



Дисципліна: «ПОЛІМЕРИ В БІОТЕХНОЛОГІЇ»

ДВА.3.01.14

Спеціальність Е1 «Біологія та біохімія»

ВИКЛАДАЧ:

д.х.н., ст.н.с. Дубей Ігор Ярославович, завідувач відділу синтетичних біорегуляторів ІМБГ НАН України, e-mail: dubey@imbg.org.ua; igor.dubey@gmail.com

ЗАГАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ: 3 кредити ECTS

Загальний обсяг вивчення – 90 годин, у тому числі:

- Заняття в аудиторії: 30 годин (12 год. лекцій, 8 год. семінарів, 2 год. консультація, 4 модульні контрольні роботи по 2 год.)
- Самостійна робота: 60 годин

Підсумковий контроль дисципліни – іспит

АНОТАЦІЯ

Дисципліна «Полімери в біотехнології» належить до переліку навчальних дисциплін вільного вибору здобувача, що пропонуються в рамках циклу професійної підготовки здобувачів зі спеціальності «Біологія», і викладається на першому році навчання в обсязі 3 кредитів. Вона забезпечує професійний розвиток здобувача, спрямований на формування бази знань, необхідної для успішної самостійної дослідницької роботи, пов'язаної з практичним застосуванням полімерних матеріалів у різних областях сучасної біотехнології.

Програма з курсу створена відповідно до вимог державного освітнього стандарту підготовки докторів філософії у вищих навчальних закладах та наукових установах. Програма курсу спрямована на узагальнення знань здобувачів в області новітніх біотехнологій.

Курс «Полімери в біотехнології» є сучасним мультидисциплінарним напрямком науки, що вивчає природні та синтетичні полімери як основу для створення новітніх функціональних матеріалів різного призначення для застосування в науках про життя, біотехнології й медицині. Курс включає наступні основні розділи: полімери у хроматографічному розділенні біомолекул; твердофазний синтез, модифікація та мічення біополімерів; полімери та наноматеріали біомедичного призначення; полімерні кон'югати біомолекул.

Здобувачі отримають знання з основ застосування полімерних матриць, підходами до створення та особливостями застосування полімерних матеріалів, у т.ч. наноматеріалів, у біологічних дослідженнях та сучасних біотехнологіях, познайомляться з принципами вибору полімерних матеріалів для виконання конкретних практичних завдань.

При підготовці методичних матеріалів враховувалося, що здобувачі, які опановують зазначений курс, вже отримали знання з базових дисциплін таких як загальний курс біохімії, молекулярної біології, генетики, а також усвідомлюють, що матеріал цього курсу буде необхідним для них у подальшій роботі.

МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСУ

Загальною метою курсу є формування у здобувачів уявлення про фундаментальні аспекти використання полімерів у різних галузях сучасної біотехнології.

Завданням курсу є дати здобувачам комплекс сучасних знань і навиків стосовно отримання й використання полімерних матеріалів у біотехнології та медицині, зокрема, як хроматографічних сорбентів, носіїв для твердофазного синтезу, полімерних матеріалів

біомедичного призначення, засобів доставки ліків. Здобувачі також познайомляться з молекулярними механізмами фізико-хімічних процесів, що лежать в основі полімерних біотехнологій.

Важливою загальною метою курсу є підготовка здобувачів як ефективних дослідників зі знанням спеціальної літератури для успішної самостійної роботи, пов'язаної з полімерами біотехнологічного й біомедичного призначення.

РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ, МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ І ФОРМИ ОЦІНЮВАННЯ.

Результати навчання	Методи викладання і навчання	Форми оцінювання
У результаті вивчення курсу здобувач повинен: Знати: – характеристики важливих природних і синтетичних біосумісних полімерів; – особливості їхнього використання в біотехнології та медицині як хроматографічних сорбентів для очистки низько- і високомолекулярних біоактивних речовин, носіїв для твердофазного синтезу, полімерів для доставки ліків у клітину, наноматеріалів; – методи функціоналізації та зшивки полімерних матриць; – сучасні способи модифікації, іммобілізації та кон'югації біоактивних молекул; – методи аналізу ефективності реакцій на полімерах. Вміти: – творчо застосовувати у своїй роботі знання про особливості процесів, які відбуваються на полімерах; – отримувати й використовувати в оптимальному режимі сорбенти для виділення біоактивних речовин різних класів; – проводити іммобілізацію біомолекул та кон'югацію з полімерами й низькомолекулярними лігандами; – визначати ефективність перебігу реакцій на полімерних матрицях; – використовувати отримані знання в дослідницькій та викладацькій діяльності, застосовувати їх для розв'язання прикладних задач у галузі біотехнології, молекулярної біології, біомедицини.	Лекції Семінарські заняття Самостійна робота	Модульна контрольна робота Індивідуальна доповідь з презентацією Іспит

ЗМІСТ КУРСУ

Дисципліна «Полімери в біотехнології» є складовою фундаментальної підготовки фахівців освітньо-наукового рівня «доктор філософії» за спеціальністю Е1 «Біологія та біохімія». Дисципліна відповідає навчальному плану підготовки докторів філософії за даною спеціальністю кафедри біології Інституту молекулярної біології і генетики НАН України. Вона є курсом, що в логіко-структурній схемі освіти спирається на курси, що вивчалися здобувачами раніше: «Біотехнологія», «Біохімія», «Біофізика», «Молекулярна біологія», загальні курси фізики та хімії.

Курс розглядає сучасні підходи до створення новітніх біосумісних полімерних матеріалів, проблеми їхнього застосування в біомедичних дослідженнях та біотехнологічних розробках. Курс включає чотири змістовні модулі.

№ з/п	Теми та зміст занять	Кількість годин
	<u>Змістовний модуль 1</u> “Полімери у хроматографічному розділенні біомолекул” (1 кредит)	
Лекція 1	Тема: “Носії для хроматографії біологічно активних речовин” Фізико-хімічні принципи процесів розділення, що використовуються в біотехнології. Адсорбційна, іонообмінна, обернено-фазова хроматографія. Основні неорганічні та органічні матриці. Методи модифікації поверхні сорбентів Аналітична та препаративна хроматографія. Високоєфективна рідинна хроматографія (HPLC). Гель-фільтрація. Тонкошарова та паперова хроматографія.	2
Лекція 2	Тема: “Афінні сорбенти: матриці, методи їхньої активації та іммобілізації лігандів, афінна хроматографія” Іммобілізовані системи в біотехнології та сфери їхнього застосування. Афінна хроматографія: принципи та особливості застосування. Основні типи полімерних матриць для отримання афінних сорбентів. Методи активації полімерних матриць. Іммобілізація лігандів на поверхні полімерів. Спейсери. Афінні металосорбенти. Мікромасиви. Поняття про матричні полімери.	2
Семинар 1	Тема: “Особливості хроматографічної очистки низько- та високомолекулярних сполук різних класів у біотехнології” Хроматографічне розділення біомакромолекул і низькомолекулярних сполук. Принципи вибору колонки (сорбента) для очистки біомолекул різних класів. Розгляд прикладів виділення білків, нуклеїнових кислот, низькомолекулярних біоактивних сполук із використанням різних хроматографічних методів.	2
	Модульна контрольна робота 1	2
	<u>Змістовний модуль 2</u> “Твердофазний синтез, модифікація та мічення біополімерів” (0.5 кредита)	
Лекція 3	Тема: “Полімерні носії для твердофазного синтезу біополімерів. Хімічна модифікація та нерадіоактивне мічення біомолекул” Принципи твердофазного синтезу (ТФС), його варіанти. Органічні та неорганічні носії для ТФС, методи функціоналізації, лінкерні групи. Синтез біополімерів різних класів (пептиди, олігонуклеотиди, полісахариди). Переваги й обмеження ТФС. Твердофазна та пост-синтетична хімічна модифікація біомолекул. Ферментативні методи модифікації. Нерадіоактивні мітки (флуоресцентні, афінні та ін.), області їхнього використання.	2

Семінар 2	“Практичні аспекти хімічного синтезу та очистки нормальних і мічених пептидів та олігонуклеотидів” Синтез нормальних і мічених пептидів та олігонуклеотидів у розчині й на твердій фазі. Принципи вибору носіїв для синтезу біополімерів. Масштабування синтезу. Вибір методів очистки: екстракційні, хроматографічні електрофоретичні. Деблокування та знесолення синтетичних біополімерів. Аналіз конкретних прикладів.	2
	Модульна контрольна робота 2	2
	<u>Змістовний модуль 3</u> “ Полімери та наноматеріали біомедичного призначення” <i>(1 кредит)</i>	
Лекція 4	Тема: “Полімерні матеріали біомедичного призначення” Фізіологічно активні полімери. Природні та синтетичні матриці, їхні характеристики. Біосумісність полімерних матеріалів. Методи зшивки (cross-linking) полімерів та відповідні реагенти. Полімерні гідрогелі. Нековалентна інкапсуляція біоактивних сполук в полімерних матрицях. Контрольоване вивільнення біологічно активних лігандів.	2
Лекція 5	Тема: “Наноматеріали в біотехнології та медицині” Поняття про наноматеріали, їх основні класи: металеві наночастинки, квантові точки, нанотрубки, дендримери, органічні полімери. Терапевтичні засоби на основі наночастинок і нанокон’югатів. Багатофункціональні наночастинки. Переваги й недоліки застосування наноматеріалів у медицині.	2
Семінар 3	Тема: “Системи доставки лікарських засобів та методи її контролю” Способи доставки ліків: класичні та спрямовані (контрольовані); інвазивні та неінвазивні. Оральний, трансдермальний, букальний, інгаляційний, ін’єкційний та інші шляхи. Фактори, що визначають вибір системи доставки. Фармакокінетика та фармакодинаміка препаратів, методи контролю. Конфокальна мікроскопія.	2
	Модульна контрольна робота 3	2
	<u>Змістовний модуль 4</u> “ Полімерні кон’югати біомолекул” <i>(0.5 кредита)</i>	
Лекція 6	Тема: “Полімерні біокон’югати: методи отримання та застосування” Області використання полімерних біокон’югатів. Транспортні полімери, ефект EPR. Природні та синтетичні полімерні матриці. Методи кон’югації біоактивних лігандів з полімерами різних типів. Функціоналізація полімерів і лігандів. Активуючі реагенти. Методи очистки біокон’югатів. Транспорт кон’югатів у клітину. Відщеплення біоактивних лігандів від носіїв.	2
Семінар 4	Тема: “Методи контролю реакцій на полімерних матрицях”	2

	Визначення ефективності реакцій у розчині та у твердофазному синтезі. Аналітична хроматографія та електрофорез. Спектроскопічні методи аналізу. Методи визначення концентрації функціональних груп на полімерах. Визначення величини іммобілізації сполук на полімерах: прямі методи та методи з відщепленням ліганда.	
	Модульна контрольна робота 4	2

УМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО РЕЙТИНГУ

Контроль знань здобувачів здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Підсумкова оцінка розраховується за **накопичувальною системою**. При цьому максимальна кількість балів встановлюється наступним чином:

Курс	модуль 1	модуль 2	модуль 3	модуль 4	Комплексний підсумковий модуль (іспит)	Підсумкова оцінка за повний курс
Максимальна кількість балів	20	20	20	20	20	100

Остаточна підсумкова оцінка враховує оцінки за кожний модуль.

Протягом курсу заплановані контрольні та самостійні роботи до кожного модуля:
за контрольну роботу здобувач може отримати максимум 15 балів;
за самостійне завдання в першому модулі – максимум 5 балів;
за кожен змістовний модуль – максимум 20 балів.

ВИМОГИ І КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Оцінювання успішності здобувача за кожним із запланованих видів робіт здійснюється у відповідності до таких критеріїв:

Вид роботи	Кількість балів за один вид робіт	Критерії оцінювання
Індивідуальна доповідь з презентацією	5	Доповідь добре структурована, логічна й послідовна. Автор демонструє володіння матеріалом і здатність відповісти на запитання аудиторії.
	4-3	Доповідь містить незначні помилки й неточності, доповідач в цілому задовільно відповідає на запитання аудиторії.
	1-2	Доповідь містить значні помилки та прогалини. Доповідач не виявляє належної підготовки і не готовий відповідати на змістовні запитання.
Модульна контрольна робота (письмова)	18-20	Роботу виконано вчасно, якісно оформлено. Автор виявляє високий рівень знань і розуміння теми, аналітичні здібності, відповідає на запитання правильно, логічно й послідовно.

	14-17	Роботу виконано вчасно, якісно оформлено. Наявні тільки незначні помилки чи неточності у відповідях на запитання. Автор виявляє достатню обізнаність і розуміння матеріалу.
	10-13	Роботу виконано вчасно, та оформлено з помилками. Автор демонструє посередню обізнаність і розуміння матеріалу, допускає певну кількість грубих помилок.
	5-9	Завдання не виконане вчасно або якість його оформлення незадовільна. Автор виявляє погану обізнаність і розуміння матеріалу, допускає велику кількість грубих помилок. Відповіді неповні, або взагалі відсутні на деякі запитання.

**Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної
університетської шкали оцінювання в національну 5-бальну шкалу та шкалу ECTS**

За шкалою університету	За національною шкалою		За шкалою ECTS
	Іспит	Залік	
91 – 100	відмінно	зараховано	A (відмінно)
81 – 90	добре		B (дуже добре)
71 – 80			C (добре)
66 – 70			D (задовільно)
60 – 65	задовільно		E (достатньо)
30 – 59	незадовільно	не зараховано	FX (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 – 29			F (неприйнятно – з обов’язковим повторним курсом)

Якщо за результатами модульно-рейтингового контролю здобувач отримав сумарну оцінку за три змістовні модулі, яка менша за 40 балів, то він/вона не допускається до екзамену і вважається таким, що не виконав усі види робіт, які передбачаються навчальним планом.

ПОЛІТИКА ДОБРОЧЕСНОСТІ

Виконання навчальних завдань і робота в курсі має відповідати вимогам «Кодексу академічної доброчесності ІМБГ НАНУ», затвердженого Вченою радою ІМБГ НАН України 10 вересня 2019 року, http://imbg.org.ua/docs/education/IMBG_academic_integrity_code.pdf та вимогам «Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Інституті молекулярної біології і генетики Національної академії наук України від 23 червня 2026 року»: <https://www.imbg.org.ua/docs/education/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%83%20%D0%B4%D0%BE%D0%B>

[1%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%86%D0%9C%D0%91%D0%93%20%D0%9D%D0%90%D0%9D%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%96%CC%88%D0%BD%D0%B8%202026..pdf](#)

ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ

Загальні компетентності

- ЗК-1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
- ЗК-2 Здатність використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій
- ЗК-3. Здатність самостійно проводити на сучасному рівні актуальні наукові дослідження
- ЗК-4. Здатність до пошуку, оброблення на аналізу інформації з різних джерел
- ЗК-5. Здатність генерувати нові ідеї (креативність)
- ЗК-6. Здатність працювати в міжнародному науковому просторі
- ЗК-7. Здатність до розробки та управління науковими проектами
- ЗК-8. Здатність розвиватися, вчитися і самовдосконалюватись
- ЗК-9. Здатність до окреслення та розв'язання на сучасному рівні наукових проблем
- ЗК-10. Здатність діяти з соціальною відповідальністю та громадянською свідомістю

Спеціальні (фахові) компетентності

- СК-1 Здатність застосовувати отримані знання та уміння для вирішення проблем сучасної біології та біохімії
- СК-2 Здатність формулювати наукову проблему та знаходити шляхи її розв'язання, формуючи робочі гіпотези, переосмислювати наявні та створювати нові знання
- СК-3 Здатність визначати завдання біологічного дослідження та обирати адекватні методи для ефективного розв'язання конкретних науково-практичних задач у галузі біології та біохімії
- СК-4 Здатність самостійно проводити наукові дослідження, що ведуть до отримання нових цілісних знань
- СК-5 Здатність до адекватної інтерпретації даних, отриманих в результаті наукового дослідження, та порівняння фактів, виявлених у власних наукових дослідженнях, з сучасними концепціями, гіпотезами та теоріями
- СК-6 Поглиблене знання і розуміння у конкретній галузі біології
- СК-7 Здатність ефективно спілкуватися з широкою науковою спільнотою
- СК-8 Розуміння етичних аспектів наукової діяльності
- СК-9 Здатність розвивати особисте відчуття відповідальності за отримані в ході наукової діяльності результати
- СК-10 Здатність представляти результати власного дослідження широкому загалу фахівців та нефаківців; здатність працювати у команді

ПРОГРАМНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

- ПР1. Мати сучасні знання в біології: новітні концепції біології, знати сучасне методологічне та інструментальне забезпечення молекулярної біології, молекулярної генетики та біотехнології, інших суміжних предметних галузей знань
- ПР2. Вільно спілкуватися з науковою спільнотою та громадськістю в певній галузі наукової та/або професійної діяльності; представляти результати наукових досліджень у наукових публікаціях у фахових вітчизняних та міжнародних виданнях та на конференціях як державною, так і іноземною мовою
- ПР3. Знати сучасну фахову літературу у галузі дослідження: фундаментальні зарубіжні та вітчизняні праці, представників наукових шкіл
- ПР4. Критично аналізувати наукову літературу та вміти визначати мало досліджені та суперечливі питання; формулювати ідеї та гіпотези, спрямовані на розв'язання досліджуваної проблеми; визначати актуальність власного наукового дослідження, обирати адекватні методи

та підходи до його виконання, ініціювати, організовувати та проводити комплексні дослідження в галузі науково-дослідницької діяльності

ПР5. Вміти творчо застосовувати фундаментальні біологічні знання для адекватної оцінки та розв'язання прикладних задач у галузі біотехнології, молекулярної біології, молекулярної генетики

ПР6. Уміння ініціювати наукові та інноваційні проекти в галузі біології та у суміжних галузях науки, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання і розв'язувати важливі теоретичні та практичні проблеми біології з дотриманням норм академічної доброчесності з урахуванням соціальних, економічних, та правових аспектів; ініціативність та відповідальність під час їх реалізації

ПР7. Формування системного наукового світогляду, методологічної культури науковця, креативного мислення, філософського осмислення шляхів формулювання нових ідей, історичного досвіду розв'язання проблем в галузі дослідницько-інноваційної діяльності, професійної наукової етики

ПРН8. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу великого обсягу інформації, використовувати спеціалізовані бази даних та інформаційні системи

ПР9. Підходити до постановки та виконання експериментального завдання з огляду на сучасні уявлення про молекулярні механізми біологічних процесів

ПР10. Вміти залучати в науково-дослідну роботу як традиційні, так і новітні біотехнологічні методи

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

Основні:

1. Мигалина Ю.В., Козарь О.П. Основи хімії та фізико-хімії полімерів. Підручник. – К., «Кондор», 2024. – 325 с. .
2. Біологічна і біоорганічна хімія (за ред. Губського Ю.І., Ніженковської І.В.). – К.: ВВС «Медицина», 2016. – 544 с.
3. Ракс В.А., Єсауленко А.М. Сучасна хроматографія на гребні хвилі прогресу. Навчальний посібник. – К.: «Аванпост», 2014. – 168 с.
4. Приходько Р.В., Родіонов В.М., Клімко Ю.Є Хроматографічний аналіз органічних сполук. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 181 с.
5. Tsai C.S. Biomacromolecules. Introduction to Structure, Function and Informatics. – Wiley-Liss, 2007. – 740 P.
6. Reddy M.S.B., Ponnammamma D., Choudhary R., Sadasivuni K.K. A Comparative Review of Natural and Synthetic Biopolymer Composite Scaffolds // Polymers, 2021, V. 13, 1105.
7. Ajib R., Shanmugaraj K., Yadav R.M., Bino T.P., Singh D.P. Metallic nanoparticles: from biosynthesis to biomedical applications, current scenarios and prospects // Nanoscale Adv. 2026, V. 8, P. 2482-2511.
8. Madkour L.H. Carbon-Based Nanomaterials for Sustainable and Technological Applications. – CRC Press, 2025. – 430 P.
9. Rohaizad N. , Mayorga-Martinez C.C. , Fojtu M. , Latiff N.M., Pumera M . Two-dimensional materials in biomedical, biosensing and sensing applications // Chem. Soc. Rev. 2021, V. 50, P. 619-657.
10. Elsabahy M., Heo G.S., Lim S.M., Sun G., Wooley K.L. Polymeric nanostructures for imaging and therapy // Chem. Rev. 2015, V. 115, P. 10967-1011.

11. Das S.S., Bharadwaj P., Bilal M., Barani M., Rahdar A., Taboada P., Bungau S., Kyzas G.Z. Stimuli-responsive polymeric nanocarriers for drug delivery, imaging, and theragnosis // *Polymers*. 2020, V. 12, 1397.
12. Zielinska A., Szalata M., Gorczynski A.;Karczewski J.; Eder P., Severino P., Cabeda J.M., Souto E.B., Słomski R. Cancer nanopharmaceuticals: physicochemical characterization and *in vitro/in vivo* applications // *Cancers*, 2021. V. 13, 896.
13. Wang X., Tang Y., Li Q. Lysosome-specific chemical platforms for precision oncology: from structural design to biological applications // *Chem. Soc. Rev.* 2026, V. 55, P. 4426-4465.
14. Hong L., Li W., Li Y., Yin S. Nanoparticle-based drug delivery systems targeting cancer cell surfaces // *RSC Adv.* 2023, V. 13, P. 21365-21382.
15. Kenchegowda M., Rahamathulla M., Hani U., Begum M.Y., Guruswamy S., Osmani R.A.M., Gowrav M.P., Alshehri S., Ghoneim M.M., Alshlowi A., Gowda D.V. Smart nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy: a review // *Molecules*, 2021, V. 27, 146.
16. Arrabito G., Wang L. DNA Nanotechnology for Bioanalysis. – World Scientific Europe, London, 2018. – 197 P.
17. Martin-Esteban A. (Ed.). Molecularly Imprinted Polymers. Methods and Protocols. – Humana Press, 2021. – 266 P.
18. Hu X., Wang T., Li F., Mao X. Surface modifications of biomaterials in different applied fields // *RSC Adv.* 2023, V. 13, P. 20495-20511.
19. Zheng X., Zhang P., Fu Z., Meng S., Dai L., Yang H. Applications of nanomaterials in tissue engineering // *RSC Adv.* 2021, V. 11, P. 19041-19058.
20. Fazal T., Murtaza B.N., Shah M., Iqbal S., Rehman M.U., Jaber F., Dera A.A., Awwad N.S., Ibrahim H.A. Recent developments in natural biopolymer based drug delivery systems // *RSC Adv.* 2023, V. 13, P 23087-23121.
21. Ricart A.D. (Ed.). Drug Delovery in Oncology. – Future Sciecnce, 2014. – 106 P.
22. Xue Y., Bai H., Peng B., Fang B., Baell J., Li L., Huang W., Voelcker N.H. Stimulus-cleavable chemistry in the field of controlled drug delivery // *Chem. Soc. Rev.* 2021, V. 50, P. 4872-4931.
23. Wang J., Li B., Qiu L., Qiao X., Yang H. Dendrimer-based drug delivery systems: history, challenges, and latest developments // *J. Biol. Eng.* 2022, V. 16, article 18.
24. Liu P., Chen G., Zhang J. A review of liposomes as a drug delivery system: current status of approved products, regulatory environments, and future perspectives // *Molecules*, 2022, V. 27, 1372.
25. Yuan Y., Li Y., Li G., Lei L., Huang X., Li M., Yao Y. Intelligent design of lipid nanoparticles for enhanced gene therapeutics // *Mol. Pharmaceutics*, 2025, V. 22, P. 1142-1159.
26. Vitha M.F. Chromatography: Principles and Instrumentation. – Wiley, 2016. – 266 p.
27. Hermanson G.T. Bioconjugate Techniques. 2nd Ed. – Elsevier-Academic Press, 2008. – 1202 P.
28. Algar W.R., Dawson P.E., Meditnz I.L.(Eds.). Chemoselective and Bioorthogonal Ligation Reactions. Concepts and Applications. – Wiley-VCH, 2017. – 724 P.

Додаткові:

1. Shahalaei M., Azad A.K., Sulaiman W.M., Derakhshani A., Mofakham E.B., Mallandrich M., Kumarasamy V., Subramaniyan V. A review of metallic nanoparticles: present issues and prospects focused on the preparation methods, characterization techniques, and their theranostic applications // *Front, Chem.* 2024, V. 12, 1398979.
2. Kim M.S., Kim J.H., Min B.H., Chun H.J., Han D.K., Lee H.B. Polymeric scaffolds for regenerative medicine // *Polym. Rev.* 2011, v. 51, P. 23-52.
3. Petrovici A.R., Pinteala M., Simionescu N. Dextran formulations as effective delivery systems of therapeutic agents // *Molecules*, 2023, V. 28, 1086.

4. Іваницька О.С., Гончаренко В.С., Дубей О.І., Дубей І.Я. Хітозан: біомедичні дослідження та перспективи використання в клінічній практиці // Експер. клін. фізіол. біохім. 2017, Т. 78, С. 53-63.
5. Iacob A.T., Lupascu F.G., Apotrosoaei M., Vasincu I.M., Tauser R.G., Lupascu D., Giusca S.E., Caruntu I.-D., Profire L. Recent biomedical approaches for chitosan based materials as drug delivery nanocarriers // *Pharmaceutics*, 2021, V. 13, 587.
6. Alshangiti D.M., El-Damhougy T.K., Zaher A., Madani M., Mohamady G.M. Revolutionizing biomedicine: advancements, applications, and prospects of nanocomposite macromolecular carbohydrate-based hydrogel biomaterials: a review // *RSC Adv.* 2023, V. 13, P. 35251-35291.
7. Zöller K, To D, Bernkop-Schnürch A. Biomedical applications of functional hydrogels: Innovative developments, relevant clinical trials and advanced products // *Biomaterials*, 2025, V. 312, 122718.
8. Revete A., Aparicio A., Cisterna B.A., Revete J., Luis L., Ibarra E., Segura González E.A., Molino J., Reginensi D. Advancements in the use of hydrogels for regenerative medicine: properties and biomedical applications // *Int. J. Biomater.* 2022, 3606765.
9. Sobol Ż., Chiczewski R., Wątróbska-Świetlikowska, D. Advances in liposomal drug delivery: multidirectional perspectives on overcoming biological barriers // *Pharmaceutics*, 2025, v. 17, 885.
10. Pande S. Liposomes for drug delivery: review of vesicular composition, factors affecting drug release and drug loading in liposomes // *Artif. Cells, Nanomed. Biotechnol.* 2023, V. 51, P. 428-440.
11. Zorab M.M., Qadir A.M., Ahmed A.M.A. Dendrimers as drug delivery vehicles: a comprehensive review // *Cell Mol. Biol.* 2025, V. 71, P. 1-12.
12. Elaine A.A., Othman R., Mita S.R., Hasanah A.N. Breaking boundaries in controlled release drug delivery system: The promise and potential of molecularly imprinted polymers // *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 2025, V. 111, 107142.
13. Suhane S., Ali M.K. Singh P., Asati V. Molecularly imprinted polymers for food safety: innovations in sensor design, multianalyte detection, and green synthesis strategies // *Food Measure*, 2026, V. 20, P. 9574-9601.
14. Dikic E., Ay D., Gök T., Karakoç V., İnanan T., Acet B.O., Odabaşı M., Acet O. The rise of molecularly imprinted polymers in food analysis: selective, reliable, and cost-effective approaches // *Food Chem.* 2025, V. 497, 146960.
15. Ekladios I., Colson Y.L., Grinstaff M.W. Polymer–drug conjugate therapeutics: advances, insights and prospects // *Nat. Rev. Drug Discov.* 2019, V. 18, P. 273-294.
16. Skwarecki A.S., Nowak M.G., Milewska M.J. Synthetic strategies in construction of organic macromolecular carrier-drug conjugates // *Org. Biomol. Chem.* 2020, V. 18, P. 5764-5783.
17. Manandhar S., Sjöholm E., Bobacka J., Rosenholm J.M., Bansal K.K. Polymer-drug conjugates as nanotheranostic agents // *J. Nanotheranostics*, 2021, V. 2, P. 63-81.
18. Gouveia M.G., Wesseler J.P., Ramaekers J., Weder C., Scholten P.B.V., Bruns N. Polymersome-based protein drug delivery - quo vadis? // *Chem Soc Rev.* 2023, V. 52, P.728-778.
19. Chen X., Wu Y., Dau V.T., Nguyen N.-T., Ta H.T. Polymeric nanomaterial strategies to encapsulate and deliver biological drugs: points to consider between methods // *Biomater. Sci.* 2023, V. 11, P. 1923–1947.
20. Xie J., Xiang J., Shen Y., Shao S. Mechanistic insights into the tools for intracellular protein delivery // *Chem Bio Eng.* 2025, V. 2, P. 132-155.
21. Meyer V.R. *Practical High-Performance Liquid Chromatography*. – John Wiley and Sons, 2015. – 412 p.
22. *Protein Purification Handbook*. – GE Healthcare Bio-Sciences, Uppsala, Sweden, 2007. – 96 P.
23. *Hydrophobic Interaction and Reversed Phase Chromatography. Principles and Methods*. – GE

- Healthcare Bio-Sciences, Uppsala, Sweden, 2006. – 164 P.
24. Ion Exchange Chromatography and Chromatofocusing. Principles and Methods. – Amersham Bioscience, Uppsala, Sweden, 2004. – 186 P.
 25. Affinity Chromatography: Principles and Methods. – GE Healthcare Bio-Sciences, Uppsala, Sweden, 2007. – 159 P.
 26. Gel Filtration: Principles and Methods. – GE Healthcare Bio-Sciences, Uppsala, Sweden, 2006. – 123 P.
 27. Zachariou M. (Ed.). Affinity Chromatography. Methods and Protocols. 2nd Edition. – Humana Press, 2008. – 343 P.
 28. Gutiérrez R., Valle E.M. Martín D., Galan M.A. Immobilized metal-ion affinity chromatography: Status and trends // *Separ. Purif. Rev.* 2007, V. 36, P. 71-111.
 29. Куліков А.Ю. Тонкошарова хроматографія: теоретичні основи та практичне використання: навч.-метод. посібник. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2011. – 260 с.
 30. Reddy N.C., Kumar M., Molla R., Rai V. Chemical methods for modification of proteins // *Org. Biomol. Chem.* 2020; V. 18, P. 4669-4691.
 31. Virta P. From liquid-phase synthesis to chemical ligation: preparation of oligonucleotides and their backbone analogs in solution // *Nucleic Acids Res.* 2025, V. 53, gkaf1084.
 32. McKenzie L.K., El-Khoury R., Thorpe J.D., Damha M.J., Hollenstein M. Recent progress in non-native nucleic acid modifications // *Chem. Soc. Rev.* 2021, V. 50, P. 5126-5164.
 33. Jun J.V., Chenoweth D.M., E. Petersson E.J. Rational design of small molecule fluorescent probes for biological applications // *Org. Biomol. Chem.* 2020, V. 18, P. 5747–5763.
 34. Klöcker N., Weissenboeck F.P., Rentmeister A. Covalent labeling of nucleic acids // *Chem. Soc. Rev.* 2020, V. 49, P. 8749-8773.
 35. Георгіянц В.А., Безуглий П.О., Петрушова Л.О. Фармацевтична хімія. Аналіз препаратів біотехнологічного виробництва: Навчальний посібник. – Х.: НФаУ: «Золоті сторінки», 2013. – 240 с.

Фахові журнали:

1. ACS Applied Biomaterials
2. ACS Nano
3. ACS Omega
4. Acta Biomaterialia
5. Advanced Drug Delivery Reviews
6. Advanced Functional Materials
7. Analytical Biochemistry
8. Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology
9. Biomacromolecules
10. Biomaterials
11. Biomaterials Science
12. Biopolymers and Cell
13. Bioconjugate Chemistry
14. Bioorganic and Medicinal Chemistry
15. Chemical Society Reviews
16. Drug Delivery
17. Drug Discovery Today
18. Future Medicinal Chemistry
19. Journal of Biological Engineering

20. Journal of Controlled Release
21. Journal of Chromatography
22. Journal of Drug Delivery Science and Technology
23. Journal of Drug Targeting
24. Journal of Nanobiotechnology
25. Journal of Polymer Science
26. Journal of Materials Chemistry
27. Materials Advances
28. Materials Science and Engineering
29. Molecular Pharmaceutics
30. Molecules
31. Nano Letters
32. Nanomaterials
33. Nanomedicine
34. Nature Chemical Biology
35. Nature Nanotechnology
36. Nature Reviews Cancer
37. Pharmaceutical Research
38. Pharmaceuticals
39. Progress in Polymer Science
40. Polymer Reviews
41. Polymers
42. RSC Advances