

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Хімічний факультет**  
Кафедра органічної хімії

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

В.о. заступника декана  
з навчальної роботи



*Наталія Усенко*  
Наталія УСЕНКО

« 30 » 06 2025 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
ПРИРОДНІ ЕЛЕМЕНТОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ**

для здобувачів освіти

галузь знань	<b>Е Природничі науки, математика та статистика</b>
спеціальність	<b>ЕЗ Хімія</b>
освітній рівень	<b>магістр</b>
освітня програма	<b>Хімія</b>
вид дисципліни	<b>вибіркова</b>

Форма навчання	<b>денна</b>
Навчальний рік	<b>2026/2027</b>
Семестр	<b>III</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>3</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<b>українська</b>
Форма заключного контролю	<b>іспит</b>

Викладачі: **Ягупольський Юрій Львович, Горічко Мар'ян Віталійович**

Пролонговано: на 2026/2027 н. р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
на 2027/2028 н. р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КИЇВ – 2025**

Розробники: **Ягупольський Юрій Львович**, проф., д.х.н., зав. відділом ІОХ НАН України  
**Горічко Мар'ян Віталійович**, доц., к.х.н., доцент кафедри органічної хімії

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри органічної хімії

 Олександр ГРИГОРЕНКО

Протокол № 15 від 5 травня 2025 року

Схвалено науково-методичною комісією хімічного факультету

Протокол № 9 від 7 травня 2025 року

Голова науково-методичної комісії  Олександр ПОЇК

« 7 » травня 2025 року

**1. Мета дисципліни** – сформуванати цілісне уявлення про роль елементорганічних сполук у природних процесах, дати знання із направленого органічного синтезу природних елементорганічних сполук та їх аналогів, навчитися використовувати раніше добуті знання для вивчення, дослідження, ідентифікації елементорганічних сполук.

**2. Попередні вимоги до опанування навчальної дисципліни:**

1. Знати органічну хімію на рівні бакалавра за спеціальністю «Хімія».
2. Володіти навичками написання органічних реакцій.
3. Мати уявлення про стереохімію на рівні бакалавра за спеціальністю «Хімія».
4. Володіти навичками написання механізмів органічних реакцій на рівні бакалавра за спеціальністю «Хімія».

**3. Анотація навчальної дисципліни.** В рамках курсу «Природні елементорганічні сполуки» вивчаються розділи органічної хімії, що стосуються природних та синтетичних сполук із атомами F, S, Si, P, B. Розглядається природа зв'язку карбон-гетероатом; номенклатура, спектроскопія та застосування елементорганічних сполук; фосфіни, солі фосфонію; похідні фосфористої та фосфорної кислот; фосфазени та іліди фосфору; тіоли, сульфіді, солі сульфонію; сульфоксиди, сульфони; іліди сірки; сульфенові, сульфіннові, сульфонові кислоти; тіокарбонільні сполуки; борани, кисеньвмісні сполуки бору; кремнійорганічні сполуки. Значна увага приділяється хімії фторорганічних сполук.

**4. Завдання:** розвиток теоретичних уявлень студентів про особливості будови та хімічних властивостей елементорганічних природних та синтетичних сполук; набуття навичок у плануванні синтезів за участю елементорганічних сполук.

Навчальна дисципліна спрямована на досягнення наступних загальних та спеціальних (фахових) компетентностей:

ЗК2 (здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями),

ЗК4 (здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях),

ЗК14 (здатність до пошуку, критичного аналізу та обробки інформації з різних джерел),

ФК6 (здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними),

ФК8 (здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в галузі хімії, вибирати напрями та відповідні методи для їх розв'язання на основі розуміння сучасної проблематики досліджень в галузі хімії та беручи до уваги наявні ресурси),

ФК13.8 (здатність отримувати природні органічні сполуки та їх аналоги в індивідуальному стані, здійснювати їх модифікацію),

ФК14.8 (здатність доводити будову та визначати властивості природних органічних сполук та їх аналогів за допомогою сучасних фізико-хімічних методів дослідження).

**5. Результати навчання за дисципліною:**

Код	Результат навчання (1 – знати; 2 – вміти; 3 – комунікація; 4 – автономність та відповідальність)	Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання поточний контроль (активність під час занять та виконання дом. роботи ПтК1, написання КР ПтК-2), підсумковий контроль ПсК	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
1.1	Знати основні засади хімії елементорганічних сполук	лекції, самостійні	ПтК-2, ПсК	10
1.2	Знати методи синтезу природних елементорганічних сполук та їх аналогів	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	20
1.3	Знати способи застосування природних та синтетичних елементорганічних сполук в сучасному органічному синтезі	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	20

2.1	Уміти планувати синтез природних елементорганічних сполук та їх аналогів	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	5
2.2	Уміти реалізовувати синтез природних елементорганічних сполук та їх аналогів, а також обирати методи встановлення будови продуктів	лекції, самостійні	ПтК-1	10
2.3	Уміти передбачати та інтерпретувати результати хімічної поведінки природних елементорганічних сполук та їх аналогів	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	10
3.1	Бути здатним використовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології при спілкуванні, а також для збору, аналізу, обробки, інтерпретації інформації, що стосується хімії елементорганічних сполук	самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	5
3.2	Бути здатним виконувати передбачені навчальною програмою завдання у співпраці з іншими виконавцями	самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	5
4.1	Уміти самостійно зафіксувати, проаналізувати та інтерпретувати дані, що стосуються хімії елементорганічних сполук	самостійні	ПтК-1, ПтК-2	10
4.2	Дотримуватися правил наукової етики та доброчесності в процесі критичної обробки наявної та створенні нової інформації у галузі хімії елементорганічних сполук	самостійні	ПтК-1	5

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни (РНД) із програмними результатами навчання (ПРН):**

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни									
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2
P19.8. Отримувати природні органічні сполуки та їх аналоги в індивідуальному стані, здійснювати їх модифікацію	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
P20.8. Доводити будову та визначати властивості природних органічних сполук та їх аналогів за допомогою сучасних фізико-хімічних методів дослідження	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання студентів:

#### Семестрове оцінювання:

Максимальна/мінімальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом: **60 балів / 36 балів**, а саме:

1. Активність під час занять – реферат (або доповідь) та виконання самостійної домашньої роботи: РН 2.2, 3.2, 4.2 (повністю), РН 1.1, 1.3, 2.1, 2.3, 3.1, 4.1 (частково) – **30 / 18 балів**
2. Контрольна робота: РН 1.1 (повністю), 1.2, 1.3, 2.1, 2.3, 3.1, 4.1 (частково) – **30 / 18 балів**.

#### Підсумкове оцінювання (у формі іспиту):

Максимальна/мінімальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом: **40 балів / 24 бали**.

Результати навчання які будуть оцінюватись: РН 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.3, 3.1.

Форма проведення: письмова робота.

Види завдань: 2 теоретичні питання, 1 задача (планування синтетичної схеми).

**Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит не може бути меншою 24 балів.**

Студент допускається до іспиту, якщо протягом семестру він:

набрав не менше, ніж **36 балів**;

виконав і вчасно здав реферат (доповідь);

написав контрольну роботу.

### 7.2. Організація оцінювання:

Терміни проведення оцінювання:

Персональні завдання для написання реферату студенти отримують не пізніше 3 тижня семестру;

Здавання реферату: не пізніше, ніж за тиждень до початку сесії;

Контрольна робота: не раніше 8 тижня семестру;

Оцінювання самостійної роботи: впродовж семестру.

Студенти мають право на одне перескладання контрольної роботи у визначений викладачем термін.

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень / Marks
<b>Відмінно</b> / Excellent	90-100
<b>Добре</b> / Good	75-89
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60-74
<b>Незадовільно</b> / Fail	0-59

## 8. Структура навчальної дисципліни.

№	Назва лекції	лекції	самоств. робота
<b>Частина 1</b>			
1	Елементоорганічні сполуки – роль у природних процесах. Біогенез елементоорганічних сполук. Природа зв'язку карбон-гетероатом.	2	
	<i>Практичне застосування елементорганічних сполук.</i>		4
2	Особливості методів дослідження елементоорганічних сполук. Перехідні метали в органічній хімії. Утворення ковалентних СС зв'язків. Утворення зв'язків карбону з іншими атомами (N, O, S).	2	
	<i>Використання елементорганічних похідних в якості захисних і допоміжних груп в тотальному синтезі природних сполук.</i>		4
3	Сполуки зі зв'язком бор-галоген. Кисеньвмісні сполуки бору. Використання сполук бору в тотальному синтезі природних сполук, асиметричні перетворення.	2	
	<i>Реакція гідроборування. Механізм, межі застосування. Асиметричне гідроборування.</i>		4
4	Основні правила хімії кремнію. Сполуки зі зв'язками кремній-кремній та кремній-метал. Життя на основі сполук кремнію?	2	
	<i>Використання сполук кремнію в тотальному синтезі природних сполук.</i>		4
5	Сполуки фосфору III: похідні фосфористої, фосфонистої та фосфінистої кислот – синтез та хімічні властивості. Сполуки фосфору III: фосфіни (хіральність фосфінів, їх застосування в асиметричному синтезі природних сполук), солі фосфонію, галогенофосфіни.	2	
	<i>Спектроскопія сполук фосфору III.</i>		4
6	Сполуки фосфору V. Похідні фосфорної, фосфонової та фосфінової кислот. Фосфазени та іліди фосфору. Похідні фосфатної кислоти як основа життя.	2	
	<i>Спектроскопія сполук фосфору V.</i>		4
7	Сульфоксиди та сульфони. Іліди сірки. Використання сполук сірки для створення СС зв'язків. Сіркоорганічні сполуки: сульфенові, сульфіннові, сульфонові кислоти та їх похідні. Органічні сульфіти та сульфати. Тіокарбонільні сполуки.	2	
	<i>Використання хіральних органічних похідних сірки в тотальному синтезі природних сполук.</i>		4
8	Металоорганічні сполуки: методи одержання металоорганічних сполук - пряме металювання, обмін галогену на метал, реакції переметалювання. Використання в тотальному синтезі природних сполук.	2	
	<i>Органічні сполуки металів I та II груп.</i>		4

<i>Частина 2</i>			
9	Фторовмісні алкани. Фторовмісні алкени.	1	
	<i>Розповсюдженість фторовмісних молекул в природі.</i>		4
10	Фторування елементним фтором. Фториди лужних та лужноземельних металів в реакціях заміщення для одержання фторовмісних природних молекул.	1	
	<i>Фтористий водень в реакціях одержання фторовмісних молекул.</i>		4
11	<i>N</i> -Фтор реагенти в реакціях фторування.	2	
	<i>FAAR (поліфторалкільвмісні аміни) – реагенти заміщення гідроксильної групи на атом фтору.</i>		4
12	Трифторметилтриметилсилан як трифторметилуючий агент.	2	
	<i>Реакції трифлуорометилування в синтезі новітніх лікарських засобів.</i>		5
13	Фториди стибію як реагенти одержання фторовмісних молекул.	2	
	<i>Реакція Свартса.</i>		4
14	Чотирифториста сірка та її аналоги в реакціях з альдегідами, кетонами та карбоновими кислотами.	2	
	<i>Методи одержання чотирифтористої сірки та її токсичність.</i>		4
15	Електрохімічне фторування. Реакція Бальца-Шимана.	2	
	<i>Одержання ароматичних сполук фтору з фторборатів діазонію</i>		4
		+ 1 ГОД КОНС.	

Загальний обсяг – **90 год**, в тому числі:

Лекції – **28 год**

Консультації – **1 год**

Самостійна робота – **61 год**

## 9. Рекомендовані джерела

### *Основні:*

1. Sheppard W.A., Sharts C.M. Organic Fluorine Chemistry. W.A. Benjamin, 1969. – 602 p.
2. Page P.C.B. Organosulfur Chemistry II. Springer, 2003. – 198 p.
3. Fieser L.F., Fieser M., Ho T.-L. Fieser and Fieser's Reagents for Organic Synthesis. – John Wiley & Sons, 2007.
4. Горічко М.В. Металоорганічні похідні гетероциклічних сполук : Посіб. для студентів хімічного факультету. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2008. – 33 с.
5. Khananashvili, Mukbaniani, Zaikov G. Elementorganic Monomers: Technology, Properties, Applications. – CRC Press, 2006. – 496 p.
6. Лозинський М., Ковтуненко В. Карбаніони: синтез та алкілування. – К., 2008. – 626 с.

### *Додаткові:*

1. Григоренко О.О., Шабликіна О.В. Сучасні методи органічного синтезу, підручник для студентів хімічного факультету (2-е видання). – К.: Наш формат, 2021. – 568 с.
2. March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms and Structure, 5th ed by M. B. Smith and J. March. – Wiley Interscience: New York. 2001. – 2112 p.

3. Горічко М.В., Пивоваренко В.Г. Органічна хімія. Реакції карбонільних сполук. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2012. – 352 с.
4. Smith W.A., Vochkov A.F., Caple R. Organic Synthesis – the Science behind the Art. – Cambridge, 1998. – 477 p.
5. Smith M.B. Organic synthesis. – McGRAW-HILL, inc. New York, Sydney, Tokyo, Toronto. International editions, 1994. – 1595 p.
6. Laszlo P. Organic Reactions: Simplicity and Logic. – Wiley, 1995. – 696 p.
7. Clayden J., Greeves N., Warren S., Wothers P. Organic Chemistry, 2nd ed. – Oxford University Press, New York, 2012. – 1265 p.

#### 10. Додаткові ресурси:

1. Organoborates in New Synthetic Reactions, Suzuki, A. *Acc. Chem. Res.* **1982**, *15*, 178; *Top. in Current Chem.* **1983**, 112.
2. Carbon-Carbon Formation Involving Boron Reagents, A. Pelter *Chem. Soc. Rev.* **1982**, *11*, 191.
3. Formation of Carbon-Carbon and Carbon-Heteroatom Bonds via Organoboranes and Organoborates, E.-I. Negishi, M. J. Idacavage *Org. React.* **1985**, *33*, 1.
4. Organoboron Compounds in Organic Synthesis, R. M. Mikhailov, Harwood Academic, 1984.
5. Reactions of Group 13 Alkyls with Dioxxygen and Elemental Chalcogens: from Carelessness to Chemistry, Barron, A. R. *Chem. Soc. Rev.* **1993**, *22*, 93.
6. Stereodirected Synthesis with Organoboranes, Trost, B.M. Ed., Springer: Berlin, Germany, 1995.
7. Contemporary Boron Chemistry, Davidson, M.; Hughes, A. K.; Marder, T. B.; Wade, K. Royal Society of Chemistry: Cambridge, U.K., 2000.
8. Rhodium-Catalyzed Asymmetric 1,4-Addition of Organoboronic Acids and Their Derivatives to Electron Deficient Olefins. Hayashi, T. *Synlett* 2001, 879-87.
9. Pure Enantiomers via Chiral Organoboranes. H. C. Brown, B. Singram *Accounts Chem. Res.* **1988**, *21*, 287.
10. Boronic Esters in Stereodirected Synthesis. D. S. Matteson *Tetrahedron* **1989**, *45*, 1859.
11. Stereodirected Synthesis with Organoboranes. D. S. Matteson, Springer, 1995.
12. Asymmetric Syntheses via Chiral Organoboranes Based on  $\alpha$ -Pinene. Brown, H.C. *Adv. in Asymm. Synth. Vol. 1*, Hassner, A., Ed. JAI: Greenwich, CT, 1995.
13.  $\alpha$ -Halo Boronic Esters in Asymmetric Synthesis. Matteson, D. S. *Tetrahedron* 1998, *54*, 10555-607.
14. Haloboration of 1-Alkynes and Its Synthetic Application [Vinyl Boranes]. Suzuki, A. *Rev. Heteroatom Chem.* **1997**, *17*, 271-314.
15. Recent Developments in the Chemistry of Amine- and Phosphine-Boranes. Carboni, B.; Monnier, L. *Tetrahedron* **1999**, *55*, 1197-248.
16. Useful Synthetic Transformations Via Organoboranes. 1. Amination Reactions. Carboni, B.; Vaultier, M. *Bull. Soc. Chim. Fr.* **1995**, *132*, 1003-8.
17. Electrophilic Substitution Reactions of Organosilicon Compounds - Applications to Organic Synthesis. Chan, T. H.; Fleming, I. *Synthesis* **1979**, 761.
18. Organosilicon Reagents for Carbon-Carbon Bond Forming Reactions. Magnus, P. *Aldrichim. Acta* **1980**, *13*, 43.
19. Applications of Silicon Chemistry in the Corticosteroid Field. Livingston, D.A. *Adv. Med. Chem.* JAI Press: Greenwich, CT, **1992**.
20. Chiral Organosilicon Compounds in Asymmetric Synthesis. Chan, T.H.; Wang, D. *Chem. Rev.* **1992**, *92*, 995.
21. Balancing Leaving Group Ability and the  $\beta$ -Effect: Exploring the Synthetic Utility of Chlorosilyl Groups. Brook, M. A.; Henry, C.; Jueschke, R.; Modi, P. *Synlett* **1993**, 97-104.
22. Organosilicon and Organotin Compounds in the Synthesis and Transformation of  $\beta$ -Lactams. Veinberg, G. A.; Lukevics, E. *Heterocycles*, **1994**, *38*, 2309.
23. Stereochemical Control in Organic Synthesis Using Silicon-Containing Compounds. Fleming, I.; Barbero, A.; Walter, D. *Chem. Rev.* **1997**, *97*, 2063-92.

24. Silicon in Organic, Organometallic, and Polymer Chemistry. Brook, M. A. Wiley-Interscience: New York, 1999.
  25. Applications of Allyl Silanes in Organic Synthesis. Hosomi, A. *Acc. Chem. Res.* **1988**, *21*, 200. Diastereoselective Reactions of Chiral Allyl- and Allenylsilanes with Activated C=X p-bonds. Masse, C. E.; Panek, J. S. *Chem. Rev.* **1995**, *95*, 1293-316.
  26. Enantioselective Addition of Allylic Silanes and Stannanes to Aldehydes Mediated by Chiral Lewis Acids. Cozzi, P. G.; Tagliavini, E.; Umami-Ronchi, A. *Gazz. Chim. Ital.* **1997**, *127*, 247-54.
  27. Methods for the Synthesis of Allylsilanes, Part 1. Sarkar, T. K. *Synthesis* **1990**, *11*, 969, 1101.
  28. Synthetic Aspects of the use of Organosilicon Compounds under Nucleophilic Catalysis Conditions. G. G. Furin et al. *Tetrahedron* **1988**, *44*, 2675.
  29. Reactivity of Penta- and Hexacoordinate Silicon Compounds and Their Role as Reaction Intermediates. Chuit, C.; Corriu, R. J. P.; Reye, C.; Young, J. C. *Chem. Rev.* **1993**, *93*, 1371-448.
  30. Silicon Reagents in Chemical Transformations: the Concept of 'Counterattack Reagent'. *Pure Appl. Chem.* **1999**, *71*, 445.
  31. Zwitterionic Pentacoordinate Silicon Compounds. Tacke, R.; Pulm, M.; Wagner, B. *Adv. Organometal. Chem.* **1999**, *44*, 221-73.
  32. Perfluoroalkylation with Organosilicon Reagents. Prakash, G.K.S.; Yudin, A.K. *Chem. Rev.* **1997**, *97*, 757-86.
  33. Nucleophilic Trifluoromethylation Reactions of Organic Compounds with (Trifluoromethyl)trimethylsilane. Singh, R. P.; Shreeve, J. M. *Tetrahedron* **2000**, *56*, 7613-32.
  34. Silyl-Substituted Conjugated Dienes: Versatile Building Blocks of Organic Synthesis. Luh, T.-Y.; Wong, K.-T. *Synthesis* **1993**, 349-70.
  35. Tandem Transformations Initiated by the Migration of a Silyl Group. Some New Synthetic Applications of Silyloxiranes. Jankowski, P.; Raubo, P.; Wicha, J. *Synlett*, **1994**, 985-92.
  36. Use of Organosilicon Reagents as Protective Groups in Organic Synthesis. Lalonde, M.; Chan, T. H. *Synthesis* **1985**, 817.
  37. Silyl Ethers as Protective Groups for Alcohols: Oxidative Deprotection and Stability Under Alcohol Oxidation Conditions. Muzart, J. *Synthesis* **1993**, 11.
  38. Reductions with Samarium(II) Iodide. Molander, G.A. 2004.
  39. Divalent lanthanide derivatives in organic synthesis. 1. Mild preparation of samarium iodide and ytterbium iodide and their use as reducing or coupling agents. Girard, P.; Namy, J. L.; Kagan, H. B. *J. American Chem. Soc.* **1980** *102* (8): 2693
- а також інтернет-ресурси.*