



ОСНОВИ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ТА ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>G Інженерія, виробництво та будівництво</i>
Спеціальність	<i>G2 Технології захисту навколишнього середовища</i>
Освітня програма	<i>Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1-й рік навчання, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС / 120 годин (лекції – 8 год, практичні заняття – 8 год, СРС – 104 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / домашня контрольна робота (ДКР)</i>
Розклад занять	<i>https://schedule.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к. т. н., доцент Гребенюк Тетяна Володимирівна, t.hrebeniuk07@gmail.com, 0679416841; Практичні/Семінарські: к. т. н., доцент Гребенюк Тетяна Володимирівна, t.hrebeniuk07@gmail.com, 0679416841;</i>
Розміщення курсу	<i>Доступний на платформі «Сікорський». Код доступу надається викладачем на першому занятті.</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Фіторемедіація є екологічно безпечним та сталим методом очищення забруднених земель. На відміну від традиційних методів, які можуть бути агресивними для навколишнього середовища, фіторемедіація використовує природні процеси, що мінімізує негативний вплив на екосистему. Використання рослин для очищення забруднених територій сприяє збереженню та відновленню біорізноманіття. Рослини не тільки видаляють забруднювачі, але й створюють сприятливі умови для розвитку інших організмів.

Мета дисципліни – посилити формування компетентностей та досягнення програмних результатів навчання за освітньо-професійною програмою (ОПП) а саме:

ФК01. Здатність контролювати й оцінювати екологічні ризики впливу техногенних об'єктів і господарської діяльності на довкілля.

ФК06. Здатність контролювати й оцінювати ефективність природоохоронних заходів та застосовуваних технологій.

ПРН04. Обґрунтовувати рішення, направлені на мінімізацію екологічних ризиків господарської діяльності на загальнодержавному, регіональному й локальному рівнях.

ПРН09. Оцінювати загрози фізичного, хімічного та біологічного забруднення біосфери та його впливу на довкілля і людину, вміти аналізувати зміни, що відбуваються в навколишньому середовищі під впливом природних і техногенних факторів.

ПРН16. Обґрунтовувати ідеї, впроваджувати і використовувати інноваційні підходи та методики, спрямовані на відновлення пошкоджених територій внаслідок війни та техногенних і природних катастроф із забезпеченням сталості.

Предметом вивчення є процеси, механізми та застосування рослин для очищення забруднених середовищ. Основна увага приділяється вивченню природних властивостей рослин, які дозволяють їм видаляти, нейтралізувати або перетворювати забруднювачі в ґрунті, воді та повітрі.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити дисципліни, базові знання з біології, хімії та екології.

Постреквізити: «Практика», «Виконання магістерської дисертації».

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Класифікація джерел забруднення ґрунтів (земель).

Тема 2. Стан забруднення ґрунтів (земель) в Україні та світі.

Тема 3. Перерозподіл важких металів у агроландшафтів під впливом техногену.

Тема 4. Загальні особливості біоаккумуляції важких металів рослинами. Принципові шляхи зниження вмісту важких металів в агроекотопах.

Тема 5. Біоіндикація та біотестування у приміненні до технологій фітореMediaції ґрунтів.

Тема 6. Фітоіндикація.

Тема 7. Рослини як тест-системи у технологіях фітореMediaції. Підбір рослин для фітореMediaції ґрунтів (земель) забруднених важкими металами.

Тема 8. Основні види та форми фітореMediaції.

Тема 9. Вплив забруднення ґрунту нафтою на рослини.

Тема 10. Методи підвищення ефективності фітореMediaції.

Тема 11. Екологічний аналіз фітореMediaції.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Кисельов А. І. Кисельов А. І. Рекультивация і фітореMediaція деградованих земель : метод. вказівки / А. І. Кисельов. – Вінниця: ВНАУ, 2022. – 53 с. – URL: <https://socrates.vsau.org>.
2. Забалуєв В. О., Мусієнко М. М., Коломієць Ю. І. Забалуєв В. О., Мусієнко М. М., Коломієць Ю. І. Ґрунтові деградації і технології відтворення родючості ґрунтів: навч. посіб. – Київ : НУБіП України, 2023. – 240 с. – URL: <https://nubip.edu.ua/node/1232/3> (дата звернення: 08.09.2025).
3. Kumar V., Srivastava S., Singh M. P., Prasad S. (Eds.) Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water / eds. V. Kumar, S. Srivastava, M. P. Singh, S. Prasad. – Amsterdam : Elsevier, 2022. – 482 p. – ISBN: 9780323857635. – URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780323857635>.
4. Prasad R. (Ed.) Phytoremediation for Environmental Sustainability / ed. R. Prasad. – Singapore : Springer, 2023. – 349 p. – DOI: 10.1007/978-981-16-5621-7. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-5621-7>.
5. Phytoremediation: New Approaches and Perspectives. Special Issue Reprint. Phytoremediation: New Approaches and Perspectives : спецвип. журн. Plants / ed. A. V. Glick. – Basel : MDPI, 2022. – 244 p. – ISBN: 978-3-0365-4222-5. – URL: <https://mdpi-res.com/bookfiles/book/7698>

Додаткова література

1. Паньків З. Екологічні проблеми землекористування в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://geoknigi.com/book_view.php?id=1127
2. Офіційний сайт Державної служби України з питань геодезії, картографія та кадастру. Режим доступу: <http://land.gov.ua/info/zemelnyi-fondukrainy-stanom-na-1-sichnia-2016-roku-ta-dynamika-ioho-zmin-u-porivnianni-zdanymy-na-1-sichnia-2015-roku/>
3. Дацько, О.М., Яценко, В.М. Сучасні методи ремедіації ґрунтів. Фіторемедіація як ключ до очищення ґрунтів та збереження екосистем. Аграрні інновації, 2024. <http://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/623>
4. Ліщук, А.М., Парфенюк, А.І., Драга, М.В., Городиська, І.М. Концепція реабілітації забруднених ґрунтів. НААН, 2020. https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/Publications/reabilitatsiia_hruntiv.pdf
5. Борецька, І.Ю., Джура, Н.М., Романюк, О.І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. Львівський національний університет імені Івана Франка, 2021. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/11.pdf>
6. Маслак, Г., Абдул-Огли, Л., Нефьодова, О., Нефьодов, О., Земляний, О., Стрижак, О. Вплив важких металів на морфологічні структури травної системи. Перспективи та інновації науки, 2024. <http://perspectives.pp.ua/index.php/pis/article/view/9339>
7. Цицюра, Я.Г. Рекультивация і фіторемедіація деградованих земель. Вінницький національний аграрний університет, 2023. <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/33912.pdf>
8. Фурдичка, О.І. Концепція реабілітації забруднених ґрунтів. Національна академія аграрних наук України, 2020.
9. Палапа, Н.В. Реабілітація ґрунтів з використанням енергетичних культур. Інститут агроєкології і природокористування НААН, 2020.
10. Бородай, В.В. Екологічні технології реабілітації забруднених ґрунтів. Національний університет біоресурсів і природокористування, 2020.
11. Ліщук, А.М., Парфенюк, А.І., Драга, М.В., Городиська, І.М. Концепція реабілітації забруднених ґрунтів. НААН, 2020.

Літературу, бібліографія якої подана із посиланням, можна знайти в інтернеті. Літературу, бібліографія якої не містить посилання, можна знайти в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського. Обов'язковим для прочитання є окремі розділи базової літератури [1-5]. Розділи базової літератури, що є обов'язковими для прочитання, викладач зазначить на відповідному занятті. Усі інші літературні джерела є факультативними, з ними рекомендується ознайомитись.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу)
Лекція 1	Класифікація джерел забруднення ґрунтів (земель) Антропогенні джерела. Промислові відходи, сільськогосподарські хімікати (пестициди, гербіциди), міські стоки та звалища. Природні джерела. Виверження вулканів, процеси ерозії ґрунтів та осадові породи. Література: [1,2]
Лекція 2	Стан забруднення ґрунтів (земель) в Україні та світі. Вплив воєнних дій на забруднення ґрунтів. Основні забруднювачі та їхнє розповсюдження. Заходи з охорони та відновлення ґрунтів. Стан забруднення ґрунтів у світі. Глобальні тенденції забруднення ґрунтів. Література: [1,2]
Лекція 3	Перерозподіл важких металів у агроландшафтів під впливом техногену.

	Джерела важких металів. Вплив важких металів на агроландшафт. Вплив на сільськогосподарські культури. Вплив на здоров'я людей та тварин. Екологічні наслідки для екосистем. Література: [1,3]
Лекція 4	Загальні особливості біоаккумуляції важких металів рослинами. Принципові шляхи зниження вмісту важких металів в агроєкоотопах. Механізми поглинання важких металів рослинами. Роль коренів у поглинанні металів. Транспортування металів з коренів до надземних частин.. Література: [1-5]

Практичні заняття

№ з/п	Завдання, які виносяться на практичні заняття
Практичне заняття 1	Аналіз забрудненого ґрунту. Вивчення методик відбору проб ґрунту та основ аналізу забруднювачів.
Практичне заняття 2	Вибір та висадка рослин для фітореMediaції. Обговорення критеріїв вибору рослин для фітореMediaції та методик їх висадки. Моделювання процесу висадки рослин у спеціальних контейнерах або на підготовлених макетах.
Практичне заняття 3	Моніторинг стану рослин. Вивчення методик моніторингу росту та розвитку рослин. Використання демонстраційних рослин або моделей для проведення вимірювань та аналізу стану.).
Практичне заняття 4	Використання мікроорганізмів для підвищення ефективності фітореMediaції: Обговорення ролі симбіотичних мікроорганізмів у фітореMediaції та методик їх застосування.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента передбачає:

підготовку до лекцій – 4 год;

підготовку до практичних занять – 8 год;

виконання домашньої контрольної роботи – 20 год;

підготовку до заліку – 6 год.

Теми для самостійного опрацювання

Кількість годин	Назва теми та перелік основних питань
4 години	Біоіндикація та біотестування у приміненні до технологій фітореMediaції ґрунтів. Основи біоіндикації та біотестування. Вибір біоіндикаторів. Методи біотестування. Лабораторні методи біотестування. Польові методи біотестування та їх використання. Аналіз результатів біотестування. Література: [1-5]
4 години	Біоіндикація та біотестування у приміненні до технологій фітореMediaції ґрунтів. Інтерпретація даних біотестування. Використання даних для оцінки ефективності фітореMediaції. Література: [1-5]
4 години	Біоіндикація та біотестування у приміненні до технологій фітореMediaції ґрунтів. Випадки успішного використання біоіндикації та біотестування у фітореMediaції. Порівняння різних методів та їх ефективність. Література: [1-5]
4 години	Фітоіндикація.

	<p>Використання рослин як індикаторів. Методи фітоіндикації. Спостереження за змінами у зростанні, кольорі листя, цвітінні.</p> <p>Література: [1-5]</p>
4 години	<p>Рослини як тест-системи у технологіях фіторемедіації. Підбір рослин для фіторемедіації ґрунтів (земель) забруднених важкими металами.</p> <p>Методи використання рослин як тест-систем. Лабораторні методи фітоіндикації. Польові методи фітоіндикації. Фізіологічні показники рослин як індикатори забруднення.</p> <p>Література: [1-5]</p>
4 години	<p>Основні види та форми фіторемедіації.</p> <p>Критерії вибору рослин для фіторемедіації. Вплив ґрунтових умов на вибір рослин</p> <p>Література: [1-5]</p>
4 години	<p>Типові рослини, що використовуються в різних процесах фіторемедіації.</p> <p>Порівняння ефективності різних видів рослин. Оцінка ефективності фіторемедіації для різних рослин. Практичні приклади використання.</p> <p>Література: [1-5]</p>
4 години	<p>Потенціал та способи фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів (земель).</p> <p>Біодеградація нафти. Адсорбція та мінералізація. Способи фіторемедіації. Приклади рослин для фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів.</p> <p>Література: [1-5]</p>
4 години	<p>Вплив забруднення ґрунту нафтою на рослини.</p> <p>Роль рослин у фіторемедіації нафтових забруднювачів. Приклади рослин-гіперакумуляторів. Характеристики та адаптація цих рослин до забруднених умов. Рослини для очищення ґрунтів, забруднених важкими металами та нафтопродуктами. Врахування кліматичних та ґрунтових умов при виборі рослин. Проектування фіторемедіаційних систем.</p> <p>Література: [1-5]</p>
4 години	<p>Методи підвищення ефективності фіторемедіації.</p> <p>Біологічні та агротехнічні методи підвищення ефективності фіторемедіації. Генетична модифікація рослин. Використання симбіотичних мікроорганізмів. Вирощування багатофункціональних культур. Хімічні та інноваційні методи підвищення ефективності фіторемедіації. Фітогормони та біостимулятори. Використання наноматеріалів для поліпшення фіторемедіації. Використання кількох методів одночасно для підвищення ефективності.</p> <p>Література: [1-5].</p>
4 години	<p>Екологічний аналіз фіторемедіації.</p> <p>Екологічні аспекти фіторемедіації. Екологічні показники успішності фіторемедіації. Вплив фіторемедіації на якість ґрунтів. Екологічні ризики та обмеження фіторемедіації. Соціально-економічні та правові аспекти екологічного аналізу фіторемедіації. Оцінка довгострокових екологічних ефектів. Моніторинг та оцінка довгострокових результатів фіторемедіаційних заходів. Використання GIS та інших технологій для аналізу результатів</p> <p>Література: [1-5]</p>
3 години	<p>Фіторемедіація радіонуклідів у поствоєнних екосистемах</p> <p>Основні джерела радіоактивного забруднення ґрунтів в Україні (включаючи бойові дії, аварії, склади боєприпасів).</p>
3 години	<p>Фіторемедіація мікропластиків і стійких органічних забруднювачів (POPs)</p> <p>Актуальність проблеми забруднення ґрунтів мікропластиками та ПХБ, ПАВ, фталатами. Механізми впливу мікропластиків на ґрунтову мікробіоту та поглинання рослинами.</p>
4 години	<p>Включення фіторемедіації у стратегії рекультивації і зеленого відновлення</p>

	Порівняння традиційної рекультивациі (механічна, хімічна) з біологічними методами.
4 години	Оцінка ефективності фіторемедіації. Вивчення методик оцінки ефективності фіторемедіаційних заходів. Аналіз даних забруднення до і після імітаційних фіторемедіаційних заходів.
4 години	Фіторемедіація водних середовищ. Обґрунтувати рішення, направлені на мінімізацію екологічних ризиків господарської діяльності на загальнодержавному, регіональному й локальному рівнях. Обґрунтувати методику висадки водних рослин та моніторингу якості води.
4 години	Проектування фіторемедіаційних систем. Обґрунтувати ідеї впровадження і використання інноваційних підходів та методики, спрямовані на відновлення пошкоджених територій внаслідок війни та техногенних і природних катастроф із забезпеченням сталості.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

На момент проведення кожного заняття, як лекційного, так і практичного, у студента на пристрої, з якого він працює, має бути встановлено додаток Zoot, а також відкрито курс «Основи фіторемедіації порушених та забруднених територій» на платформі «Сікорський» (код доступу до курсу надається на першому занятті згідно з розкладом). Заняття згідно з розкладом проводяться за допомогою додатку Zoot (за умови дистанційного навчання). Силабус; лекційний матеріал; завдання до кожного практичного заняття; варіанти модульної контрольної роботи; тести, які потрібно виконати за кожною лекцією; варіанти залікової контрольної роботи розміщено на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

Під час проходження курсу «Основи фіторемедіації порушених та забруднених територій» студенти зобов'язані дотримуватись загальних моральних принципів та правил етичної поведінки, зазначених у Кодексі честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Дедлайни виконання кожного завдання зазначено у курсі «Основи фіторемедіації порушених та забруднених територій» на платформі «Сікорський».

Усі без виключення студенти зобов'язані дотримуватись вимог Положення про систему запобігання академічному плагіату в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: завдання в рамках практичного заняття (4 практичних занять × 15 балів = 60 балів), ДКР 40 балів).

Завдання в рамках практичного заняття оцінюються в 15 балів за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані правильні відповіді – 15 – 14 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 13 - 12 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 11 - 9 балів;
- «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

ДКР складається із тестових завдань двох рівнів складності. Перший рівень складності містить 8 запитань з лекційного матеріалу, на кожне з яких пропонується декілька відповідей, лише одна правильна. Кожна правильна відповідь у рамках першого рівня оцінюється в 4 бали. Другий рівень складності передбачає розв'язок кейсу і за результатами розв'язку оцінюється у 8 балів.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умовою позитивного першого та другого календарного контролів є отримання не менше 50 % максимально можливого на момент відповідного календарного контролю рейтингу.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконана і зарахована ДКР.

Сума рейтингових балів, отриманих студентом протягом семестру, переводиться до підсумкової оцінки згідно з таблицею. Якщо сума балів менша за 60 і студент виконав умови допуску, то студент виконує залікову контрольну роботу, яка складає 100 балів.

У цьому разі сума балів анулюється і студент отримує бали відповідно за виконання залікової роботи.

Залікова контрольна робота оцінюється у 100 балів.

Контрольне завдання цієї роботи складається з чотирьох теоретичних запитань (20 балів за кожне) з переліку, наведеного у додатку до силабусу, та розв'язання кейсу, який оцінюється в 20 балів.

Кожне теоретичне запитання оцінюється в 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 20 – 18 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 17 – 15 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 14 – 12 балів;
- «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

Відповідно системі оцінювання теоретичних запитань, оцінюється виконання кейсу.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль, наведено у додатку до силабусу.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доценткою Гребенюк Тетяною Володимирівною

Ухвалено кафедрою геоінженерії (протокол №15 від 23 червня 2025 року)

Погоджено навчально-методичною комісією НН ІЕЕ (протокол № 30 від 25 червня 2025 року)

Перелік питань, які виносяться на залік

1. Що таке фіторе mediaція та які її переваги у порівнянні з іншими методами очищення ґрунтів?
2. Назвіть основні типи забруднень ґрунтів і дайте їх коротку характеристику.
3. Які чинники впливають на ефективність фіторе mediaції?
4. Як класифікуються види фіторе mediaції? Наведіть приклади кожного типу.
5. Що таке агроекотоп і чому він є об'єктом фіторе mediaції?
6. Які форми важких металів найчастіше накопичуються в ґрунтах України? Чому це є небезпечно?
7. У чому полягає принцип біокумуляції важких металів рослинами?
8. Поясніть механізм фітовилучення (phytoextraction) важких металів.
9. Як фітозапобігання (phytostabilization) відрізняється від фітоекстракції?
10. Розкрийте значення кореневої системи рослин у процесах фіторе mediaції.
11. Які методи використовуються для оцінки ефективності фіторе mediaції?
12. Як здійснюється підбір рослин для очищення ґрунтів, забруднених нафтою?
13. Які вимоги до рослин-галофітів для застосування в умовах засолених територій?
14. Що таке гіперакумулятори? Наведіть приклади та поясніть їх роль.
15. Як фіторе mediaцію можна поєднувати з мікробною біоре mediaцією?
16. У чому полягає суть біоіндикації при оцінці стану забрудненого ґрунту?
17. Які рослини використовуються як тест-системи у біотестуванні ґрунту?
18. Як проводиться лабораторне біотестування з використанням рослин?
19. Які фізіологічні показники рослин свідчать про забруднення ґрунту?
20. Як впливають нафтові забруднення на ріст і розвиток рослин?
21. Як фіторе mediaція може бути інтегрована в плани рекультивации промислових територій?
22. Які приклади успішного застосування фіторе mediaції в Україні або Європі вам відомі?
23. Які методи покращення ефективності фіторе mediaції застосовуються на практиці?
24. Як зміни клімату можуть впливати на ефективність фіторе mediaції?
25. Яке місце фіторе mediaція займає в концепції зеленого повоєнного відновлення України?