

Учреждение образования  
«Международный государственный экологический институт  
имени А.Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета

**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор  
МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ  
О.И. Родькин  
2024  
Регистрационный № УД-1641-24/уч.

**ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА И БИОТУ**

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальности:

1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

2024 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-100 01 01-2021 от 25.04.2022 и учебного плана учреждения образования для специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность Рег.№134-21/уч. от 25.06.2021

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

О.М. Хаджинова, старший преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий Учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ

### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

С.Б. Мельнов, профессор кафедры анатомии учреждения образования «Белорусского государственного университета физической культуры», доктор биологических наук, профессор;

О.В. Лозинская, старший преподаватель кафедры общей биологии и генетики учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» БГУ (протокол № 4 от 19.11.2024);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» БГУ (протокол № 4 от 26.12.2024)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Действие ионизирующего излучения на человека и биоту» изучает механизмы биологического действия ионизирующих излучений, отражая последовательную картину изменений, начиная от поглощения энергии отдельными молекулами до сложных биологических изменений на уровне клетки, ткани, организма и популяции в целом. Студенты получают необходимую информацию о влиянии облучения на организм человека, методах биологической дозиметрии, а также о новейших феноменах, влияющих на реализацию эффектов на молекулярном, клеточном и организменном уровне.

Для усвоения данной дисциплины необходимо изучение дисциплин «Физика ядра и ионизирующего излучения», «Дозиметрия», а также учебных дисциплин модуля «Биология».

**Целью** данной дисциплины является формирование у студентов системных представлений о биологических эффектах ионизирующих излучений на различных уровнях организации (субклеточной, клеточном, организменном).

**Задачи** учебной дисциплины состоят в следующем:

- формирование представлений об общих закономерностях биологического ответа на воздействия ионизирующих излучений на молекулярном, клеточном, организменном уровнях;
- овладение современными биологическими методами определения дозовых нагрузок,
- формирование представлений о немишенном радиационном эффектах.

В результате усвоения учебной дисциплины студент должен **знать:**

- основные гипотезы о механизмах биологического действия ионизирующего излучения;
- ближайшие и отдаленные последствия облучения;
- критерии оценки радиочувствительности различных биологических объектов;
- пути поступления, распределения и механизмы действия на организм инкорпорированных радионуклидов;
- детерминированные и стохастические эффекты ионизирующего излучения для человека и животных, воздействие ионизирующего излучения на эмбрион и плод;
- принципы действия радиосенсибилизаторов и радиопротекторов, механизмы защиты биологических объектов от поражающего действия ионизирующего излучения;
- современные биохимические, молекулярно-биологические, цитогенетические и биофизические методы исследования в оценке действия ионизирующих излучений на организм;

**уметь:**



- проводить цитогенетический анализ aberrаций хромосом в лимфоцитах человека для индикации радиационного воздействия и биологической дозиметрии;

- применять первичные средства профилактики и лечения поражений, связанных с воздействием ионизирующего излучения;

- использовать знание основных закономерностей в развитии радиобиологических эффектов для оценки реальной угрозы организму в конкретной радиационной обстановке;

**владеть:**

- методиками проведения оценки дозы облучения с помощью биологической дозиметрии.

В ходе изучения учебной дисциплины студент должен освоить следующие **компетенции**:

- понимать механизмы биологического воздействия ионизирующего излучения, ближайшие и отдаленные эффекты облучения, использовать критерии оценки радиочувствительности различных биологических объектов в профессиональной деятельности (БПК-15);

- способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности (УК-5).

Программа рассчитана на 108 часов, из которых 60 часов отводится на аудиторные занятия. На лекции отводится 36 часов, на семинарские занятия – 16 часов, на лабораторные занятия – 8 часов.

Текущий контроль знаний при преподавании дисциплины осуществляется путем проведения тестирования и опросов студентов на семинарских и практических занятиях, а также защите лабораторных работ.

Форма промежуточной аттестации – экзамен в 8-м семестре.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.



## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **Тема 1. Радиобиология человека. Теории биологического действия ионизирующих излучений**

Этапы развития радиобиологии и основные достижения. Историческая справка. Применение источников излучения в радиационной медицине и радиобиологическом эксперименте.

Основные группы теорий биологического действия излучений. Принцип попадания и теория мишени в радиобиологии. Основные положения «теории точечного нагрева». Единая теория биологического действия ионизирующих излучений.

### **Тема 2. Клетка как базовая модель радиационного воздействия**

Основные сведения из молекулярной радиобиологии. Структурная организация клетки. Химический состав клетки. Биологические макромолекулы. Фазы клеточного цикла эукариот. Клетка как базовая модель радиационного воздействия. Основные мишени радиационных воздействий в клетке.

### **Тема 3 Прямое и косвенное действие ионизирующих излучений**

Основные механизмы прямого действия радиации на биологические структуры. Последовательность стадий прямого действия излучений: физическая, физико-химическая, химическая стадии.

Общая характеристика косвенного действия ионизирующих излучений. Опосредованные эффекты радиации, понятие цепных реакций.

Структурные повреждения, возникающие в облученных макромолекулах. Роль активных форм кислорода.

### **Тема 4. Радиационные поражения субклеточных структур. ДНК как радиобиологическая мишень**

Действие ионизирующего излучения на субклеточном уровне. Радиационные повреждения клеточных мембран и ферментов клетки.

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) как воспроизводящая матрица и ее структура. Хроматин. Общие сведения о строении хромосом. Кариотип. Геном человека и структура хромосом. Общая классификация и типы цитогенетических повреждений.

Понятие об абберациях хромосом. Система антимутагенного контроля повреждений ДНК. Репарация ДНК. Радиационные повреждения ДНК. Маркеры радиационных воздействий.

### **Тема 5. Воздействие излучения на клеточном уровне**

Реакция клетки на радиационное воздействие. Относительная радиочувствительность клеток на различных стадиях клеточного цикла. Внутриклеточная репарация. Задержка деления клеток. Формы клеточной гибели. Репродуктивная и интерфазная гибель клеток: основные отличия.

Концепция клеточной радиочувствительности. Зависимость эффекта воздействия излучения от ЛПЭ. Кривая выживаемости клеток. Основные характеристики и методы анализа.

Радиобиологическая характеристика видов ионизирующего излучения. Зависимость воздействия излучения от ЛПЭ. Биологическая эффективность ионизирующего излучения.

### **Тема 6. Биологическая дозиметрия**

Физическая и биологическая дозиметрия. Сравнительный аспект.

Биологическая дозиметрия и индикация. Цитологические, генетические, биохимические и биофизические методы. Приборная база современных методов биодозиметрии.

Идентификация aberrаций хромосом при использовании FISH-метода. Классический цитогенетический анализ. Микроядерный тест с блокированием цитокинеза. TCR-тест. HPRT-тест. Гликофориновый тест. Митохондриальная ДНК как объект биодозиметрии.

### **Тема 7. Ранние тканевые реакции. Детерминированные эффекты облучения**

Органотканевая стадия радиобиологического процесса. Радиационные синдромы как нарушение кинетики клеточных популяций критических органов. Характеристика костномозгового, желудочно-кишечного синдромов и синдрома ЦНС. Понятие о критических системах организма.

Лучевая болезнь человека при внешнем облучении. Периоды развития и клиническая картина фаз острой лучевой болезни.

Поражение организма человека при неравномерном внешнем облучении, а также облучении инкорпорированными радионуклидами. Процессы восстановления в облученном организме.

### **Тема 8. Отдаленные последствия облучения**

Соматические и наследственные эффекты облучения.

Отдаленный канцерогенез. Индукция раковых заболеваний. Неопухолевые формы отдаленных последствий облучения. Преждевременное старение и сокращение продолжительности жизни.

Классификация наследственных изменений. Механизмы мутагенеза.

Действие ионизирующего излучения на зародыш и плод. Радиочувствительность эмбриона в разные периоды его развития.

Методы биоиндикации на организменном уровне (фенотипические проявления соматических мутаций).

### **Тема 9. Радиочувствительность и ее модификация**

Диапазон различий радиочувствительности в природе. Радиочувствительность органов, тканей и клеток животных. Относительность понятия тканевой радиочувствительности. Правило Бергонье-Трибондо. Классификация органов по радиочувствительности.

Критерии оценки радиочувствительности. Сравнение радиочувствительности биологических объектов.

Модифицирующие факторы прямого действия радиации на организм человека. Радиосенсибилизаторы и радиопротекторы, защитные механизмы клетки.

Кислородный эффект. Модификация радиочувствительности клеток кислородом. Механизмы действия радиопротекторов. Основные классы химических соединений радиозащитного действия. Низкомолекулярные радиопротекторы. Высокомолекулярные противолучевые средства. Фармакохимическая противолучевая защита организма.

#### **Тема 10. Немишеннные эффекты**

Эффект «свидетеля». Роль межклеточных коммуникаций в реализации эффекта. Радиационно-индуцированная геномная нестабильность. Механизмы развития радиационно-индуцированной нестабильности генома. Гормезис и адаптивный ответ. Возможные механизмы.

#### **Тема 11. Особенности биологического действия малых доз**

Пороговая и беспороговая концепции зависимости эффекта от дозы. Механизм реализации радиобиологического эффекта в области низких уровней доз. Естественный радиационный фон.

#### **Тема 12. Действие ионизирующих излучений на биообъекты**

Реакции различных биологических видов на воздействие ионизирующего излучения. Радиационно-индуцированные поражения растений, человека и животных. Растения как объекты биоиндикации. Цели радиационной защиты окружающей среды. Концепция «условных (референтных) животных и растений».



**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
(для очной (дневной) формы получения высшего образования)

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                                                          | Количество аудиторных часов |                      |                     |                      |      | Количество часов<br>УСР | Форма контроля |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|-------------------------|----------------|
|                     |                                                                                 | Лекции                      | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия | Иное |                         |                |
| 1.                  | Радиобиология человека. Теории биологического действия ионизирующих излучений   | 2                           |                      | 2                   |                      |      |                         | 1-2, 4         |
| 2.                  | Клетка как базовая модель радиационного воздействия                             |                             |                      | 2                   |                      |      |                         |                |
| 3.                  | Прямое и косвенное действие ионизирующих излучений                              | 2                           |                      | 2                   |                      |      |                         | 1-2, 4         |
| 4.                  | Радиационные поражения субклеточных структур. ДНК как радиобиологическая мишень | 4                           |                      |                     |                      |      |                         | 1-2, 4         |
| 5.                  | Воздействие излучения на клеточном уровне                                       | 4                           |                      | 2                   |                      |      |                         | 1-2, 4         |
| 6.                  | Биологическая дозиметрия                                                        | 8                           |                      | 2                   | 8                    |      |                         | 1-4            |
| 7.                  | Ранние тканевые реакции. Детерминированные эффекты облучения                    | 2                           |                      | 2                   |                      |      |                         | 1-2, 4         |
| 8.                  | Отдаленные последствия облучения                                                | 2                           |                      | 2                   |                      |      |                         | 1-2, 4         |
| 9.                  | Радиочувствительность и ее модификация                                          | 2                           |                      |                     |                      |      |                         | 1, 4           |
| 10.                 | Немишенные эффекты                                                              | 4                           |                      |                     |                      |      |                         | 1, 4           |

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                        | Количество аудиторных часов |                      |                     |                      |      | Количество часов<br>УСР | Форма контроля |
|---------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|-------------------------|----------------|
|                     |                                               | Лекции                      | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия | Иное |                         |                |
| 11.                 | Особенности биологического действия малых доз | 2                           |                      | 2                   |                      |      |                         | 1, 4           |
| 12.                 | Действие ионизирующих излучений на биообъекты | 4                           |                      |                     |                      |      |                         | 1, 4           |
|                     | <b>ИТОГО</b>                                  | <b>36</b>                   |                      | <b>16</b>           | <b>8</b>             |      |                         |                |

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### *Инновационные методы и подходы к преподаванию учебной дисциплины*

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач; метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме; а также методы развития критического мышления, формирующие навыки работы с информацией в процессе чтения и письма.

### Рекомендуемая литература

#### *Основная*

1. Кудряшов, Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующее излучение) : учебник / Ю.Б. Кудряшов ; под ред. В.К. Мазурика, М.Ф. Ломанова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 448 с.
2. Григорьева, Д.В. Действие ионизирующих излучений на биообъекты : учеб. пособие / Д.В. Григорьева, И.В. Горудко, Г.Г. Мартинович. – Минск : Вышэйшая школа, 2023. – 264 с.
3. Радиационные эффекты на различных уровнях организации биологических систем : монография / А.Н. Батян [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2024. – 200 с.
4. Молекулярная и клеточная радиационная биология / А.Н. Батян [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 238 с.
5. Моссэ, И.Б. Генетические эффекты ионизирующей радиации / И.Б. Моссэ, П.М. Морозик ; НАН Беларуси, Ин-т генетики и цитологии. – Минск : Беларуская навука, 2018. – 299 с.

#### *Дополнительная*

1. Мельнов, С.Б. Биологическая дозиметрия: теоретические аспекты / С.Б. Мельнов. – Минск : Белорусский комитет «Дети Чернобыля», 2002. – 192 с.
2. Мельнов, С. Б. Биологические эффекты ионизирующего излучения у человека : молекулярно-генетические аспекты действия ионизирующего излучения на субклеточном и клеточном уровнях биологической организации : пособие : в 2 ч. / С.Б. Мельнов, В.Н. Кипень, Н.Н. Тушин. – Минск : Парадокс, 2013.
3. Актуальная радиобиология : курс лекций / Л.А. Ильин [и др.]. – 2-е изд., стереотип. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2022. – 237 с.
4. Использование цитогенетической дозиметрии для обеспечения готовности и реагирования при радиационных аварийных ситуациях : аварийная готовность и реагирование, EPR-Biodosimetry 2011 / МАГАТЭ. – Вена : МАГАТЭ, 2014. – 251 с.



5. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной защите : пер с англ. / под общ. ред. М. Ф. Киселёва, Н. К. Шандалы. – Москва : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 343 с.
6. Основы клинической радиобиологии : учебник / под ред. М. С. Джойнер, О. Дж. ван дер Когель. под общ. ред. проф., д-ра биол. наук Е. Б. Бурлаковой, проф., д-ра мед. наук Е. В. Кижаяева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2021. – 607 с.
7. Ободовский, И.М. Влияние радиации на здоровье человека : учеб. пособие / И.М. Ободовский. – Долгопрудный : Изд-й дом "Интеллект", 2018. – 312 с.
8. Ободовский, И.М. Основы радиационной и химической безопасности / И. М. Ободовский. – 2-е изд. – Долгопрудный : Изд-й дом "Интеллект", 2015. – 304 с.
9. Радиационная безопасность и радиационный контроль : учеб. пособие : в 2 т. / В.А. Кутьков, Б.В. Поленов, В.А. Черкашин; Под общ. ред. В.А. Кутькова. – Обнинск : НОУ «ЦИПК», 2008. – 2 т.
10. Ярмоненко, С.П. Радиобиология человека и животных: Учебное пособие / С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон: Под ред. С.П. Ярмоненко. – М.: ВШ, 2004. – 549 с.
11. Филимонов, М.М. Радиобиология : пособие / М.М. Филимонов, Д.А. Новиков. – Минск : БГУ, 2015. – 132 с.
12. Радиоэкология : учебник для ВУЗов / М.Г. Давыдов [и др.]. – М. : Феникс, 2013. – 635 с.
13. Радиационная медицина : учеб. пособие / В.Н. Бортновский [и др.] ; под ред. В.Н. Бортновского. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2016. – 213 с.

### ***Примерный перечень тем семинарских занятий***

1. Радиобиология человека. Теории биологического действия ионизирующих излучений.
2. Клетка как базовая модель радиационного воздействия.
3. Прямое и косвенное действие ионизирующих излучений.
4. Радиационные поражения субклеточных структур. ДНК как радиобиологическая мишень.
5. Биологическая дозиметрия.
6. Ранние тканевые реакции. Детерминированные эффекты облучения.
7. Отдаленные последствия облучения.
8. Особенности биологического действия малых доз.

### ***Примерный перечень тем лабораторных работ***

9. Изучение методики проведения цитогенетического анализа.
10. Изучение методики проведения микроядерного теста.

**Формы контроля знаний**

| <b>№<br/>п / п</b> | <b>Форма</b>                                        |
|--------------------|-----------------------------------------------------|
| 1.                 | Выборочный контроль на лекциях                      |
| 2.                 | Проведение опросов в группе на семинарских занятиях |
| 3.                 | Защита отчетов по лабораторным работам              |
| 4.                 | Экзамен                                             |

**Наименования и виды методических средств**

| <b>№<br/>п / п</b> | <b>Наименование</b>                                        | <b>Вид</b>                      |
|--------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1                  | Учебно-информационные материалы по теме лекций             | Электронный документ            |
| 2                  | Презентации к лекциям                                      | Электронный документ            |
| 3                  | Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ | Бумажный и электронный документ |
| 4                  | Микроскопирование                                          | Микроскоп, препараты            |