

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ІКБГІ НАН України,
академік НАН України



Микола КУЧУК

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Основи радіаційної біофізики

для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії

галузь знань Е «Природничі науки, математика та статистика»

спеціальність Е1 «Біологія та біохімія»

профіль підготовки «Радіобіологія»

Шифр за освітньо-науковою програмою – ОК 1.07

Робоча програма навчальної дисципліни «Основи радіаційної біофізики» для здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань Е «Природничі науки, математика та статистика», спеціальність Е1 «Біологія та біохімія» за профілем підготовки «Радіобіологія».

17 липня 2025 року – 16 с.

Укладач програми:
Світлана ПЧЕЛОВСЬКА,
с.н.с. відділу біофізики і радіобіології
ІКБГІ НАН України, к.б.н.



(підпис)

Робоча програма дисципліни «Основи радіаційної біофізики» схвалена на засіданні вченої ради ІКБГІ НАН України (протокол № 6 від 17 липня 2025 року).

Робоча програма дисципліни «Основи радіаційної біофізики» розглянута та схвалена на засіданні відділу біофізики і радіобіології ІКБГІ НАН України.

Завідувач відділу д.б.н., с.н.с.  Олександра КРАВЕЦЬ
(підпис)

15 липня 2025 р.

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Основи радіаційної біофізики» є складовою освітньо-наукової програми підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань Е «Природничі науки, математика та статистика», спеціальність Е1 «Біологія та біохімія» за профілем підготовки «Радіобіологія» і є обов'язковою навчальною дисципліною.

Викладається на I курсі аспірантури **в обсязі – 60 годин (2 кредити ECTS)**, зокрема: лекції – 30 годин, семінари – 6 годин, самостійна робота – 24 години. У курсі передбачено 2 змістових модулі. Дисципліна завершується диференційованим заліком.

Мета дисципліни – Ознайомити аспірантів з природою біофізичних ефектів іонізуючого випромінювання:

1. З природними джерелами радіоактивного випромінювання;
2. діапазонами енергії різних форм випромінювання;
3. біофізичною основою різноманітних радіобіологічних ефектів.

В результаті вивчення навчальної дисципліни у здобувачів мають бути сформовані:

Інтегральна компетентність (ІК)

Здатність розв'язувати комплексні завдання в галузі біології у процесі проведення дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає переосмислення наявних та створення нових цілісних знань, оволодіння методологією наукової та науково-педагогічної діяльності, проведення самостійного наукового дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення і інтегруються у світовий науковий простір через публікації.

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК01. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК05. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК06. Здатність працювати автономно.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК)

СК01. Здатність планувати і здійснювати комплексні оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у біології та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у наукових виданнях з біології та суміжних галузей.

СК05. Здатність виявляти, формулювати та вирішувати проблеми дослідницького характеру в галузі радіобіології, оцінювати та забезпечувати якість досліджень, які проводять.

СК08. Здатність сформулювати системний науковий світогляд та загальнокультурний кругозір.

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

РН01. Мати концептуальні та методологічні знання з біології і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН02. Вільно презентувати та обговорювати результати досліджень, наукові та прикладні проблеми радіобіології державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у наукових виданнях.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати аналізу джерел літератури, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень, експерименту) і математичного та/або комп'ютерного моделювання.

РН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з радіобіології та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасного інструментарію, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті всього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН08. Глибоко розуміти загальні принципи та методи біологічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері радіобіології та у викладацькій практиці.

Місце дисципліни (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку підготовки).

Навчальна дисципліна «Основи радіаційної біофізики» є обов'язковою навчальною дисципліною програми підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії Е «Природничі науки, математика та статистика», спеціальність Е1 «Біологія та біохімія» за профілем підготовки «Радіобіологія». Дисципліна є базовою; висвітлює біофізичні закономірності радіобіологічних ефектів.

Зв'язок з іншими дисциплінами.

Навчальна дисципліна «Основи радіаційної біофізики» є базовою для засвоєння знань та вмінь у системі професійної підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю Е1 «Біологія та біохімія» за профілем підготовки «Радіобіологія».

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

ДЖЕРЕЛА ТА ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ

Тема 1. Предмет, завдання та історія радіаційної біофізики як науки. Типи іонізуючих випромінювань, їх характеристика, дозиметрія. Основні

поняття та величини. Енергетичні спектри різних типів випромінювання (2 години).

Виникнення радіаційної біофізики як науки. Предмет, завдання та перспективи радіаційної біофізики. Види іонізуючого опромінення: електромагнітне і корпускулярне іонізуюче випромінювання. Енергетичні спектри різних типів іонізуючого випромінювання та іонізуючих частинок. Діапазон частот електромагнітного випромінювання. Діапазони енергії альфа- та бета-частинок. Методи дозиметрії. Еквідозиметрія.

Тема 2. Джерела іонізуючих випромінювань. Штучна радіоактивність. Радіаційні аварії. (4 години).

Джерела природної радіоактивності. Космічне випромінювання та радіоактивні елементи Землі. Антропогенна модифікація радіаційного фону Землі. Відомості про джерела та фізичну природу космічного випромінювання. Природні радіонукліди. Радіоактивні родини. Випромінювання штучних радіонуклідів. Основні дозоутворюючі радіонукліди. Генератори іонізуючих випромінювань. Ядерна енергетика. Радіаційні аварії. Класифікація аварій. Найнебезпечніші аварії в ядерній енергетиці.

Тема 3. Передача енергії іонізуючого випромінювання атомам і молекулам. Іонізація та збудження молекул та атомів (2 години).

Іонізація. Крива Брегга. Динаміка структури треку при різних типах іонізуючого випромінювання. Взаємодія електромагнітних випромінювань із речовиною. Взаємодія корпускулярних випромінювань з речовиною. Механізми взаємодії з речовиною гамма-квантів. Взаємодія з речовиною бета-частинок, альфа-частинок. Взаємодія нейтронів з речовиною. Класифікація нейтронів за енергією та їх джерела. Лінійна передача енергії іонізуючих випромінювань атомам і молекулам речовини та їх відносна біологічна ефективність. Лінійна щільність іонізації. Відносна біологічна ефективність різних видів ІВ. Мікроструктура дозового поля в опромінюваній речовині для різних типів випромінювань.

Тема 4. Радіоактивність. Доза опромінення. Експозиційна доза. Поглинута доза. Еквівалентна доза. Ефективна доза (2 години).

Фізичні основи радіоактивності. Радіоактивні розпади. Закон радіоактивного розпаду. Одиниці вимірювання радіоактивності. Розвиток уявлень про дозове навантаження організму. Фізичні та аналітичні методи розрахунку доз від поглинутих радіонуклідів. Коефіцієнти якості опромінення. Вагові коефіцієнти тканин.

Тема 5. Радіоізотопи. Радіаційні технології. Практичне використання іонізуючих випромінювань (2 години).

Класифікація та характеристики радіоактивних елементів. Мічені атоми. Ізотопні індикатори. Використання методів мічених сполук в біології та екології. Радіоізотопна діагностика в медицині.

Радіаційні технології. Використання ІВ в наукових дослідженнях, сільському господарстві, харчовій промисловості та медицині. Характеристики рентгенівського випромінювання. Застосування рентгенівського випромінювання в медицині.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

БІОЛОГІЧНА ДІЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Тема 6. Залежність біологічного ефекту від поглинутої дози випромінювання. Математичне моделювання радіобіологічних ефектів (2 години).

Класифікація радіобіологічних ефектів. Залежність «доза-ефект». Гіпотеза «точкового нагріву». Принцип попадання і концепція мішеней. Одно- та багаторазові попадання в мішень. Попадання в мішені та загибель опромінених клітин. Типи математичних моделей та їх застосування в біології. Специфіка моделювання в радіаційних дослідженнях. Приклади побудови радіобіологічних математичних моделей.

Тема 7. Пряма дія іонізуючого випромінювання на молекули. (2 години).

Пряма і непряма дія ІВ. Структурні пошкодження та радіаційна інактивація макромолекул. Дія ІВ на ферменти. Пряма дія ІВ на нуклеїнові кислоти. Стадії прямої дії ІВ. Фізична, фізико-хімічна, хімічна стадії прямої дії ІВ. Модифікація променевого пошкодження макромолекул. Модифікуючі ефекти кисню, температури та молекул-домішків.

Тема 8. Непряма дія іонізуючого випромінювання. (2 години)

Непряма дія ІВ на макромолекули в водних розчинах. Радіаційно-хімічні перетворення молекул води. Продукти радіолізу води в інактивації біоорганічних молекул. Кількісні характеристики непрямої дії радіації у водних розчинах. Модифікація радіолізу молекул у водних розчинах. Радіаційно-зумовлені зміни і радіочутливість біоорганічних молекул. Непряма дія ІВ в ліпідних розчинах. Ланцюгові вільнорадикальні реакції перекисного окиснення в опромінюваних ліпідах.

Тема 9. Реакції клітин на дію іонізуючих випромінювань (4 години).

Стадії біофізичних процесів в опроміненій клітині. Підсилення первинних молекулярних пошкоджень. Пряма і непряма дія радіації в клітинах. Вільні радикали в опроміненій клітині. Система окислювально-відновного гомеостазу клітини та її зміни після опромінення. Активні форми кисню, азоту. Продукти ланцюгових реакцій перекисного окислення ліпідів. Окислювальні процеси в

опроміненій клітині. Радіотоксини. Антиокислювальні механізми захисту опроміненої клітини. Пошкодження і процеси відновлення ДНК в опроміненій клітині. Пошкодження і процеси відновлення ДНК-мембранного комплексу в опроміненій клітині. Механізми загибелі та відновлення клітин від радіаційних пошкоджень. Модифікація радіаційного ураження клітини. Інтерфазна загибель клітин. Некроз, апоптоз клітин. Відновлення опромінених клітин.

Тема 10. Променеві ураження багатоклітинних організмів (2 години)

Променеві реакції багатоклітинних організмів. Променеві ураження ссавців. Критичні органи. Летальні та сублетальні дози опромінення організмів. Променеві ураження рослин. Критичні органи рослин. Радіаційне старіння насіння і рослин, його природа. Радіаційна стимуляція. Морфологічні зміни. Променева хвороба. Скорочення тривалості життя. Загибель.

Тема 11. Радіаційні ураження організму людини. Протирадіаційний захист (2 години).

Променеві ураження органів, тканин та організму людини в цілому. Променева хвороба: стадії, ступені важкості, заходи по лікуванню. Захист від ІВ організму людини. Поняття радіаційного ризику. Нормування біологічного впливу ІВ. Основні принципи радіаційної гігієни та радіаційної безпеки.

Тема 12. Біологічні ефекти малих доз іонізуючого випромінювання. Віддалені наслідки опромінення (2 годин).

Біологічні ефекти опромінення в малих дозах. Поняття малих доз. Надмалі дози. Гіперрадіочутливість. Залежність радіобіологічного ефекту від потужності дози опромінення. Ефект Петко. Загальна неспецифічна реакція організмів на опромінення. Віддалені наслідки опромінення організмів. Кількісна оцінка біологічної дії ІВ. Біологічні показники, що використовуються для оцінки ефектів малих доз. Механізми дії ІВ в малих дозах на клітини. Радіочутливість мембран. Ефект свідка. Неспецифічна реакція біомембран та клітин на дію ІВ.

Тема 13. Радіаційно-індукована нестабільність геному (2 години)

Соматичні клітини та спонтанні мутації. Перманентна нестабільність геному. Мутації при радіаційно-індукованій нестабільності геному. Епігенетичне наслідування при радіаційно-індукованій нестабільності геному. Можлива роль «ефекту свідка». Механізми реалізації нестабільності геному. Біологічне значення радіаційно-індукованої нестабільності геному.

**СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ, СЕМІНАРІВ,
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ, САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

№ з/п	Назва	Кількість годин			
		лекції	семінари	практичні	самостійна робота
	Змістовий модуль 1 Джерела та фізичні характеристики іонізуючого опромінення				
1	Тема 1 Предмет, завдання та історія радіаційної біофізики як науки. Типи іонізуючих випромінювань, їх характеристика, дозиметрія. Основні поняття та величини. Енергетичні спектри різних типів випромінювання.	2	-	-	1
2	Тема 2. Джерела іонізуючих випромінювань. Штучна радіоактивність. Радіаційні аварії.	4	-	-	2
3	Тема 3. Передача енергії іонізуючого випромінювання атомам і молекулам. Іонізація та збудження молекул та атомів речовини.	2	-	-	2
4	Тема 4. Радіоактивність. Доза опромінення. Експозиційна доза. Поглинута доза. Еквівалентна доза. Ефективна доза.	2	2	-	1
5	Тема 5. Практичне використання іонізуючих випромінювань. Радіоізотопи. Радіаційні технології.	2	-	-	2
Разом за змістовим модулем 1		12	2	-	8
	Змістовий модуль 2 Біологічна дія іонізуючих випромінювань				
6	Тема 6. Залежність біологічного ефекту від поглинутої дози випромінювання. Математичне моделювання радіобіологічних ефектів	2	-	-	2
7	Тема 7. Пряма дія іонізуючого випромінювання на молекули	2	-	-	2
8	Тема 8. Непряма дія іонізуючого випромінювання	2	-	-	2
9	Тема 9. Реакції клітин на дію іонізуючих випромінювань	4	2	-	2
10	Тема 10. Променеві ураження багатоклітинних організмів	2	-	-	2
11	Тема 11. Радіаційні ураження організму людини. Протирадіаційний захист	2	-	-	2
12	Тема 12. Біологічні ефекти малих доз іонізуючого випромінювання. Віддалені наслідки опромінення	2	-	-	2
13	Тема 13. Радіаційно-індукована нестабільність геному	2	2	-	2
Разом за змістовим модулем 2		18	4	-	16
ВСЬОГО		30	6	-	24

Загальний обсяг – **60 годин (2 кредити ECTS)**, у тому числі:
лекції – **30 годин**, семінари – **6 годин**, самостійна робота – **24 години**.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.

ДЖЕРЕЛА ТА ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ

ТЕМА 1. Предмет, завдання та історія радіаційної біофізики як науки. Типи іонізуючих випромінювань, дозиметрія. (3 години).

Лекція 1. Історія виникнення радіаційної біофізики як науки. Предмет, завдання та перспективи радіаційної біофізики. Види іонізуючого опромінення: електромагнітне і корпускулярне іонізуюче випромінювання. Енергетичні спектри різних типів іонізуючого випромінювання та іонізуючих частинок. Діапазон частот електромагнітного випромінювання. Діапазони енергії альфа- та бета-частинок. Методи дозиметрії. Еквідозиметрія. **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (1 година)

Відкриття, які стали початком розвитку радіаційної біофізики як науки. Історія розвитку та визначні особистості в радіаційній біофізиці. Яке випромінювання відноситься до корпускулярного, а яке до електромагнітного? Спектри енергії різних типів ІВ.

Рекомендована література: [1-4]

Тема 2. Джерела іонізуючих випромінювань. Штучна радіоактивність. Радіаційні аварії. (6 годин).

Лекція 2. Джерела природної радіоактивності. Космічне випромінювання та радіоактивні елементи Землі. Антропогенна модифікація радіаційного фону Землі. Відомості про джерела та фізичну природу космічного випромінювання. Природні радіонукліди. Радіоактивні родини. **(2 години)**

Лекція 3. Випромінювання штучних радіонуклідів. Основні дозоутворюючі радіонукліди. Генератори іонізуючих випромінювань. Ядерна енергетика. Радіаційні аварії. Класифікація аварій. Найнебезпечніші аварії в ядерній енергетиці. **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Джерела та фізична природа космічного випромінювання. Родини природних радіонуклідів. Штучні радіонукліди. Найбільші радіаційні аварії в світі. Приклади радіаційних аварій та інцидентів.

Рекомендована література: [1-7]

Тема 3. Передача енергії іонізуючого випромінювання атомам і молекулам. Іонізація та збудження молекул та атомів (4 години).

Лекція 4. Іонізація. Крива Брегга. Динаміка структури треку при різних типах іонізуючого випромінювання. Взаємодія електромагнітних випромінювань із речовиною. Взаємодія корпускулярних випромінювань з речовиною. Механізми взаємодії з речовиною гамма-квантів. Взаємодія з речовиною бета-частинок, альфа-частинок. Взаємодія нейтронів з речовиною. Лінійна передача енергії іонізуючих випромінювань атомам і молекулам речовини та їх відносна біологічна ефективність. Лінійна щільність іонізації. Відносна біологічна ефективність різних видів ІВ **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Будова атома. Трек та його структура для різних типів ІВ. Механізми взаємодії з речовиною різних типів ІВ. Класифікація нейтронів за енергією та їх джерела. Щільність іонізації. Мікроструктура дозового поля в опромінюваній речовині для різних типів випромінювань.

Рекомендована література: [1-4]

Тема 4. Радіоактивність. Доза опромінення. Експозиційна доза. Поглинута доза. Еквівалентна доза. Ефективна доза (5 годин).

Лекція 5. Фізичні основи радіоактивності. Радіоактивні розпади. Закон радіоактивного розпаду. Одиниці вимірювання радіоактивності. Фізичні та аналітичні методи розрахунку доз від поглинутих радіонуклідів. Коефіцієнти якості опромінення. Вагові коефіцієнти тканин. **(2 години)**

Семінар 1. (2 години) Основні одиниці вимірювань та поняття в радіаційній біофізиці. Зв'язок між позасистемними одиницями та одиницями системи СІ. Радіоактивні елементи. Основний закон радіоактивності. Одиниці радіоактивності. Розрахунок поглинутої, еквівалентної, ефективної доз та дози від точкового джерела. Радіоактивні ізотопи. Радіаційні біотехнології. Метод мічених атомів в дослідженнях транспорту елементів живлення в рослинних екосистемах.

Завдання для самостійної роботи (1 година)

Ядерні перетворення. Розвиток уявлень про дозове навантаження організму. Зв'язок між експозиційною та поглинутою дозами. Методи оцінок дозового навантаження на організм людини.

Рекомендована література: [1-4]

Тема 5. Практичне використання іонізуючих випромінювань. Радіоізотопи. Радіаційні технології (4 години).

Лекція 6. Класифікація та характеристики радіоактивних елементів. Мічені атоми. Ізотопні індикатори. Використання методів мічених сполук в біології та екології. Радіоізотопна діагностика в медицині. Рентгенівське випромінювання: його характеристики та використання в медицині та наукових дослідженнях. Радіаційні технології. Використання ІВ в наукових дослідженнях, сільському господарстві, харчовій промисловості та медицині **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Методи радіоактивних трасерів в біології та екології. Радіоавтографія. Сучасні наукові дослідження з використанням іонізуючих випромінювань. Застосування радіоізотопів в медицині.

Рекомендована література: [1-3, 9-12]

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

БІОЛОГІЧНА ДІЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Тема 6. Залежність біологічного ефекту від поглинутої дози випромінювання. Математичне моделювання радіобіологічних ефектів (4 години).

Лекція 7. Класифікація радіобіологічних ефектів. Залежність «доза-ефект». Гіпотеза «точкового нагріву». Принцип попадання і концепція мішеней. Одно- та багаторазові попадання в мішень. Попадання в мішені та загибель опромінених клітин. Типи математичних моделей та їх застосування в біології. Специфіка моделювання в радіаційних дослідженнях. Приклади побудови радіобіологічних математичних моделей. **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Теоретичні підходи до оцінки радіобіологічних ефектів. Експериментальні методи оцінки виживаності клітин. Одно- дво- та багато ударні моделі радіаційного ураження.

Рекомендована література: [1-3]

Тема 7. Пряма дія іонізуючого випромінювання на молекули (4 години).

Лекція 8. Пряма і непряма дія ІВ. Структурні пошкодження та радіаційна інактивація макромолекул. Дія ІВ на ферменти. Пряма дія ІВ на нуклеїнові кислоти. Стадії прямої дії ІВ. Фізична, фізико-хімічна, хімічна стадії прямої дії ІВ. Модифікація променевого пошкодження макромолекул. Модифікуючі ефекти кисню, температури та молекул-домішків. **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Пряма дія ІВ на ферменти, нуклеїнові кислоти. Трансформуюча активність ДНК. Здатність транспортних РНК зв'язувати амінокислоти. Функціональна активність рибосом. Первинні продукти радіаційного перетворення молекул.

Рекомендована література: [1-4]

Тема 8. Непряма дія іонізуючого випромінювання (4 години)

Лекція 9. Непряма дія ІВ на макромолекули в водних розчинах. Радіаційно-хімічні перетворення молекул води. Продукти радіолізу води в інактивації біоорганічних молекул. Кількісні характеристики непрямої дії радіації у водних розчинах. Модифікація радіолізу молекул у водних розчинах. Радіаційно-зумовлені зміни і радіочутливість біоорганічних молекул. Непряма дія ІВ в ліпідних розчинах. Ланцюгові вільнорадикальні реакції перекисного окиснення в опромінюваних ліпідах. **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Роль продуктів радіолізу води в інактивації біоорганічних молекул. Ефект захисту. Кисневий ефект. Зміни білкових молекул (ферментів). Радіаційно-хімічні зміни фосфоліпідів. Ланцюгові вільнорадикальні реакції перекисного окиснення в опромінюваних ліпідах.

Рекомендована література: [1-4]

Тема 9. Реакції клітин на дію іонізуючих випромінювань (8 годин).

Лекція 10. Стадії біофізичних процесів в опроміненій клітині. Підсилення первинних молекулярних пошкоджень. Пряма і непряма дія радіації в клітинах. Вільні радикали в опроміненій клітині. Система окислювально-відновного гомеостазу клітини та її зміни після опромінення. Активні форми кисню, азоту. Продукти ланцюгових реакцій перекисного окислення ліпідів. **(2 години)**

Лекція 11. Окислювальні процеси в опроміненій клітині. Радіотоксини. Антиокислювальні механізми захисту опроміненої клітини. Пошкодження і процеси відновлення ДНК в опроміненій клітині. Пошкодження і процеси відновлення ДНК-мембранного комплексу в опроміненій клітині. Механізми загибелі та відновлення клітин від радіаційних пошкоджень. Модифікація радіаційного ураження клітини. Інтерфазна загибель клітин. Некроз, апоптоз клітин. Відновлення опромінених клітин. **(2 години)**

Семінар 2. (2 години) Криві «доза-ефект», їх основні характеристики. Екстраполяційне число. Об'єм мішені. Кисневий ефект. Фактор зменшення ефективної дози.

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Вільні радикали в клітині та їх роль в радіобіологічному ефекті. Активні кисневі сполуки. Зниження рівня та активності радіотоксинів. Репарація ДНК. Кластерні ефекти при ураженні ДНК. Зміни структури хроматину під впливом іонізуючого випромінювання. Участь кисню в радіаційно індукованих реакціях з участю ДНК. Загибель та відновлення клітин від радіаційного ураження.

Рекомендована література: [1-4, 11-12]

Тема 10. Променеві ураження багатоклітинних організмів (4 години)

Лекція 12. Променеві реакції багатоклітинних організмів. Променеві ураження ссавців. Критичні органи. Променеві ураження рослин. Критичні органи рослин. Радіаційне старіння насіння і рослин, його природа. Радіаційна стимуляція. Морфологічні зміни. Променева хвороба. Скорочення тривалості життя. Загибель. **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Летальні та сублетальні дози. Критичні органи у ссавців. Процеси адаптації до дії радіації – у рослин та тварин.

Рекомендована література: [1-12]

Тема 11. Радіаційні ураження організму людини. Протирадіаційний захист (4 години).

Лекція 13. Променеві ураження органів, тканин та організму людини в цілому. Променева хвороба: стадії, ступені важкості, заходи по лікуванню. Захист від ІВ організму людини. Поняття радіаційного ризику. Нормування біологічного впливу ІВ. Основні принципи радіаційної гігієни та радіаційної безпеки. Захист від ІВ організму людини. **(2 години)**

Завдання для самостійної роботи (2 години)

Критичні органи в організмі людини. Принципи мінімізації ризиків впливу ІВ. Нормування біологічного впливу ІВ.

Рекомендована література: [3, 7-12]

Тема 12. Біологічні ефекти малих доз іонізуючого випромінювання. Віддалені наслідки опромінення (4 години).

Лекція 14. Біологічні ефекти опромінення в малих дозах. Поняття малих доз. Надмалі дози. Гіперрадіочутливість. Залежність радіобіологічного ефекту від потужності дози опромінення. Ефект Петко. Загальна неспецифічна реакція організмів на опромінення. Віддалені наслідки опромінення організмів. Біологічні показники, що використовуються для оцінки ефектів малих доз. Механізми дії ІВ в малих дозах на клітини. Радіочутливість мембран. Ефект свідка. (2 години)

Завдання для самостійної роботи (2 години) Концепція безпороговості дози. Особливості прояву радіаційно-індукованої відповіді. Радіаційний гормезис. Поняття стресу як реакції організму. Неспецифічна реакція біомембран та клітин на дію ІВ.

Рекомендована література: [1-4, 12]

Тема 13. Радіаційно-індукована нестабільність геному (6 годин)

Лекція 15. Соматичні клітини та спонтанні мутації. Перманентна нестабільність геному. Мутації при радіаційно-індукованій нестабільності геному. Епігенетичне наслідування при радіаційно-індукованій нестабільності геному. Можлива роль «ефекту свідка». Механізми реалізації нестабільності геному. (2 години)

Семінар 3. (2 години) Модифікація радіаційного ураження клітин та організмів в цілому. Кількісна оцінка біологічної дії ІВ. Генетично наслідувана нестабільність геному.

Завдання для самостійної роботи (2 години) Варіанти проявів нестабільності геному. Система контролю клітинного циклу в точках зв'язки. Механізми репарації ДНК. Система окислювально-відновного гомеостазу.

Рекомендована література: [1-5]

**КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ І РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ
ЗДОБУВАЧІ**

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. У змістовий модуль 1 входять теми 1-5, у змістовий модуль 2 – теми 6-13. Види контролю - поточний і підсумковий. Поточний контроль здійснюється під час проведення навчальних занять і має на меті регулярну перевірку засвоєння слухачами навчального матеріалу. Форми проведення поточного контролю під час навчальних занять: усне опитування, тестовий контроль, самооцінювання,

перевірка практичних навичок.

Оцінювання за формами поточного контролю:

	Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2		Залік	Підсумкова оцінка
Максимальна кількість балів	Поточний контроль	Тест 1	Поточний контроль	Тест 2		
	15	15	15	15	40	100
Сума	30		30		40	100

Для аспірантів, які набрали за результатами поточного контролю у двох змістових модулях сумарно меншу кількість балів, ніж критичний мінімум 20 балів, проходження додаткового тестування є обов'язковим для допуску до заліку. Підсумковий контроль проводиться на останньому практичному занятті і складається із суми балів усіх змістових модулів. Загальна оцінка за вивчення курсу складається із суми оцінок, отриманих при підсумковому контролі, та оцінки, отриманої на заліку.

Шкала оцінювання академічної успішності аспіранта

Рівень досягнень (бали за освітню діяльність)	Оцінка ЄКТС/ ECTS	Оцінка за національною шкалою (National grade)	
		Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	A	відмінно (excellent) відмінне виконання з незначною кількістю помилок	зараховано
82 – 89	B	дуже добре (very good) вище середніх стандартів, але з декількома помилками	
75 – 81	C	добре (good) в цілому змістовна і правильна робота з певною кількістю значних помилок	
66 – 74	D	задовільно (satisfactory) непогано, але за значною кількістю недоліків	
60 – 65	E	достатньо задовільно (sufficient) виконання відповідає мінімальним критеріям	
35 – 59	FX	незадовільно (fail) з можливістю повторного складання іспиту або заліку	не зараховано
1 – 34	F	незадовільно (fail) з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	

Методи навчання

Пояснювально-ілюстративні, частково-пошукові, проблемно-програмного навчання, пошукові, спонукальні, дослідницькі. Лекції проводяться у формі

бесіди, дискусії з використанням мультимедійного супроводжування та Power Point презентацій, схем, діаграм, роздаткового матеріалу.

Технічні засоби навчання

Проектор мультимедійний; ноутбук, дозиметр «Прип'ять», «СЕР-05».

Матеріальне забезпечення дисципліни

Аудиторії, лабораторні приміщення відділу біофізики і радіобіології.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Гудков І.М. Радіобіологія: Підручник для вищ. навчальних закладів. – К.: НУБіП України, 2016. – 485 с.
2. Гродзинський Д.М. Радіобіологія. – К.: Либідь, 2000. – 448 с.
3. Кутлахмедов Ю.О., Войцицький В.М., Хижняк С.В. Радіобіологія: підручник – К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. – 543 с.
4. Вибрані лекції з курсу «Радіаційна біофізика» для магістрів кафедри біофізики Навчально-наукового центру «Інститут біології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка: навч.-метод. розроб. / упорядн. К.І. Богуцька, Ю.І. Прилуцький, Ю.П. Склярів. – К.: Поліграфічна дільниця Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, 2012. – 88 с.
5. Кутлахмедов Ю.О., Корогодін В.І., Кольтовер В.К. Основи радіоекології. – К.: Вища школа, 2003. – 320 с.
6. Чорнобильська катастрофа / За ред. В.Г. Бар'яхтара. – К.: Наукова думка, 1996. – 576 с.
7. Норми радіаційної безпеки України. (НРБУ-97). Комітет з питань гігієнічного регламентування. Національна комісія з радіаційного захисту населення України. Державні гігієнічні нормативи. К., 1997. – 121с.
8. Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України (ОСПУ2001). – К.: МОЗ, 2001. – 136 с.
9. Ткаченко Г.М. Основи радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту при роботі з джерелами іонізуючих випромінень (методичні вказівки) / Г.М. Ткаченко, М.М. Лазарев, В.О. Кічно – К.: НАУ, 2005. – 52 с.
10. Войцицький В.М. Радіобіологія / В.М. Войцицький. – К.: Вища школа, 1990, - 255 с.
11. Гудков І.М. Сільськогосподарська радіобіологія / І.М. Гудков, М.М. Віннічук – Житомир: ЖДАУ, 2003. - 472 с.
12. Кічно В.О. Основи радіобіології та радіоекології. Навчальний посібник / В.О. Кічно, С.В. Поліщук, І.М. Гудков – К.: Хай-Тек Прес, 2007. – 320 с.
13. Січевська Л.В. Радіаційна біофізика в тестах і задачах: Збірник завдань для самостійної роботи студентів - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007.-

Додаткова література

1. <https://moodle.mnau.edu.ua/file.php/1/freebook/radiobiologiya.pdf> Давиденко В. М. Радіобіологія / В.М. Давиденко – Миколаїв: Видав. МДАУ, 2011. – 265 с.
2. Давиденко В.М. Радіобіологія: [навчальний посібник] /В.М. Давиденко. – Миколаїв : МДАУ, 2008. – 241 с.
3. Давиденко В.М. Радіаційна безпека та концепція ведення сільського господарства на забруднених територіях: [методичні рекомендації] /В.М. Давиденко, С.П. Кот, О.П. Тофан. – Миколаїв : МДАУ, 2008. – 57 с.
4. Желібо Є. Безпека життєдіяльності / Є. Желібо, Н. Заверуха, В. Зацарний – К. : 2001. – 320 с.
5. <http://moikompas.ru/compas/radiation> - Вплив іонізуючого випромінювання на процеси старіння
6. <http://www.altermed.ru/articles.php?cid=3329> – Променева хвороба
7. Коновалов В.С. Вроджені вади свійських тварин внаслідок аварії на ЧАЕС / В.С. Коновалов // - Тваринництво України. – 2007. - № 2. – С. 17-18.
8. Слинявчук Г.Д., Гродзинський Д.М. Кінетика ритмічних явищ в мітотичній активності колеоптилів вівса (*Avena sativa*) за умов дії іонізуючого випромінювання // Цитология и генетика, 2001. Т.35, № 4, с.12 – 17.
9. Слинявчук Г. Д., Громак О. О. Механізми впливу іонізуючого випромінювання на молекулярно біологічні системи, пов'язані з біологічними ритмами // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліття., Київ – 2001 р. – Т. 2. – С. 102 – 106.
10. Н.К.Куцоконь, Д.М.Гродзинський, Н.М.Рашидов, Тришин В.В. Оцінка генетоксичності Am-241 в тест-системі клітин кореневої меристеми проростків *Allium* сера L.// Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень, 2002, №1(7), с. 139-146.
11. Г. Д. Слинявчук. Вплив екзогенного гетероауксину (ІОК) на динаміку ростових процесів колеоптилів вівса (*Avena sativa* L.) за умов дії іонізуючого випромінювання // Збірник наукових праць інституту ядерних досліджень. – 2002. - № 1 (7). С. 121-131.
12. Візір В. А. Радіаційні ураження: навчально-методичний посібник до практичних занять з внутрішньої медицини (військова терапія) для студентів 5 курсу медичних факультетів / В.А. Візір, О.В. Деміденко, В.В. Школовий. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2019. – 63 с.
13. Ядерна зброя (медичні аспекти) : навч. посіб. / В. Ф. Торбін, В. В. Вороненко, О. Є. Левченко, Ю. М. Скалецький. – 174 Тернопіль : ТДМУ, 2012. – 192 с.
14. Дрозд І. П. Хронічний вплив іонізуючої радіації на організм тварин і людини. Ядерна фізика та енергетика 2013 Т. 14 № 1, с. 42-50
15. Захист від хімічних і радіаційних факторів ураження : навч. посіб. для ВНЗ / О. Є. Левченко [та ін.]. – К., 2015. – 404 с. Радіаційна медицина: Підручник для мед. ВНЗ III—IV рів. акред. Затверджено МОН / За ред. М.І. Пилипенка. — К., 2013. — 232 с.