХВАЛЕНО**

на засіданні кафедри аналітичної і  
біонеорганічної хімії та якості води  
Протокол № 9 від « 09 » 05 2023 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ В.А. Копілевич  
д.х.н., професор

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
«ХІМІЯ ФОСФАТІВ І ПОЛІФОСФАТІВ»**

1. Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий) рівень
2. Галузь знань : 10 Природничі науки
3. Спеціальність: 102 Хімія
4. Освітньо-наукова програма: Хімія
5. Гарант ОНП : Копілевич Володимир Абрамович
6. Розробники: завідувач кафедри, доктор хім. наук, професор Копілевич В.А.  
к.х.н., доцент Лаврик Р.В.

Київ – 2023 р.

## 1. Опис навчальної дисципліни

### «ХІМІЯ ФОСФАТІВ І ПОЛІФОСФАТІВ»

(назва)

Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь		
Галузь знань	10 Природничі науки	
Освітньо-науковий рівень	третій	
Освітній ступінь	доктор філософії	
Спеціальність	102 «Хімія»	
Освітньо-наукова програма	Хімія	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	Вибіркова	
Загальна кількість годин	150	
Кількість кредитів ECTS	5	
Кількість змістових модулів	4	
Курсовий проект (робота)	Не передбачено	
Навчальна практика		
Форма контролю	екзамен	
Показник навчальної дисципліни для денної та заочної форми навчання		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки (курс)	2	2
Семестр	3	3
Лекційні заняття	20	10
Практичні, семінарські заняття	30	20
Лабораторні заняття		
Навчальна практика		
Самостійна робота	100	120
Індивідуальні завдання		
Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми навчання	5	5

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Предметом дисципліни «Хімія фосфатів і поліфосфатів» є вивчення методів і методик синтезу фосфатних сполук, їх якісного і кількісного складу, структури та властивостей, розробка і практичне застосування багатофункціональних матеріалів на основі одержаних речовин.

Метою вивчення дисципліни є формування у здобувачів професійних знань з загальної, неорганічної та аналітичної хімії на прикладі фосфатів s-, p-, d-металів і їх природних аналогів та синтезованих сполук, що мають практичне застосування як електрофізичні, суперйонні, нелінійно-оптичні та сегнето-електричні матеріали.

Опанування цієї дисципліни забезпечує знання та навички синтезу неорганічних та біонеорганічних фосфатних сполук та виготовленню на їхній основі конкурентноздатних і економічно доцільних функціональних матеріалів з електрофізичними, фотоелектричними, каталітичними, оптичними, сорбційними, біологічними властивостями тощо.

В результаті вивчення дисципліни здобувач повинен:

**знати:**

- аналіз сучасного стану хімії і технології синтезу фосфатних матеріалів України і країн світу;
- основні терміни, які використовуються в хімії фосфатів, види продукції, склад та властивості вихідних реагентів для синтезу, вимоги до якості хімічних реагентів;
- фізико-хімічні та фізичні аспекти хімічного аналізу фосфатних матеріалів технічного і багатофункціонального призначення з покращеними електрофізичними, фотоелектричними, каталітичними, оптичними, сорбційними, біологічними властивостями;
- вимоги стандартів до сировини, готової цільової продукції хімічних виробництв та до реагентів для їх аналізу;
- основи інтенсифікації процесів одержання і аналізу, у т.ч. методами математичного планування експериментів та напрямленого синтезу.

**вміти:**

- застосовувати науково обґрунтовані, ефективні, енергозберігаючі способи аналізу різних типів матеріалів неорганічної природи; користуватися сучасними методами математичного планування експериментів, контролю технологічними операціями, визначати основні хіміко-аналітичні характеристики сировини, готової продукції;
- створювати нові знання через оригінальні дослідження, якість яких може бути визнана на національному та міжнародному рівнях;
- приймати участь у наукових дискусіях на національному та міжнародному рівні, відстоювати свою власну позицію на конференціях, семінарах та форумах;
- брати участь у критичному діалозі та зацікавити результатами дослідження;
- здійснювати критичний аналіз різних інформаційних джерел, конкретних освітніх, наукових та професійних текстів у галузі загальної, неорганічної та аналітичної хімії та суміжних напрямків;
- критично сприймати та аналізувати чужі думки й ідеї, шукати власні шляхи вирішення проблеми, здійснювати критичний аналіз власних матеріалів;
- генерувати власні ідеї та приймати обґрунтовані рішення.

Навчальна дисципліна «Хімія фосфатів і поліфосфатів» забезпечує формування ряду **компетентностей**:

***Загальні компетентності:***

ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних наукових джерел. Здатність працювати з різними джерелами інформації, аналізувати та систематизувати її, виявляти не вирішені раніше задачі (проблеми) або їх частини, формулювати наукові гіпотези.

ЗК5. Здатність використовувати іноземну мову для представлення наукових результатів в усній та письмовій формах, для розуміння іншомовних наукових та професійних текстів для спілкування в іншомовному науковому і професійному середовищах..

***Спеціальні (фахові, предметні) компетентності***

ФК4. Володіння загальною методологією здійснення наукового дослідження, здатність організувати, планувати та реалізовувати хімічний експеримент, обчислювати та обробляти отримані дані.

ФК5. Здатність інтерпретувати дані, отримані при лабораторних експериментах та вимірюваннях і прив'язувати їх до відповідної теорії та брати участь у наукових дискусіях на міжнародному рівні, відстоювати свою власну позицію.

ФК7. Вміння самостійно виконувати науково-дослідну діяльність, необхідну для подальшого професійного розвитку в галузі хімії з використанням сучасних теорій, методів та інформаційно-комунікаційних технологій.

***Програмні результати навчання:***

ПР6. Знати основи методології організації, проведення та планування хімічного експерименту.

ПР7. Знати принципи, процедури, науковий апарат хімічного дослідження.

ПР8. Збирати, оцінювати та аналізувати дані, необхідні для розв'язання задач хімії, використовуючи відповідні методи та інструменти роботи з даними.

ПР10. Планувати, організувати та реалізувати експериментальні дослідження з хімії та дотичних наукових напрямів з використанням сучасних методів, технологій та обладнання.

ПРН14. Знати процедури реєстрації прав інтелектуальної власності та оформлення охоронних документів. Вміти проводити патентний пошук стосовно області хімічних винаходів, технологій та об'єктів.

ПР15. Вільно спілкуватися англійською та (за можливості) іншою іноземною мовою з професійних питань, усно і письмово презентувати результати досліджень з хімії іноземною мовою, брати участь в обговоренні проблем хімії.

ПР19. Оцінювати ризики у професійній діяльності хіміка та здійснювати запобіжні дії.

### 3. Структура навчальної дисципліни

- повного терміну денної (заочної) форми навчання

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
<b>Змістовий модуль 1. Особливості фосфатів, що впливають на їх властивості</b>												
Тема 1. Основні типи фосфатів за складом	12	2	2			8	12	1	1			10
Тема 2. Основні типи фосфатів за будовою	12	2	2			8	12	1	1			10
Тема 3. Основні типи фосфатів за властивостями	12	2	2			8	12	1	1			10
Тема 4. Використання і застосування фосфатних сполук та матеріалів на їх основі.	12	2	2			8	12	1	1			10
<b>Змістовий модуль 2. Твердофазний синтез фосфатів</b>												
Тема 5. Метод твердофазного синтезу (методики, обладнання та особливості застосування).	16	2	4			10	16	1	2			13
Тема 6. Твердофазний синтез подвійних фосфатів лужних та 3d-металів	14	2	2			10	14	1	2			11
<b>Змістовий модуль 3. Синтез фосфатів з розплавів</b>												
Тема 7. Синтез сполук в системах $M_2^I O-P_2O_5-Me_xO_y$ (де $M^I - Li, Na, K$ ; $Me - 3d$ -метали)	16	2	4			10	16	1	3			12
Тема 8. Легування та заміщення в структурах фосфатів: вплив на зв'язок „склад-структура-властивості„	16	2	4			10	16	1	2			13
<b>Змістовий модуль 4. Синтез фосфатних сполук з розчинів</b>												
Тема 9. Особливості та методики одержання аква-, аміно- гідроксо-фосфатів.	20	2	4			14	20	1	4			15
Тема 10. Синтез гетерометалічних і	20	2	4			14	20	1	3			16

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин										
	денна форма						Заочна форма				
	усього	у тому числі					усього	у тому числі			
л		п	лаб	інд	с.р.	л		п	лаб	інд	с.р.
змішаноаніонних фосфатів 3d-металів регульованого складу											
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>20</b>	<b>30</b>			<b>100</b>	<b>150</b>	<b>10</b>	<b>20</b>		<b>120</b>

#### 4. Теми лабораторних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Вивчення типів фосфатних сполук в залежності від катіонного та аніонного їх складу	2
2.	Вивчення структурних типів фосфатних сполук	2
3.	Основні типи фосфатів за властивостями	2
4.	Вивчення особливостей використання і застосування фосфатних сполук та матеріалів на їх основі.	2
5.	Вивчення методик твердофазного синтезу фосфатів	4
6.	Методика твердофазного синтезу подвійних фосфатів лужних та 3d-металів	2
7.	Методика синтезу сполук в оксидних системах типу: $M_2^I O-P_2O_5-Me_xO_y$ - (де $M^I$ – Li, Na, K; Me – 3d-метали )	4
8.	Вивчення легування та заміщення в структурах фосфатів	4
9.	Вивчення методик одержання аква-, аміно- гідроксо- фосфатів.	4
10.	Вивчення методик синтезу гетерометальних і змішаноаніонних фосфатів 3d-металів регульованого складу	4
<b>Разом по лабораторним роботам</b>		<b>30</b>

#### 5. Критерії оцінювання

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (лекції /лаб/с.р.)	Види робіт, які оцінюються	Кількість балів за видами робіт
<b>Змістовий модуль 1. Особливості фосфатів, що впливають на їх властивості</b>			
<b>Тема 1.</b> Основні типи фосфатів за складом	2/2/8	<b>Лаб. 1.</b> Вивчення типів фосфатних сполук в залежності від катіонного та аніонного їх складу	20
<b>Тема 2.</b> Основні типи фосфатів за будовою	2/2/8	<b>Лаб. 2.</b> Вивчення структурних типів фосфатних сполук	20
<b>Тема 3.</b> Основні типи фосфатів за властивостями	2/2/8	<b>Лаб. 3.</b> Основні типи фосфатів за властивостями	20

<b>Тема 4.</b> Використання і застосування фосфатних сполук та матеріалів на їх основі.	2/2/8	<b>Лаб. 4.</b> Вивчення особливостей використання і застосування фосфатних сполук та матеріалів на їх основі. <b>Модульний тест</b>	20 20
<b>Всього за М 1:</b>	8/8/32		<b>100</b>
<b>Змістовний модуль 2. Твердофазний синтез фосфатів</b>			
<b>Тема 5.</b> Метод твердофазного синтезу (методики, обладнання та особливості застосування).	2/4/10	<b>Лаб 5.</b> Вивчення методик твердофазного синтезу фосфатів	30
<b>Тема 6.</b> Твердофазний синтез подвійних фосфатів лужних та 3d-металів	2/2/10	<b>Лаб 6.</b> Методика твердофазного синтезу подвійних фосфатів лужних та 3d-металів <b>Модульна контрольна робота</b>	30 40
<b>Всього за М 2</b>	4/6/20		<b>100</b>
<b>Змістовний модуль 3. Синтез фосфатів з розплавів</b>			
<b>Тема 7.</b> Синтез сполук в системах $M_2^I O-P_2O_5-Me_xO_y$ - (де $M^I - Li, Na, K; Me - 3d$ -метали )	2/4/10	<b>Лаб 7.</b> Методика синтезу сполук в оксидних системах типу: $M_2^I O-P_2O_5-Me_xO_y$ - (де $M^I - Li, Na, K; Me - 3d$ -метали )	30
<b>Тема 8.</b> Легування та заміщення в структурах фосфатів: вплив на зв'язок „склад-структура-властивості,,	2/4/10	<b>Лаб 8.</b> Вивчення легування та заміщення в структурах фосфатів <b>Модульний тест</b>	30 40
<b>Всього за М 3</b>	4/8/20		<b>100</b>
<b>Змістовний модуль 4. Синтез фосфатних сполук з розчинів</b>			
<b>Тема 9.</b> Особливості та методики одержання аква-, аміно- гідроксо-фосфатів.	2/4/14	<b>Лаб 9.</b> Вивчення методик одержання аква-, аміно-гідроксо- фосфатів.	30
<b>Тема 10.</b> Синтез гетерометальних і змішаноаніонних фосфатів 3d-металів регульованого складу	2/4/14	<b>Лаб 10.</b> Вивчення методик синтезу гетерометальних і змішаноаніонних фосфатів 3d-металів регульованого складу <b>Презентація та доповідь</b> з обраної теми щодо методик синтезу та аналізу фосфатів.	30 40
<b>Всього за М 4</b>	4/8/28		<b>100</b>
<b>Разом:</b>	20/30/100		<b>400/70</b>
<b>Екзамен</b>			<b>30</b>

## 1. Контрольні питання для визначення рівня засвоєння знань здобувачами

1. Значення фосфоровмісних сполук для сучасної техніки та технології.
2. Наукове значення досліджень з питань синтезу та властивостей фосфатів.
3. Екологічні проблеми виробництва та застосування фосфоровмісних сполук.
4. Основні поняття та терміни з питань хімії фосфору.
5. Специфічні терміни хімії фосфатів та поліфосфатів.
6. Ядро та електронна будова атома фосфору.
7. Можливі валентні стани та ступені окиснення атома фосфору. Положення фосфору в періодичній таблиці.
8. Енергія іонізації, спорідненість з електроном, електронегативність, атомний та йонні радіуси як функція порядкового номеру атома фосфору.
9. Енергії та довжини зв'язків атома фосфору. Дипольні моменти та полярність молекул атома фосфору.
10. Систематика ковалентних сполук фосфору.
11. Типи сполук фосфору та їх структура: елементний фосфор, фосфіди, гідриди, галогеніди, оксиди, сульфідні, нітриди, нижчі кисневі кислоти фосфору, їх солі та ефіри.
12. Ортофосфорна кислота, її солі та складні ефіри.
13. Конденсовані ланцюгові, кільцеві та розгалужені фосфати і кислоти.
14. Аморфні фосфати та фосфатне скло.
15. Ізотопний склад та алотропні модифікації фосфору. Реакції одержання білого та червоного фосфору. Фосфор як окисник і відновник в хімічних реакціях.
16. Реакції гідролізу фосфідів металів, галогенідів та сульфідів фосфору водою.
17. Водневі сполуки фосфору, їх одержання та відновні властивості.
18. Реакції одержання гіпофосфітної, фосфористої і фосфорних кислот.
19. Відновлювальні властивості фосфорнуватої кислоти і гіпофосфітів та їх практичне застосування.
20. Фосфористий ангідрид, фосфористі кислоти та фосфіти, їх хімічні властивості. Відновлювальні властивості фосфористої кислоти та фосфітів та їх практичне застосування.
21. Фосфорний ангідрид, його одержання та хімічні властивості.
22. Фосфорні кислоти (орто-, піро-, мета-), особливості їх одержання та хімічні властивості.
23. Способи одержання поліфосфорних кислот, їх склад в залежності від концентрації  $P_2O_5$ .
24. Фізичні і хімічні властивості поліфосфорних кислот. Гідролітичне розщеплення зв'язків P-O-P в ланцюгах і кільцях поліфосфорних кислот і їх солей.
25. Поліфосфати, їх фазовий склад та термічна стійкість.
26. Хелатна здатність поліфосфатів, будова поліфосфатних комплексів.
27. Пірофосфатні та триполіфосфатні комплексні сполуки і їх практична значимість.
28. Важкорозчинні сполуки фосфатів та поліфосфатів.
29. Природа та стан води в гідратованих фосфатах. Принципи оцінки водневого зв'язку в гідратованих фосфатах.
30. Хімічний аналіз фосфатів та поліфосфатів за складом аніонів.
31. Комплексометричне визначення дво- і тризарядних катіонів у складі фосфатів.
32. Методи фотометричного визначення  $P_2O_5$ .
33. Хімізм гравіметричного методу визначення  $P_2O_5$ .
34. ІЧ спектроскопія для аналізу складу фосфатів і поліфосфатів. Встановлення стану води за ІЧ спектрами фосфатів.
35. Характеристичні частоти в ІЧ спектрах для орто- та поліфосфатних аніонів.
36. Ланцюгові (або лінійні) фосфатні аніони. Циклічні фосфати. Розгалужені фосфати.



37. Склад іонного розплаву фосфатів.
38. Твердофазні реакції.
39. Метод направленої синтезу фосфатів.
40. Метод осадження з водних розчинів.
41. Метод іонного обміну.
42. Метод гідротермального синтезу фосфатів.
43. Сіль-гель метод.
44. Синтез в розплавах поліфосфатних кислот (ПФК).
45. Синтез та структура подвійних фосфатів лужних та двовалентних металів.
46. Синтез та структура подвійних фосфатів лужних та тривалентних металів.
47. Синтез та структура подвійних фосфатів лужних та полівалентних металів.
48. Методом гідротермальної кристалізації.
49. Легування фосфатних розплавів.
50. Заміщення металів в структурі фосфатів.
51. Умови синтезу та особливості будови фосфатних сполук.

## **7. Методи навчання**

Під час вивчення дисципліни використовуються наукова та науково-періодична література, нормативні документи, наочне обладнання, комп'ютерні програми з відповідним програмним забезпеченням, наочні стенди, каталоги нормативних документів, Закони України, тощо.

## **8. Форми контролю**

1. Усний і письмовий поточний контроль знань.
2. Формою самостійної роботи здобувача є вивчення спеціальної та рекомендованої літератури та виконання індивідуальних завдань.
3. Підготовка презентації, доповідь та участь у її обговоренні.
4. Екзамен.

## **9. Методичне забезпечення**

Науково-методичне забезпечення навчального процесу передбачає: навчальні плани, підручники, навчальні посібники; наукові монографії, інструктивно-методичні матеріали; державні стандарти, індивідуальні навчально-дослідні завдання; контрольні роботи; текстові та електронні варіанти тестів для поточного і підсумкового контролю, методичні матеріали для організації самостійної роботи здобувачів.

## **10. Рекомендована література**

### **Основна**

1. Лаврик Р.В. Синтез та дослідження фізико-хімічних властивостей подвійних фосфатів лужних та 3d-металів (Mn, Co, Ni) : Монографія.- Київ : Експодрук. – 2023.- 182 с.
2. Каназава Т. Неорганічні фосфатні матеріали: Монографія. – К. Наукова думка. 1998.- – 298с.

3. Щегров Л. Н. Фосфаты двухвалентных металлов. – К.: Наукова думка, 1987. – 216 с.
4. Констант З. А., Диндуне А. П. Фосфаты двухвалентных металлов. – Рига: «Зинатне», 1987. – 371 с.
5. Копілевич В.А. Синтез та термічні перетворення індивідуальних і азотвмісних фосфатів марганцю (II), кобальту (II), міді (II), цинку: дис. ... доктора хім. наук. Київ, 1994. 605 с.
6. Войтенко Л.В. Гідратовані аміачні фосфати кобальту (II), міді (II) та цинку: автореф. дис. ... канд. хім. наук. Київ, 1994. 22 с.
7. Панчук Т.К. Амонійні дифосфати марганцю, міді та цинку і їх термічні перетворення: автореф. дис. ... канд. хім. наук. Київ, 1994. 20 с.
8. Савченко Д.А. Синтез та термічні перетворення гетерометальних та змішаноаніонних акваамінофосфатів купруму (II), цинку, ніколу (II) та кадмію: автореф. дис. ... канд. хім. наук. Київ, 2009. 18 с.
9. Жил'як І.Д. Акваамінодифосфати  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  та  $\text{Cd}^{2+}$  : автореф. дис. ... канд. хім. наук. Київ, 2006. 18 с.
10. Прокопчук Н.М. Акваамінофосфати кобальту (II), ніколу (II), цинку та купруму (II): автореф. дис. ... канд. хім. наук. Київ, 2008. 18 с.
11. Аббарбарчук Л.М. Синтез та термічні перетворення фосфатів стронцію та кадмію: автореф. дис. ... канд. хім. наук. Київ, 2004. 18 с.
12. Ущепівська Т.І. Синтез, структура, властивості фосфатів одно- та полівалентних металів: дис. ... канд. хім. наук. Київ, 2003.
13. Лаврик Р.В. Синтез та дослідження подвійних фосфатів лужних та 3d-металів (Mn, Co, Ni): дис. ... канд. хім. наук. Київ, 2004.

#### Додаткова

1. Везер В.-Дж. Фосфор и его соединения. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 687 с.
2. Корбридж Д. Фосфор: Основы химии, биохимии, технологи. – М.: Мир, 1982. – 650 с.
3. Неорганические полимеры /Под ред. Ф. Стоуна, Г. Грэхема. – М.: Мир, 1965. – 435 с.
4. Синтезы неорганических соединений /Под ред. У. Джолли. – М.: Мир, 1967. – Т. II. – 439 с.
5. Копілевич В.А. Фосфати двовалентних металів – матеріали сучасної техніки: вивченість, проблеми одержання та застосування / Аграрна наука і освіта, 2000, Т. 7, №1. – С. 48 – 54.

6. Копілевич В.А. Фосфати двовалентних металів як перспективні матеріали сучасної техніки та виробництва / Аграрна наука і освіта, 2000, Т. 8, №5-6. – С. 38 – 47.
7. Копілевич В.А., Войтенко Л.В., Савченко Д.А., Жиляк І.Д. Синтез акваамінофосфатів – спосіб одержання нових матеріалів. / Біоресурси і природокористування, 2009, Т. 1, № 1-2. – С. 38 – 51.
8. Особливості формування погрешностей при оцінюванні екологічної безпеки об'єктів довкілля (навчальний посібник для підготовки PhD спеціальності 102 «Хімія» ) /Л.В. Войтенко, В.А. Копілевич. – Київ: Експо-друк, - 2022. – 80 с.