

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кафедра загальної екології радіобіології та безпеки життєдіяльності

„ЗАТВЕРДЖУЮ”
Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології
Юлія КОЛОМІЄЦЬ
Протокол № 9 від «18» травня 2023 р.

«СХВАЛЕНО»
на засіданні кафедри загальної екології,
радіобіології та безпеки життєдіяльності
Протокол № 9 від «19» квітня 2023 р.

Завідувач кафедри
Алла КЛЕПКО

«РОЗГЛЯНУТО»
Гарант ОПП Екологія

Володимир БОГОЛЮБОВ

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Радіобіологія та радіоекологія»

Спеціальність: 101 - Екологія
Освітня програма: «Екологія»
Факультет: захисту рослин, біотехнологій та екології
Гудков Ігор Миколайович, доктор біологічних наук,
професор кафедри загальної екології радіобіології та
безпеки життєдіяльності
Розробники: Клепко Алла Володимирівна, кандидат біологічних
наук, доцент кафедри загальної екології радіобіології та
безпеки життєдіяльності
Ілленко Володимир Віталійович, кандидат біологічних
наук, ст. викладач кафедри загальної екології
радіобіології та безпеки життєдіяльності

Київ – 2023 р.

**1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«Радіобіологія та радіоекологія»**

Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній ступінь		
Освітній ступінь	<i>Бакалавр</i>	
Спеціальність	<i>101 Екологія</i>	
Освітня програма	<i>“Екологія”</i>	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	Вибіркова	
Загальна кількість годин	120	
Кількість кредитів ECTS	4	
Кількість змістових модулів	3	
Форма контролю	<i>Екзамен</i>	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форми навчання		
	денна форма	заочна форма
Рік підготовки	3	3
Семестр	5	5
Лекційні заняття	30 год.	2 год.
Практичні, семінарські заняття	немає	немає
Лабораторні заняття	30 год.	6 год.
Самостійна робота	60	112
Індивідуальні завдання	немає	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних	4 год.	

2. МЕТА, ЗАВДАННЯ ТА КОМПЕТЕНТНОСТІ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Радіобіологія, або радіаційна біологія, - це наука про дію іонізуючих випромінювань на живі організми та їх угруповання.

Останніми десятиліттями об'єктами вивчення радіобіології стали не тільки живі організми і їх угруповання, але й біологічно важливі молекули, клітини й популяції клітин, окремі процеси метаболізму. І з'явилося *нове визначення радіобіології - це наука про дію іонізуючих випромінювань на живі системи всіх рівнів організації.* Це формулювання не є альтернативним першому - вони обидва правильні.

Основним **завданням** радіобіології є вивчення закономірностей дії іонізуючих випромінювань на живий організм з метою пошуку можливостей щодо керування його реакціями на цей фактор. Воно передбачає вивчення механізмів взаємодії випромінювань з речовинами клітин і тканин, чутливості живих організмів до іонізуючих випромінювань, розробку засобів їх захисту від радіаційного ураження і шляхів післярадіаційного відновлення, дослідження шляхів міграції і біологічної дії інкорпорованих організмами радіоактивних речовин. Втім, останнє завдання є основним для окремого розділу радіобіології - радіоекології.

Радіоекологія, або радіаційна екологія, - це розділ радіобіології, який виник на стику її з екологією. *Радіоекологія вивчає концентрації та міграцію радіоактивних речовин (радіонуклідів) в навколишньому середовищі та вплив їх іонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання.*

Головною ціллю цих завдань є зменшення уражуючої дії іонізуючих випромінювань на живі організми, і в першу чергу людини, шляхом послаблення їх впливу на молекулярні і клітинні структури за допомогою різних чинників фізичної і хімічної природи, обмеження надходження радіоактивних речовин до організму харчовими ланцюгами, їх виведення, індукцією процесів післярадіаційного відновлення.

Основна **мета** вивчення дисципліни «Радіобіологія та радіоекологія» є оволодіння глибокими знаннями з природи іонізуючих випромінювань, їх дії на живі організми, освоєння прикладних аспектів спеціальності, пов'язаних з радіаційною безпекою, а також практичне застосування знань для вирішення дослідницьких та прикладних завдань.

Набуття компетентностей в результаті вивчення дисципліни:

інтегральна компетентність (ІК):

здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми у сфері екології, охорони довкілля і збалансованого природокористування, що передбачає застосування основних теорій та методів наук про довкілля, які характеризуються комплексністю та невизначеністю умов.

загальні компетентності (ЗК):

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

ЗК8. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

фахові (спеціальні) компетентності (ФК):

ФК5. Здатність до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних і радіаційних ризиків, пов'язаних з виробничою діяльністю.

ФК11. Здатність інформувати громадськість про стан екологічної безпеки та збалансованого природокористування.

програмні результати навчання (ПРН):

ПРН9. Демонструвати навички оцінювання непередбачуваних екологічних проблем і обдуманого вибору шляхів їх вирішення.

ПРН22. Брати участь у розробці проектів і практичних рекомендацій щодо збереження довкілля.

3. ПРОГРАМА ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Модуль 1. Вступ. Фізичні основи радіобіології та радіоекології

Тема 1. Вступ. Радіобіологія та радіоекологія як суцільна наука

Визначення радіобіології (радіаційної біології) та радіоекології (радіаційної екології). Радіоекологія як складова частина радіобіології. Об'єкти вивчення радіобіології. Організаційна структура радіобіології. Місце радіобіології серед суміжних наук. Напрями розвитку радіобіології. Завдання радіобіології і та радіоекології.

Історія розвитку радіобіології. Роль досягнень ядерної фізики наприкінці 19 століття у виникненні і розвитку радіобіології. Етапи розвитку радіобіології. Розвиток радіобіології та радіоекології в Україні.

Сучасні проблеми радіобіології: специфіка дії на живі організми малих доз іонізуючих випромінювань, особливості дії на організм хронічного опромінення, профілактика і терапія гострих і хронічних радіаційних уражень, радіаційне порушення імунітету, віддалені наслідки опромінення, спільна дія на організм іонізуючих випромінювань та інших факторів, міграція природних та штучних радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища, особливості дії на організм інкорпорованих радіоактивних речовин, блокування надходження радіоактивних речовин в рослини, організм тварин і людини, виведення радіоактивних речовин з організму.

Теоретичне і практичне значення радіобіології. Необхідність широкої пропаганди радіобіологічних знань.

Тема 2. Радіоактивність, типи іонізуючих випромінювань

Явище радіоактивності. Радіоактивні перетворення ядер. Закон радіоактивного розпаду. Типи радіоактивного розпаду. Природа іонізації атомів і молекул речовини. Визначення поняття іонізуючих випромінювань.

Типи іонізуючих випромінювань: електромагнітне і корпускулярне випромінювання. Види електромагнітних іонізуючих випромінювань: рентгенівське, гамма- і гальмівне випромінювання. Фізичні характеристики основних видів корпускулярних випромінювань: альфа-, бета-, протонного та нейтронного.

Експозиційна, поглинута та еквівалентна дози іонізуючих випромінювань. Одиниці радіоактивності і доз іонізуючих випромінювань. Потужність дози. Види опромінення в залежності від потужності дози, фактору часу і кратності опромінення: гостре і пролонговане (хронічне), одноразове і багаторазове (фракціоноване).

Зв'язок між радіоактивністю речовини і дозою іонізуючого випромінювання.

Тема 3. Природні та штучні радіоактивні хімічні елементи та ізотопи. Радіонукліди. Радіоактивні сполуки.

Природні та штучні джерела іонізуючих випромінювань. Природне іонізуюче випромінювання. Космічне випромінювання і випромінювання природних радіоактивних елементів та ізотопів. Сонячне і галактичне випромінювання. Випромінювання радіоактивних елементів та ізотопів з родин урану, актиноурану і торію. Внесок випромінювання радону. Випромінювання позародинних природних радіоактивних ізотопів. Внесок випромінювання радіоактивного калію. Випромінювання космогенних радіоактивних ізотопів.

Природний радіаційний фон. Оцінки доз опромінення живих організмів, зумовлених природним іонізуючим випромінюванням. Можливе значення природного випромінювання в процесах життєдіяльності організмів.

Іонізуюче випромінювання від штучних радіоактивних ізотопів. Джерела штучних радіоактивних речовин в навколишньому середовищі. Випромінювання від радіоактивних ізотопів, що утворюються внаслідок випробувань атомної зброї. Випромінювання радіоактивних речовин, що надходять у довкілля від підприємств ядерної енергетики.

Випромінювання від джерел, що застосовуються в медицині та побуті.

Тема 4. Фізико-хімічні основи радіобіології та радіоекології.

Передача енергії іонізуючого випромінювання атомам і молекулам. Іонізація та збудження атомів і молекул. Вторинні електрони та їх участь в іонізації та збудженні атомів і молекул. Основні процеси, які відбуваються при взаємодії електромагнітних іонізуючих випромінювань з речовиною: фотоефект, комптонівський ефект, народження пар іонів. Особливості взаємодії корпускулярних іонізуючих випромінювань з речовиною: роль маси, заряду, енергії.

Проникаюча здатність іонізуючих випромінювань. Рідко- і щільно іонізуючі випромінювання. Лінійна втрата енергії (ЛВЕ) іонізуючих випромінювань. ЛВЕ і будова треку. Крива Брегга. Відносна біологічна ефективність (ВБЕ) і коефіцієнт якості іонізуючих випромінювань. Зв'язок ЛВЕ і ВБЕ. Особливості взаємодії нейтронів з речовиною.

Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань на молекули. Суть теорії мішені. Мішень дії іонізуючого випромінювання - ДНК та ДНК-мембранний комплекс. Іонізовані атоми і молекули та вільно радикальний стан молекул. Кількісна характеристика радіаційно-хімічних реакцій. Радіаційно-хімічні перетворення води. Участь кисню в радіаційно хімічних перетвореннях води.

Радіаційно-хімічні ушкодження нуклеїнових кислот. Зміни структури хроматину під впливом іонізуючого випромінювання. Радіаційно-хімічні перетворення білкових молекул. Радіаційна хімія амінокислот. Перетворення ліпідів

під впливом іонізуючого випромінювання. Вільнорадикальні стани ліпідних молекул і ланцюгове окислення ліпідів. Радіаційно-хімічні реакції вуглеводів. Радіаційне ушкодження мембран. Гіпотеза вивільнення ферментів. Вплив випромінювань на окремі системи метаболізму: синтез ДНК та РНК, білків, ліпідів, фотосинтез, дихання, синтез гормонів, мінеральний та водний обмін та інші.

Токсичні продукти радіолізу органічних сполук. Гіпотеза «радіотоксинів». Структурно-метаболічна гіпотеза біологічної дії іонізуючих випромінювань.

Модуль 2. Дія іонізуючих випромінювань на живі організми

Тема 5. Біологічні ефекти іонізуючих випромінювань у рослин і тварин

Поняття радіобіологічного ефекту. Класифікація радіобіологічних ефектів. Соматичні і генетичні радіобіологічні ефекти.

Суть радіаційної стимуляції. Радіаційна стимуляція у рослин і тварин. Основні типи морфологічних змін органів рослин під впливом іонізуючої радіації. Морфологічні зміни у тварин. Суть тератогенної дії іонізуючих випромінювань. Поняття радіаційної химери. Канцерогенна дія випромінювань. Механізми виникнення морфологічних змін при дії іонізуючих випромінювань. Ознаки променевої хвороби у рослин. Види і ступені променевої хвороби ссавців. Вплив іонізуючих випромінювань на прискорення старіння і тривалість життя. Загибель організмів при високих дозах опромінення. «Загибель під променем». Специфіка радіаційної загибелі рослин. «Гамма-проростки». Особливості дії іонізуючого випромінювання на лісові насадження. Реакції дерев на опромінення.

Неспецифічність типів мутацій, що виникають при дії іонізуючих випромінювань. Безпорогова і порогова концепції дії іонізуючої радіації. Безпороговий характер канцерогенної і генетичної дії іонізуючих випромінювань.

Близькі та віддалені ефекти іонізуючих випромінювань. Стохастичний характер віддалених наслідків радіаційного ураження.

Особливості дії малих доз іонізуючої радіації на живі організми: стимуляційні, антиімунні, канцерогенні, генетичні ефекти.

Біологічні ефекти радіоміметиків.

Тема 6. Радіочутливість рослин, тварин та інших організмів

Поняття радіочутливості та радіостійкості організмів. Ефективні дози: летальні, півлетальні і критичні. Принципи і методологія побудови кривих доза-ефект. Аналіз кривих доза-ефект та визначення на них ефективних доз іонізуючих випромінювань.

Порівняльна радіочутливість видів різного таксономічного походження. Радіочутливість рослин. Радіочутливість сільськогосподарських рослин. Порівняльна радіочутливість вегетуючих рослин і насіння. Радіочутливість рослин

на окремих етапах онтогенезу. Радіочутливість тварин. Радіочутливість сільськогосподарських тварин. Радіочутливість інших організмів: птахів, риб, амфібій, плазунів, безхребетних тварин, найпростіших, бактерій, вірусів, грибів. Радіочутливість тварин на окремих етапах онтогенезу. Радіочутливість біоценозів, фітоценозів, агроценозів.

Причини широкої варіабельності радіочутливості організмів: структурні і функціональні фактори.

Порівняльна радіочутливість клітин на різних фазах розвитку. Закон (правило) Бергон'є і Трібондо. Репродуктивна та інтерфазна загибель клітин. Критичні тканини і органи рослин і тварин.

Тема 7. Протирадіаційний біологічний захист і радіосенсибілізація

Явища антагонізму і синергізму при спільній дії на живі організми іонізуючих випромінювань та інших факторів. Поняття модифікації радіаційного ураження організму. Протирадіаційний біологічний захист і сенсибілізація радіаційного ураження.

Фізичні радіозахисні і радіосенсибілізуючі фактори: склад атмосфери, температура, вологість, світло та інші. Кисневий ефект. Кількісна характеристика кисневого ефекту - коефіцієнт кисневого посилення ($K_{кл}$).

Хімічні радіозахисні речовини і радіосенсибілізатори. Визначення понять радіопротекторів, радіоблокаторів і радіодекорпорантів. Основні вимоги до характеристики радіозахисних речовин. Фактор зміни дози (ФЗД) і його визначення. Кількісні характеристики протирадіаційної дії. Основні класи радіопротекторів. Природні і штучні радіопротектори. Нативні радіопротектори клітин. Антиоксиданти як радіопротектори. Радіопротектори пролонгованої дії. Механізми дії радіопротекторів: індукція гіпоксивного стану, «перехоплювання» вільно радикальних станів, утворення змішаних дисульфідів, гіпотеза «біохімічного шоку».

Хімічні радіосенсибілізуючі речовини. Механізми дії радіосенсибілізаторів.

Тема 8. Післярадіаційне відновлення рослин і тварин .

Поняття післярадіаційного відновлення. Основні шляхи післярадіаційного відновлення: репарація, репопуляція, регенерація та компенсаторне відновлення.

Репарація ДНК та інших молекул і структур клітини. Сублетальні та потенційно летальні пошкодження ДНК та їх репарація. Фотореактивація. Темнова репарація. Постреплікативна репарація. SOS-репарація. Самозбирання надмолекулярних асоціатів. Репарація мембранної системи клітини. Відновлення хромосом.

Гетерогенність клітин критичних тканин та органів рослин і тварин. Радіочутливість клітин у різні фази клітинного циклу. Стан клітинного спокою. Роль

радіостійких клітин та клітин поза циклом у формування резервів репопуляційного відновлення.

Тканини і органи у стані спокою. Центри регенерації. Роль апікального домінування рослин у їх регенераційному відновленні. Післярадіаційне відновлення лісів.

Тимчасове прискорення поділу клітин критичних тканин та органів як первинна реакція на радіаційне ушкодження. Дедиференціація клітин як окремий шлях їх післярадіаційного відновлення.

Можливості управління процесами післярадіаційного відновлення.

Модуль 3. Ведення виробництва на забруднених радіонуклідами територіях та застосування іонізуючих випромінювань

Тема 9. Атмосфера і ґрунт як вихідні ланки міграції радіонуклідів у природному середовищі

Загальні шляхи міграції радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища і сільського господарства. Трофічний, або харчовий, ланцюжок. Джерела надходження радіоактивних речовин в атмосферу. Фактори міграції радіоактивних речовин в атмосфері: висота викиду, рух повітря, гравітація і атмосферні опади. Шляхи надходження радіонуклідів в ґрунт. Типи випадання радіонуклідів: локальні, тропосферні і стратосферні; сухі і мокрі. Сорбція радіонуклідів різними типами ґрунтів. Особливості ґрунтової хімії радіобіологічно значимих радіонуклідів. Роль фізико-хімічних властивостей радіонуклідів у їх міграції в ґрунті. Вплив агрохімічних властивостей ґрунту на процеси міграції. Вертикальна і горизонтальна міграція. Конвективний перенос, дифузія, перенос по кореневим системам рослин. Вплив погодно-кліматичних умов на міграцію радіонуклідів в ґрунті. Вітровий підйом ґрунту, його види.

Тема 10. Надходження радіонуклідів з ґрунту в рослини та організм тварин, біологічна дія інкорпорованих радіонуклідів

Шляхи надходження радіонуклідів в рослини: позакореневе (аеральне) і кореневе. Кількісні показники нагромадження радіонуклідів рослинами: коефіцієнт накопичення (K_H), коефіцієнт переходу ($K_{П}$), коефіцієнт біологічного поглинання ($K_{БП}$).

Радіоактивні викиди в атмосферу як головне джерело позакореневого надходження радіонуклідів в рослини. Специфіка позакореневого надходження радіонуклідів з твердих аерозолей. Надходження розчинних радіонуклідів в рослини з повітря. Вітровий і дощовий підйом радіонуклідів з поверхні ґрунту як джерело вторинного забруднення рослин. Вплив біологічних особливостей рослин і погодних умов на позакореневе надходження радіонуклідів в рослини.

Вплив фізико-хімічних властивостей радіонуклідів на їх перехід з ґрунту в рослини через корені. Вплив властивостей ґрунту на кореневе надходження радіонуклідів в рослини: механічного складу, мінеральної частки, органічних речовин, кислотності, карбонатності, вологості, розподілу радіонуклідів по профілю ґрунту. Роль біологічних особливостей видів рослин, фази їх розвитку і фізіологічного стану у нагромадженні радіонуклідів. Вплив прийомів агротехніки на надходження радіонуклідів в рослини через корені. Специфіка надходження в рослини окремих радіонуклідів. Особливості міграції радіонуклідів в лісових біогеоценозах.

Шляхи надходження радіонуклідів в організм тварин: пероральний (через шлунково-кишковий тракт), інгаляційний (через органи дихання) і перкутальний (через шкіру і ранову поверхню). Кількісні показники нагромадження радіонуклідів в організмі тварин: коефіцієнт накопичення (K_N), коефіцієнт всмоктування (K_B), період піввиведення радіонуклідів ($T_{1/2}$). Метаболізм радіонуклідів в організмі тварин. Всмоктування радіонуклідів в шлунково-кишковому тракті: швидкість і місце всмоктування, роль фізико-хімічних властивостей радіонуклідів і форм їх сполук, роль виду і віку тварин. Специфіка нагромадження радіонуклідів в організмі тварин при тривалому надходженні. Основні шляхи виведення радіонуклідів з організму тварин.

Визначення поняття інкорпорованих радіонуклідів. Особливості дії інкорпорованих радіонуклідів на організм. Радіобіологічні ефекти при дії інкорпорованих радіонуклідів на рослини і організм тварин. Особливості біологічної дії гарячих частинок.

Дозиметрія інкорпорованих радіонуклідів. Методи прогнозування надходження радіоактивних речовин у сільськогосподарські рослини. Принципи прогнозування надходження радіоактивних речовин в організм сільськогосподарських тварин. Підходи до нормування надходження і нагромадження радіонуклідів в сільськогосподарських рослинах і організмі сільськогосподарських тварин.

Тема 11. Заходи по зменшенню надходження радіонуклідів в продукцію рослинництва і тваринництва

Основні принципи застосування прийомів по зменшенню переходу радіонуклідів з ґрунту в сільськогосподарські рослини. Загальноприйняті і спеціальні прийоми обробітку ґрунту, які зменшують надходження радіонуклідів в рослини: звичайні культивування і оранка, глибока оранка плантажним плугом, зняття верхнього шару ґрунту, засипка забрудненого шару чистим ґрунтом. Агрохімічні засоби зменшення надходження радіонуклідів в рослини: вапнування та гіпсування, застосування збільшених норм фосфорних і калійних добрив, використання мікроелементів, органічних добрив. Підбір сільськогосподарських культур, як захід щодо зменшення вмісту радіонуклідів в рослинах. Управління режимом зрошення -

ефективна міра зниження надходження радіонуклідів в сільськогосподарські культури. Застосування спеціальних хімічних речовин та сполук для зменшення нагромадження радіонуклідів в рослинах. Фітодезактивація ґрунтів.

Меліорація забруднених радіонуклідами луків і пасовиськ як засіб зменшення вмісту радіонуклідів в кормах. Радіометричний контроль кормів і продукції тваринництва. Вплив зміни режиму годівлі і складу раціонів, вмісту в раціоні лужноземельних елементів та інших факторів на перехід радіонуклідів з кормів в молоко, м'ясо, яйця та іншу продукцію тваринництва. Включення до раціонів мінеральних добавок і препаратів, що перешкоджають переходу радіонуклідів з кормів до організму тварин та прискорюють їх виведення. Організаційні заходи.

Тема 12. Очищення продукції рослинництва і тваринництва від радіонуклідів шляхом первинних технологічних переробок

Промивка і зневоднення продукції рослинництва і тваринництва як основа її очищення від радіонуклідів. Очищення продукції рослинництва від радіонуклідів: промивка при зовнішньому забрудненні, одержання олій, вилучення вуглеводів, одержання спирту, одержання кормового і харчового білка, очищення зерна, вилучення фармакологічних, біологічно активних та інших сполук, кулінарна обробка.

Очищення продукції тваринництва від радіонуклідів: переробка молока, промивка молочних продуктів, очищення молока за допомогою іонообмінних сполук та електродіалізу, кулінарна обробка м'яса, сала та інших продуктів.

Коефіцієнт очищення продукції.

Тема 13. Використання іонізуючих випромінювань у біолого-природничих сферах діяльності людини та метод ізотопних індикаторів в біології та екології.

Визначення поняття радіаційно-біологічної технології (РБТ). Радіаційна техніка, яка використовується для РБТ.

Шляхи використання іонізуючих випромінювань в сільському господарстві. Використання у рослинництві: передпосівне опромінення насіння та передсадивне опромінення органів вегетативного розмноження і розсади у стимулюючих дозах для прискорення росту, розвитку і збільшення продуктивності рослин; опромінення насіння і рослин для одержання нових сортів; радіаційна біотехнологія подолання несумісності тканин і стимуляції зростання при вегетативних щепленнях рослин; радіаційні біотехнології боротьби з комахами-шкідниками сільськогосподарських рослин; радіаційна технологія поліпшення якості лікарських рослин; радіаційні технології подовження строків зберігання продукції рослинництва і плодівництва, запобігання проростання бульб, коренеплодів і цибулин; радіаційна пастеризація і консервація. Використання у тваринництві: опромінення курячих яєць і молоді

тварин в стимулюючих дозах з метою прискорення росту і розвитку тварин; радіаційна дезинсекція продукції тваринництва і стерилізація комах-рознощиків хвороб тварин і людини; радіаційне знезараження продукції тваринництва; радіаційне знезараження стічних вод тваринницьких комплексів; радіаційне консервування кормів і поліпшення їх якості; радіаційна стерилізація інструментарію і матеріалів у ветеринарній медицині; радіаційна пастеризація і консервація продукції тваринництва.

Використання іонізуючих випромінювань у медицині, харчовій та фармакологічній промисловості.

Визначення поняття ізотопних індикаторів, або мічених атомів. Суть методу ізотопних індикаторів. Радіоактивні і стабільні ізотопи. Ізотопи, що застосовуються в біологічних дослідженнях.

Основні шляхи застосування методу ізотопних індикаторів: дослідження транспорту, розподілу та перетворень окремих сполук в організмі; вивчення ролі окремих речовин у метаболізмі; міграція речовин в екосистемі чи окремих її ланках; міграція окремих видів тварин у різних середовищах існування; визначення чисельності окремих видів мігруючих тварин у певних ареалах.

Суть методу радіоавтографії. Переваги методу радіоавтографії порівняно з іншими способами радіоізотопного аналізу. Етапи радіоавтографічного аналізу. Особливості макрорадіоавтографії і мікрорадіоавтографії.

Особливості застосування стабільних ізотопів. Мас-спектрометрія. Застосування стабільного ізотопу ^{15}N для вивчення метаболізму азотних сполук в організмі та кругообігу азоту в біосфері.

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин													
	денна форма							Заочна форма						
	тижні	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
			л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Змістовий модуль 1. Вступ. Фізичні основи радіобіології та радіоекології														
Тема 1. Вступ Радіобіологія та радіоекологія як суцільна наука	I	16	2	-	4	-	10	12	1		1			10
Тема 2. Радіоактивність, типи іонізуючих випромінювань	II	16	2	-	4	-	10	12						12
Тема 3. Природні та штучні радіоактивні хімічні елементи та ізотопи.	III	2	2	-	-	-	-	2	1		1			-

Радіонукліди. Радіоактивні сполуки.													
Тема 4. Фізико-хімічні основи радіобіології та радіоекології.	IV	4	2	-	2	-	-	12					12
Разом за змістовим модулем 1		38	8	-	10	-	20	38	2		2		34
Змістовий модуль 2. Дія іонізуючих випромінювань на живі організми													
Тема 5 Біологічні ефекти іонізуючих випромінювань у рослин і тварин	V- VI	16	4	-	2	-	10	11			1		10
Тема 6 Радіочутливість рослин, тварин та інших організмів	VII	14	2	-	2	-	10	13			1		12
Тема 7 Протирадіаційний біологічний захист і радіосенсибілізація	VIII	6	2	-	4	-	-	12					12
Тема 8. Післярадіаційне відновлення рослин і тварин	IX	4	2	-	2	-	-	-					-
Разом за змістовим модулем 2		40	10	-	10	-	20	36			2		34
Змістовний модуль 3. Міграція радіонуклідів у навколишньому середовищі. Ведення виробництва на забруднених радіонуклідами територіях													
Тема 9 Атмосфера і ґрунт як вихідні ланки міграції радіонуклідів у природному середовищі	X	2	2	-	-	-	-	1			1		-
Тема 10. Надходження радіонуклідів з ґрунту в рослини та організм тварин, біологічна дія інкорпорованих радіонуклідів	XI	14	2	-	2	-	10	13			1		12
Тема 11. Заходи по зменшенню надходження радіонуклідів в продукцію рослинництва і тваринництва	XII	16	2	-	4	-	10	12					12

Тема 12. Очищення продукції рослинництва і тваринництва від радіонуклідів шляхом первинних технологічних переробок	XIII	6	2	-	4	-	-	10					10
Тема 13. Використання іонізуючих випромінювань у біолого-природничих сферах діяльності людини та метод ізотопних індикаторів в біології та екології.	XIV- XV	4	4	-	-	-	-	10					10
Разом за змістовим модулем 3		42	12	-	10	-	20	46			2		56
Усього годин		120	30	-	30	-	60	120	2		6		112

4. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	не передбачені	-

5. Теми практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	не передбачені	-

6. Теми лабораторних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Норми радіаційної безпеки України	4
2	Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України	4
3	Визначення потоку β -частинок від джерела випромінювання	2
4	Визначення шару половинного послаблення β -випромінювання	2
5	Визначення потужності дози γ -випромінювання, створеного еталонним джерелом ^{137}Cs через захисні матеріали	2
6	Вимірювання γ -фону в приміщеннях та на території за допомогою радіометра СРП-68-01	2

7	Вимірювання питомої та об'ємної активності β -випромінюючих радіонуклідів за допомогою радіометра "Бета"	4
8	Експресне визначення за γ -випромінюванням радіонуклідів цезію у воді, ґрунті, продуктах харчування та сільськогосподарській продукції за допомогою радіометра РУБ-01-П6	2
9	Визначення забруднення території ^{137}Cs за допомогою радіометра РУБ-01-П6	4
10	Визначення вмісту ^{137}Cs в організмі людини за допомогою радіометра РУБ-01-П6	4
	Усього годин	30

7. Теми самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Класифікація і призначення приладів дозиметричного контролю, їх складові частини. Прилади індивідуального дозиметричного контролю.	10
2	Підготовка до роботи приладів загального дозиметричного контролю - рентгенометрів і радіометрів	10
3	Одиниці вимірювання доз та радіоактивності, їх взаємозв'язок та перетворення	10
4	Відбір проб об'єктів навколишнього середовища та їх підготовка для радіометрії	10
5	Розрахунок рівня забруднення ^{137}Cs продукції рослинництва	10
6	Розрахунок рівня забруднення ^{137}Cs продукції тваринництва	10
	Усього годин	60

8. Зразки контрольних питань, тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами.

1. Фактори, що впливають на міграцію радіонуклідів в атмосфері.
2. Визначення поняття кисневого ефекту.
3. Основні шляхи міграції радіонуклідів у ґрунті. Фактори, що впливають на міграцію..
4. Сформулюйте поняття радіопротекторів. Приклади радіопротекторів.
5. Шляхи надходження радіонуклідів у водойми. Розподіл радіонуклідів у компонентах водойм.
6. Визначення радіоблокаторів. Приклади блокування надходження радіонуклідів в організм.
7. Шляхи надходження радіонуклідів в рослини та їх характеристика. Флоральний захват.
8. Визначення радіосенсибілізаторів. Приклади.
9. Шляхи надходження радіонуклідів до організму тварин і людини.
10. Порівняльна радіочутливість родин і родів рослин.
11. Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань на живі організми.
12. Порівняльна радіочутливість ссавців.
13. Етапи розвитку радіобіології – роки, основні відкриття.

14. Порівняльна радіочутливість тварин.
15. Порівняльна проникна здатність різних видів іонізуючих випромінювань.
16. Соматичні радіобіологічні ефекти.
17. Радіобіологічний ефект радіаційної стимуляції та його застосування на практиці.
18. Причини різної радіочутливості живих організмів.
19. Механізми взаємодії електромагнітних іонізуючих випромінювань з речовиною.
20. Соматичні радіобіологічні ефекти.
21. Визначити і перерахувати основні детерміновані та стохастичні радіобіологічні ефекти.
22. Характеристики ^{90}Sr ($T_{0,5}$, T_{biol} , депонування в організмі, група токсичності, тип випромінювання).
23. Основні близькі та віддалені радіобіологічні ефекти.
24. Характеристики ^{137}Cs ($T_{0,5}$, T_{biol} , депонування в організмі, група токсичності, тип випромінювання).
25. Фактор зміни дози та його визначення.
26. Характеристики ^{239}Pu ($T_{0,5}$, T_{biol} , депонування в організмі, група токсичності, тип випромінювання).
27. Визначення K_{H} і $K_{\text{П}}$.
28. Характеристики ^{131}I ($T_{0,5}$, T_{biol} , депонування в організмі, група токсичності, тип випромінювання).
29. Визначення інкорпорованих радіонуклідів. Особливості їх дії на організм.
30. Характеристики ^{141}Am ($T_{0,5}$, T_{biol} , депонування в організмі, група токсичності, тип випромінювання).
31. Причини різної здатності рослин до накопичення радіонуклідів. Приклади.
32. Прийоми очищення від радіонуклідів продукції рослинництва.
33. Визначення експозиційної та поглинутої доз іонізуючих випромінювань. Одиниці їх вимірювань.
34. Прийоми очищення від радіонуклідів продукції тваринництва.
35. Визначення еквівалентної дози іонізуючих випромінювань. Одиниці її вимірювання.
36. Прийом фітодезактивації ґрунту. Види рослин, що застосовуються для цього.
37. Види і ступені променевої хвороби у ссавців. Рівні доз, що викликають різні ступені хвороби.
38. Агрохімічні заходи захисту рослин від надходження радіонуклідів.
39. Три відкриття наприкінці 19-го століття, що дали початок розвитку радіобіології (роки, прізвища).
40. Застосування радіаційного мутагенезу у рослинництві і тваринництві. Приклади.
41. Ураження молекули ДНК іонізуючою радіацією і її репарація.
42. Наукові відкриття в радіобіології на другому етапі її розвитку.
43. Наукові відкриття в радіобіології на першому етапі її розвитку.
44. Прийоми захисту сільськогосподарських тварин від надходження радіонуклідів в їх організм.
45. Види опромінення залежно від потужності дози, фактору часу і кратності опромінення.
46. Статева стерилізація комах шкідників рослин і переносників хвороб тварин і людини.
47. Складові природного радіаційного фону. Радіаційний фон у Києві натеper і до аварії на ЧАЕС.
48. Приклади використання іонізуючих випромінювань в медицині.
49. Походження космогенних радіонуклідів.
50. Приклади використання іонізуючих випромінювань у тваринництві.

51. Причини нагромадження окремих радіонуклідів у певних частинах чи органах організму.
52. Чому внесення калійних добрив в ґрунт зменшує перехід ^{137}Cs в рослини?.
53. Походження космогенних радіонуклідів.
54. Приклади використання іонізуючих випромінювань у медицині.
55. Коефіцієнти, що характеризують ступінь переходу радіонуклідів з ґрунту у рослини.
56. Особливості застосування органічних добрив на забруднених радіонуклідами угіддях.
57. Залежність вертикальної міграції радіонуклідів в ґрунті від типу ґрунту.
58. Суть радіаційно-біологічної технології консервації продукції рослинництва.
59. Фактори, що впливають на горизонтальну міграцію радіонуклідів по поверхню ґрунту.
60. Вимоги до опромінювальних установок, що застосовуються у радіаційно-біологічних технологіях.

9. Методи навчання.

При вивченні дисципліни використовуються такі методи навчання:

Залежно від джерела знань: словесні (пояснення, бесіда, дискусія, діалог); наочні (демонстрація, ілюстрація); практичні (рішення задач, ділові ігри).

За характером пізнавальної діяльності: пояснювально-наочний проблемний виклад; частково-пошуковий та дослідницький методи.

За місцем в навчальній діяльності:

- методи організації й здійснення навчальної діяльності, що поєднують словесні, наочні і практичні методи; репродуктивні й проблемно-пошукові; методи навчальної роботи під керівництвом викладача й методи самостійної роботи здобувачів вищої освіти;

- методи контролю й самоконтролю за навчальною діяльністю: методи усного, письмового контролю; індивідуального й фронтального, тематичного і систематичного контролю.

У процесі викладання навчальної дисципліни для активізації навчально-пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти передбачено застосування таких навчальних технологій:

- *робота в малих групах* дає змогу структурувати практично-семінарські заняття за формою і змістом, створює можливості для участі кожного здобувача вищої освіти в роботі за темою заняття, забезпечує формування особистісних якостей та досвіду соціального спілкування;

- *семінари-дискусії* передбачають обмін думками і поглядами учасників з приводу даної теми, а також розвивають мислення, допомагають формувати погляди і переконання, вміння формулювати думки й висловлювати їх, вчать оцінювати пропозиції інших людей, критично підходити до власних поглядів;

- *мозкові атаки* – метод розв'язання невідкладних завдань, сутність якого полягає в тому, щоб висловити як найбільшу кількість ідей за обмежений проміжок часу, обговорити і здійснити їх селекцію;

- *кейс-метод* – метод аналізу конкретних ситуацій, який дає змогу наблизити процес навчання до реальної практичної діяльності фахівців і передбачає розгляд

виробничих, управлінських та інших ситуацій, складних конфліктних випадків, проблемних ситуацій, інцидентів у процесі вивчення навчального матеріалу;

- *презентації* – виступи перед аудиторією, що використовуються для подання певних досягнень, результатів роботи групи, звіту про виконання індивідуальних завдань, інструктажу, демонстрації.

10. Форми контролю

Відповідно до «Положення про екзамени та заліки у Національному університеті біоресурсів і природокористування України», затвердженого вченою радою НУБіП України 26 квітня 2023 року, протокол № 10, видами контролю знань здобувачів вищої освіти є поточний контроль, проміжна та підсумкова атестації.

Поточний контроль з дисципліни здійснюється під час проведення практичних, і має на меті перевірку рівня підготовленості здобувачів вищої освіти до виконання конкретної роботи.

Проміжна атестація проводиться після вивчення програмного матеріалу і має визначити рівень знань здобувачів вищої освіти з програмного матеріалу, отриманих під час усіх видів занять і самостійної роботи.

Форма проведення проміжної атестації - тестування,

Засвоєння здобувачем вищої освіти програмного матеріалу вважається успішним, якщо рейтингова оцінка його становить не менше, ніж 60 балів за 100-бальною шкалою.

Семестрова атестація проводиться у формі семестрового екзамену.

Здобувачі вищої освіти зобов'язані складати екзамени і заліки відповідно до вимог робочого навчального плану у терміни, передбачені графіком освітнього процесу. Зміст екзамену визначається робочою навчальною програмою дисципліни.

Розподіл балів, які отримують студенти. Оцінювання студента відбувається згідно положенням «Про екзамени та заліки у НУБіП України» від 26.04.2023 р. з табл. 1.

Оцінка національна	Рейтинг студента, бали
Відмінно	90-100
Добре	74-89
Задовільно	60-73
Незадовільно	0-59

Для визначення рейтингу студента (слухача) із засвоєння дисципліни $R_{\text{дис}}$ (до 100 балів) одержаний рейтинг з атестації (до 30 балів) додається до рейтингу студента (слухача) з навчальної роботи $R_{\text{нр}}$ (до 70 балів): $R_{\text{дис}} = R_{\text{нр}} + R_{\text{ат}}$.

11. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Електронний навчальний курс: Радіобіологія та радіоекологія. URL: <https://elearn.nubip.edu.ua/course/view.php?id=511>
2. Радіобіологія: підручник / І.М. Гудков. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 504 с.
3. Бондар Ю. О., Кашпаров В. О., Грисюк С. М., Лазарев М. М., Гудков І. М. Норми радіаційної безпеки і санітарні правила роботи з джерелами іонізуючих випромінювань. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з радіобіології та радіоекології студентами біолого-природничих спеціальностей вищих закладів освіти. К. : НУБіП України, 2019. 36 с.
4. Допустимі рівні забруднення продуктів (ДР-2006). Наказ МОЗ України 03.05.2006. № 256.
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). К. : МОЗ, 1997. 121 с.
6. Gudkov I. M. Radiobiology and Radioecology (in English): Textbook for students of higher educational institutions. Вид. 2-е, переробл. та допов. К.: НУБіП України, Житомирська політехніка, 2019. 384 с.
7. Клименко М.О., Клименко О.М., Клименко Л.В. Радіоекологія : підручник. Рівне : НУВГП, 2020. 304 с.
8. Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю. Радіоекологічний моніторинг: навчальний посібник. Київ, 2019. 188 с.

Додаткова література

1. Gudkov I. M. Radiobiology and Radioecology. К. : NAUU, 2006. 295 р.
2. Гудков І.М., Гайченко В.А., Кашпаров В.О. та інші. Радіоекологія: Навчальний посібник / За редакцією академіка НААН України І.М. Гудкова. Вид. 2-ге доповнене. стереотипне. – Херсон.: ОЛДІ ПЛЮС, 2017. – 468 с.
3. Радіоекологія / [І. М. Гудков, В. А. Гайченко, В. О. Кашпаров та ін.]. – К. : НУБіП України, 2011. – 368 с.; Херсон : Олді-Плюс, 2013. – 467 с.
4. Кічно В. О., Поліщук С. В., Гудков І. М. Основи радіобіології та радіоекології. К. : Хай-Тек Прес, 2008; 2009; 2010. 320 с.
5. Гайченко В. А., Гудков І. М., Кашпаров В. О. та ін. Практикум з радіобіології та радіоекології. К. : Кондор, 2010. 286 с.; Херсон : Олді-Плюс, 2014. 278 с.
6. Гродзинський Д. М. Радіобіологія. К. : Либідь, 2001. 448 с.

7. Гудков І. М., Віннічук М. М. Сільськогосподарська радіобіологія. Житомир : ДАУ, 2003. 470 с.

8. Гайченко В. А., Бондар Ю. О., Кашпаров В. О., Грисюк С. М., Лазарєв М. М., Гудков І. М. Радіаційна безпека і правила роботи з джерелами іонізуючих випромінювань. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з радіобіології та радіоекології студентами біолого-природничих спеціальностей вищих закладів освіти. К. : НУБіП України, 2011. 32 с.

9. Лазарєв М. М., Кічно В. О., Майдебуря О. П., Бондар Ю. О., Петілова О. Д., Гудков І. М. Лабораторні роботи з радіобіології та радіоекології (методичні рекомендації студентам біолого-природних напрямів підготовки вищих закладів освіти). К. : НУБіП України, 2009. 34 с.

12. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Електронний навчальний курс: Сільськогосподарське виробництво в умовах радіоактивного забруднення. URL: <https://elearn.nubip.edu.ua/enrol/index.php?id=4449>
2. Електронний курс з дисципліни : «Радіобіологія та радіоекологія». URL: <https://elearn.nubip.edu.ua/enrol/index.php?id=511>
3. Офіційний веб-сайт Міжнародного агентства з атомної енергії. URL: <https://www.iaea.org/> (дата звернення: 14.06.2023).
4. Офіційний веб-сайт Інституту сільськогосподарської радіології. URL: <http://www.uia.org.ua/Ukr/index.htm> (дата звернення: 20.03.2023).
5. Офіційний сайт Національної комісії з радіаційного захисту населення України. URL: <http://nkrzu.gov.ua/> (дата звернення: 15.05.2023).
6. Офіційний сайт ДП «НАЕК «Енергоатом». URL: <https://www.energoatom.com.ua/index.html> (дата звернення: 11.02.2023).
7. Офіційний сайт Міністерства надзвичайних ситуацій України. URL: <http://www.mns.gov.ua> (дата звернення: 18.05.2023).