

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Біологічний факультет
Кафедра мікробіології

Затверджено на засіданні кафедри мікробіології
біологічного факультету Львівського
національного університету імені Івана Франка
(протокол № 4 від 18.03.2025 р.)

Завідувач кафедри, проф.  Світлана ГНАТУШ

**Силабус із навчальної дисципліни
"Технології біодеградації та відновлення ресурсів",
що викладається в межах ОПП "Біотехнології та біоінженерія"
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів за спеціальністю 162 "Біотехнології та біоінженерія"**

**Силабус курсу "Технології біодеградації та відновлення ресурсів"
2025/2026 н. р.**

Назва дисципліни	Технології біодеградації та відновлення ресурсів
Адреса викладання дисципліни	вул. Грушевського 4, м. Львів, 79005
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Біологічний факультет, кафедра мікробіології.
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	16 Хімічна інженерія та біоінженерія / 162 "Біотехнології та біоінженерія".
Викладачі дисципліни	Доцент кафедри мікробіології, к. б. н. Галушка Андрій Андрійович, доцент кафедри мікробіології, к. б. н. Перетятко Тарас Богданович
Контактна інформація викладачів	andriy.halushka@lnu.edu.ua https://bioweb.lnu.edu.ua/employee/halushka-a-a taras.peretyatko@lnu.edu.ua https://bioweb.lnu.edu.ua/employee/peretyatko-t-b вул. Грушевського 4, м. Львів, к. 302
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації проводять у день проведення лекцій/практичних занять: за умови дистанційного навчання – з використанням платформи zoom; за умови аудиторного навчання – в аудиторії, яка визначена розкладом. Також проводять он-лайн консультації у системі Moodle. Для погодження часу консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка дисципліни	https://bioweb.lnu.edu.ua/department/microbiology
Інформація про дисципліну	Курс "Технології біодеградації та відновлення ресурсів" покликаний надати магістрантам сучасні знання та навички з механізмів аеробної та анаеробної біодеградації різних сполук, характеристики та застосування ферментів (PEТаз, целюлаз, лінгноцелюлаз), підходів QSAR-моделювання, in situ і ex situ технологій біоремедіації, мікробних електрохімічних систем і біореакторів для очищення середовища та формування концепції циркулярної біоекономіки.
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна "Технології біодеградації та відновлення ресурсів" є вибірковою, яку викладають у межах ОПІ "Біотехнології та біоінженерія" другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія. Читають у 3 семестрі в обсязі 4 кредитів (за ЄКТС).
Мета та цілі дисципліни	Метою курсу є ознайомити студентів із сучасними методами біодеградації та відновлення ресурсів через

	<p>вивчення аеробних та анаеробних процесів, ферментативних технологій і QSAR-моделювання. Студенти отримають навички аналізу та планування <i>in situ</i> і <i>ex situ</i> біоремедіації, розробки мікробних електрохімічних систем і біореакторів для очищення довкілля. Завдяки цьому вони зможуть впроваджувати концепцію циркулярної біоекономіки та розв'язувати прикладні екологічні задачі.</p>
<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Основна література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Коваль О. А., Каратєєва О. І., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства: курс лекцій. Миколаїв: МНАУ, 2018. 190 с. 2. Lakshmi J., Sudha P., Laxman R. M. Biodegradation of plastics: a review // <i>Int. J. Environ. Sci. Technol.</i> 2020. Vol. 17. No. 5. P. 2343–2362. 3. Zheng Y., Yanful E. K., Bassi A. A Review of Plastic Waste Biodegradation. 2005. Scribd. URL: https://www.scribd.com/document/694707202/A-Review-of-Plastic-Waste-Biodegradation. 4. MekonnenTeto A. Review on Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose and Lignin. <i>Open Access J. Biomed. Med. Sci.</i> 2021. Vol. 7. No. 2. P. 12–29. 5. European Commission, JRC. Review of QSAR Models for Ready Biodegradation. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2006. 80 p. 6. EPA. In-Situ and Ex-Situ Biodegradation Technologies for Remediation of Contaminated Sites (4th ed.). U.S. EPA, 2006. FRTR Matrix. URL: https://frtr.gov/matrix/documents/Monitored-Natural-Attenuation/2006-In-Situ-and-Ex-Situ-Biodegradation-Technologies-for-Remediation-of-Contaminated-Sites.PDF. 7. Радовенчик В. М. Утилізація та рекуперація твердих відходів: метод. вказівки до лаб. та пр. робіт. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. 50 с. 8. Основи біотехнології / уклад. Н. Ю. Мацай. Луганськ: ЛНУ ім. Т. Шевченка, 2011. 153 с. <p>Додаткова література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. Alvarez M., Abdul-kader S., Mosqueda G. Current trends in microbial degradation of lignin: a review. <i>Bioresour. Technol.</i> 2019. Vol. 291. Art. 121872. 10. Singh B., Sharma N. Mechanistic implications of plastic degradation. <i>Environ. Technol. Innov.</i> 2020. Vol. 20. Art. 101029.

	<p>11.Vidali M. Bioremediation. An overview. Pure Appl. Chem. 2001. Vol. 73. No. 7. P. 1163–1172.</p> <p>12.Rai P. K., Kemppainen M. E., Grace H. S. Microbial electrochemical technologies for environmental remediation: latest trends. Environ. Sci. Pollut. Res. 2022. Vol. 29. No. 15. P. 22457–22473.</p>
Тривалість дисципліни	Один семестр
Обсяг курсу	120 год, з яких 48 год аудиторних занять (32 год лекцій і 16 год практичних занять) та 72 год самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент буде</p> <p>знати: механізми аеробної й анаеробної біодеградації різних органічних сполук, класи та властивості ключових ферментів (PEТази, целюлази, лінгноцелюлази), основи QSAR-моделювання, принципи <i>in situ</i> та <i>ex situ</i> біоремедіації, а також концепції мікробних електрохімічних технологій і циркулярної біоекономіки;</p> <p>вміти: аналізувати і порівнювати методи оцінки біодеградації, застосовувати ферментативні та модельні підходи для прогнозу й оптимізації процесів очищення середовища, проектувати мікробні електрохімічні системи й біореактори, а також розробляти стратегії апсайклінгу відходів у рамках циркулярної біоекономіки.</p>
Ключові слова	Біодеградація; біоремедіація; PEТази; целюлази; лінгноцелюлази; QSAR-моделювання; <i>in situ</i> технології; <i>ex situ</i> технології; мікробні електрохімічні системи; біореактори; циркулярна біоекономіка; апсайклінг; мікоремедіація.
Формат дисципліни	Очний/дистанційний (за умови карантинних обмежень)
	Проведення лекцій, практичних занять та консультації для кращого розуміння тем. Електронний курс у системі Moodle
Теми	Наведено у табл. 1
Підсумковий контроль, форма	залік у кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з мікробіології з основами вірусології, біохімії, загальної біотехнології, генетики, біоінформатики.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	<p>Словесно-наочні: лекції, презентації, демонстрація, пояснення, бесіда.</p> <p>Практичні: діалогово-комунікаційні технології, дискусії.</p> <p>Методи розвитку критичного мислення: формування понять, висунення гіпотез, інтерпретація даних, порівняння.</p> <p>Робота з бібліографічними та інформаційними ресурсами.</p>

	<p>Методи електронного навчання: інструменти платформи Moodle.</p> <p>Самостійна робота: пошуковий, метод застосування знань</p>
Необхідне обладнання	Персональний комп'ютер, комп'ютерні програми і операційні системи, проектор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводять за 100-бальною шкалою.</p> <p>Поточний контроль успішності навчання здійснюють у вигляді двох модульних контрольних робіт та оцінювання активності на практичних заняттях.</p> <p>Модульні контрольні роботи оцінюють так:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6 тестів – 6 балів; - 2 описові питання – 20 балів. <p>Підготовку до практичних занять (самостійну роботу) та активність на них оцінюють у 48 балів (6 балів за заняття). Самостійна робота перевіряється на практичних заняттях, також питання для самостійної роботи включено в питання для модульних контрольних робіт.</p> <p><i>Академічна доброчесність:</i> Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p><i>Відвідання занять</i> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом.</p> <p><i>Література.</i> Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем винятково в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також і іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p>
Питання для контролю	<p>Визначіть поняття "біодеградація" та наведіть приклади аеробних і анаеробних процесів.</p> <p>Поясніть відмінності між аеробними та анаеробними шляхами мікробної деградації сполук.</p> <p>Схарактеризуйте методи оцінки біодеградації в лабораторних умовах та їхні переваги й обмеження.</p> <p>Назвіть основні класи ферментів, що беруть участь у біодеградації, і опишіть їхні властивості.</p> <p>Опишіть механізм дії РЕТаз і наведіть приклади їхнього застосування для деградації ПЕТ-пластику.</p> <p>Які чинники впливають на ефективність ферментативної деградації ПЕТ у промислових умовах?</p>

	<p>Поясніть шляхи розщеплення полістиролу та поліуретану мікроорганізмами.</p> <p>Наведіть основні принципи QSAR-моделювання для прогнозу біодеградаційної здатності хімічних речовин.</p> <p>Опишіть алгоритм інтерпретації результатів QSAR-моделі для нового контамінанта.</p> <p>Що таке лінгноцелюлозні ферменти, і які їх ролі у деградації біомаси?</p> <p>Порівняйте ферментативні шляхи розщеплення целюлози та геміцелюлози.</p> <p>Які методи аналізу каталізу лінгноцелюлаз використовують у наукових дослідженнях?</p> <p>Визначте принципи роботи <i>in situ</i> технологій біоремедіації та приклади їхнього застосування.</p> <p>Наведіть основні особливості <i>ex situ</i> технологій очищення ґрунтів і вод.</p> <p>Порівняйте переваги та недоліки <i>in situ</i> і <i>ex situ</i> підходів на прикладі конкретного забруднення.</p> <p>Поясніть принципи створення мікробних електрохімічних систем і їх застосування для очищення.</p> <p>Назвіть ключові параметри проектування біореактора для біодеградації органічних забруднень.</p> <p>Опишіть алгоритм розробки концепції циркулярної біоекономіки для відходів нафтопродуктів.</p> <p>Які стратегії <i>upcycling</i> можуть бути застосовані до біодеградації нафтопродуктів і важких металів?</p> <p>Схарактеризуйте роль грибів у процесі мікоремедіації та наведіть приклади практичних кейсів.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано після завершення курсу

Таблиця 1

Схема курсу "Технології біодеградації та відновлення ресурсів"

№	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності та обсяг годин	Література / ресурс для виконання завдань	Термін виконання
1.	Вступ до біодеградації: поняття, історія, значення	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	1, 8	1-й тиждень
2.	Механізми мікробної деградації: аеробні та анаеробні шляхи	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	11	1-й тиждень
3.	Оцінка методів біодеградації	Практичне заняття – 2 год,	1, 11	1-й тиждень

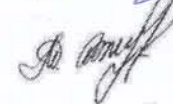
		самостійна робота – 3 год		
4.	Ферменти у біодеградації: характеристика та класи	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	8	2-й тиждень
5.	Ферментативна деградація ПЕТ: РЕТази та їх застосування	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	2, 3	2-й тиждень
6.	РЕТази в реальному застосуванні	Практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2, 3	2-й тиждень
7.	Деградація інших пластиків: полістирол, поліуретан	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	10	3-й тиждень
8.	Моделювання біодеградації: QSAR-підходи	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	5	3-й тиждень
9.	Практика QSAR: розбір прикладів та інтерпретація результатів	Практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	5	3-й тиждень
10.	Біодеградація лінгноцелюлози: ферментативні серії	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	4	4-й тиждень
11.	Біодеградація целюлози та геміцелюлози	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	4	4-й тиждень
12.	Лінгноцелюлозні ферменти: аналіз каталізу та застосувань	Практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	4	4-й тиждень
13.	In-situ технології біоремедіації	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	6	5-й тиждень
14.	Ex-situ технології біоремедіації	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	6	5-й тиждень
15.	In-situ vs Ex-situ: порівняльний аналіз	Практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	6	5-й тиждень
16.	Мікробні електрохімічні технології	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	12	6-й тиждень

17.	Біореакторні системи для деградації забруднень	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	8	6-й тиждень
18.	Дизайн мікробних біореакторів: проектні ідеї	Практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	12, 8	6-й тиждень
19.	Біодеградація нафтопродуктів	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	6	7-й тиждень
20.	Біодеградація важких металів	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	6	7-й тиждень
21.	Кейси нафтозабруднення: обговорення реальних ситуацій	Практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	6, 11	7-й тиждень
22.	Роль грибів у мікоремедіації	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	8	8-й тиждень
23.	Концепція циркулярної біоекономіки: апсайклінг і майбутні напрямки	Лекція – 2 год, самостійна робота – 3 год	9, 10	8-й тиждень
24.	Мікоремедіація: потенціал та обмеження	Практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	9, 10	8-й тиждень

Автори:

доцент кафедри мікробіології Андрій Галушка

доцент кафедри мікробіології Тарас Перетятко


"Погоджено"
Голова методичної ради
біологічного факультету
Віталій ГОНЧАРЕНКО
"10" лютого 2025 р.



Гарант ОПП
Богдан ОСТАШ
" " _____ 2025 р.