

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Обнинский институт атомной энергетики –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

## **ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Одобрено  
Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол № 25.8 от 25.08.2025

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*название дисциплины*

для студентов направления подготовки

### **14.04.02 Ядерные физика и технологии**

профиль

### **Радиоэкология и радиационная безопасность**

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2025 г.

## **1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

- изучение методологических основ и методов оценки и прогнозирования последствий радиоактивного загрязнения аграрных и природных экосистем.

## **2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

- изучение моделей миграции радионуклидов в экосистемах и моделей функционирования экосистем в условиях воздействия радиационного фактора;
- освоение современных программных средств, предназначенных для оценки последствий радиоактивного загрязнения экосистем и отработки сценариев защитных мероприятий;
- получение практических навыков по работе с программными средствами, применяемыми для решения радиозэкологических задач;
- развитие навыков обобщения полученных результатов, формулировки выводов и рекомендаций для ведения эффективного хозяйства на территориях, загрязненных радионуклидами.

## **3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) МАГИСТРАТУРЫ**

Дисциплина реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений, и относится к профессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения дисциплин ООП магистратуры: «История и методология науки и производства», «Перспективные ядерные технологии (Радиационная экология природных и аграрных экосистем)», «Дозиметрия и защита от излучений», «Инструментальные методы радиозэкологии и радиационной безопасности», «Методы оценки и анализа техногенного риска», «Геохимия радионуклидов».

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: выполнение научно-исследовательской работы, всех видов практики и выпускной квалификационной работы.

Дисциплина изучается на 2 курсе в 3 семестре.

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения ООП магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Коды компетенций | Наименование компетенции                                                                                                                                   | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-4</b>      | Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач                              | З-ПК-4 Знать цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных;<br>У-ПК-4 Уметь применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ;<br>В-ПК-4 Владеть навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач;                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>ПК-22.1</b>   | Способен осуществлять модельные и экспериментальные исследования в области радиационной экологии и радиационной безопасности человека, и окружающей среды. | З-ПК-22.1 Знать закономерности поведения радионуклидов в окружающей среде, биологического действия на человека и окружающую среду; принципы системы радиационной безопасности; основные экологические и радиоэкологические проблемы ядерно-топливного цикла;<br>У-ПК-22.1 Уметь проводить моделирование радиоэкологических процессов; осуществлять экспериментальные радиобиологические и радиоэкологические исследования; оценивать негативные радиобиологические и радиоэкологические последствия;<br>В-ПК-22.1 Владеть навыками оценки радиационной и экологической безопасности при реализации антропогенной деятельности; компьютерными технологиями и специализированными программными средствами, применяемыми для радиоэкологических исследований; навыками аналитического и инструментального анализа объектов окружающей среды. |

**5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

| Вид работы                                                       | Количество часов на вид работы: |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>            |                                 |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                                | <b>32</b>                       |
| В том числе:                                                     |                                 |
| лекции                                                           | 16                              |
| практические занятия<br>(из них в форме практической подготовки) | 16<br>(0)                       |
| лабораторные занятия<br>(из них в форме практической подготовки) | -<br>(0)                        |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                                  |                                 |
| В том числе:                                                     |                                 |
| зачет                                                            | -                               |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся</b>                        | <b>76</b>                       |
| <b>Всего (часы):</b>                                             | <b>108</b>                      |
| <b>Всего (зачетные единицы):</b>                                 | <b>3</b>                        |

**6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

**6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

| Неделя      | № п/п     | Наименование раздела /темы дисциплины                                              | Виды учебной работы |           |          |          |           |
|-------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|----------|----------|-----------|
|             |           |                                                                                    | Лек                 | Пр        | Лаб      | Внеауд   | СРО       |
| <b>1-6</b>  | <b>1.</b> | <b>Основы системной радиоэкологии</b>                                              | <b>10</b>           | <b>4</b>  | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>20</b> |
| 1-2         | 1.1.      | Методологические основы, методы и «инструменты» системной радиоэкологии            | 4                   | 2         | -        | -        | 10        |
| 3-6         | 1.2.      | Применение методов системной радиоэкологии для анализа радиоэкологических ситуаций | 6                   | 2         | -        | -        | 10        |
| <b>7-16</b> | <b>2.</b> | <b>Современные программные средства для решения радиоэкологических задач</b>       | <b>6</b>            | <b>12</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>56</b> |
| 7           | 2.1.      | Интегральный программный пакет ERICA для оценки радиационного воздействия на биоту | 1                   | 2         | -        | -        | 10        |
| 8-9         | 2.2.      | Программный пакет RESRAD-BIOTA для оценки дозовых нагрузок на биоту                | 1                   | 2         | -        | -        | 10        |
| 10-11       | 2.3.      | Система поддержки принятия решений RESCA                                           | 1                   | 2         | -        | -        | 10        |
| 12-13       | 2.4.      | Программный пакет CROM для оценки дозовых нагрузок на население                    | 1                   | 3         | -        | -        | 10        |

|       |      |                                                                                                    |           |           |          |          |           |
|-------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| 14-16 | 2.5. | Модели для оценки последствий радиоактивных выбросов в окружающую среду в публикации МАГАТЭ SRS-19 | 2         | 3         | -        | -        | 16        |
|       |      | <b>ВСЕГО:</b>                                                                                      | <b>16</b> | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>76</b> |

Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная работа, СРО – самостоятельная работа обучающихся

## 6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекционный курс

| Неделя     | №         | Наименование раздела /темы дисциплины                                              | Содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1-6</b> | <b>1.</b> | <b>Основы системной радиоэкологии</b>                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1-2        | 1.1.      | Методологические основы, методы и «инструменты» системной радиоэкологии            | <p>Методология и методы оценки и прогнозирования последствий радиоактивного загрязнения экосистем</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Этапы методологии оценки и прогнозирования последствий радиоактивного загрязнения экосистем для человека и биоты</li> <li>Методологические подходы к анализу различных радиоэкологических ситуаций</li> <li>Методы оценки радиоэкологических рисков для биоты и населения</li> </ul> <p>Математическое моделирование в радиоэкологических исследованиях</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Метод математического моделирования в решении фундаментальных и прикладных задач радиационной экологии</li> <li>Системный подход к изучению радиоэкологических процессов</li> <li>Классификация радиоэкологических моделей</li> </ul> <p>Моделирование миграции радионуклидов в почве</p> <p>Моделирование поведения радионуклидов в системе почва - растения</p> <p>Миграционные модели экосистемного уровня</p> |
| 3-6        | 1.2.      | Применение методов системной радиоэкологии для анализа радиоэкологических ситуаций | <p>Прогнозирование последствий острого облучения леса</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Имитационная модель развития лесных экосистем в условиях воздействия радиационного фактора</li> <li>Прогнозирование динамики древесного яруса леса после острого облучения</li> <li>Анализ устойчивости лесных экосистем на основе концепции</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|             |           |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |           |                                                                                                    | радиоэкологического сдвига                                                                                                                                                                                                        |
| <b>7-16</b> | <b>2.</b> | <b>Современные программные средства для решения радиоэкологических задач</b>                       |                                                                                                                                                                                                                                   |
| 7           | 2.1.      | Интегральный программный пакет ERICA для оценки радиационного воздействия на биоту                 | Интегральный подход к оценке действия радиационного фактора на биоту, реализованный в программе ERICA<br>Модели и методы расчета, используемые в программе ERICA                                                                  |
| 8-9         | 2.2.      | Программный пакет RESRAD-BIOTA для оценки дозовых нагрузок на биоту                                | Градуированный подход к оценке доз облучения биоты, реализованный в программе RESRAD-BIOTA<br>Модели и методы расчета, используемые в программе RESRAD-BIOTA                                                                      |
| 10-11       | 2.3.      | Система поддержки принятия решений RESCA                                                           | Основные принципы оптимизации применения защитных мероприятий в отдаленный период после аварии на ЧАЭС, реализованные в системе поддержки принятия решений RESCA<br>Структура программы, входные переменные и модельные параметры |
| 12-13       | 2.4.      | Программный пакет CROM для оценки дозовых нагрузок на население                                    | Концептуальные представления и принципы, использованные при разработке программы CROM<br>Модели миграционных процессов, входящие в состав программы CROM<br>Этапы применения программы CROM для расчета доз облучения населения   |
| 14-16       | 2.5.      | Модели для оценки последствий радиоактивных выбросов в окружающую среду в публикации МАГАТЭ SRS-19 | Методы оценки дозовых нагрузок на население, представленные в SRS-19<br>Комплекс математических моделей для решения задач, связанных с прогнозированием миграции радионуклидов и расчетом дозовых нагрузок.                       |

*Практические/семинарские занятия*

| Неделя     | №         | Наименование раздела /темы дисциплины                                   | Содержание темы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1-6</b> | <b>1.</b> | <b>Основы системной радиоэкологии</b>                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1-2        | 1.1.      | Методологические основы, методы и «инструменты» системной радиоэкологии | Моделирование миграции радионуклидов в почве <ul style="list-style-type: none"> <li>• Квазидиффузионные и конвективно-диффузионные модели</li> <li>• Методы параметризации моделей</li> <li>• Модель вертикальной миграции радионуклидов по почвенному профилю с учетом форм нахождения в почве</li> </ul> Моделирование поведения радионуклидов в системе почва - растения |

|             |           |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |           |                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Модель поведения радионуклидов в системе почва – растения для ближней и дальней зоны ЧАЭС</li> <li>• Регрессионные модели динамики накопления радионуклидов в растениях</li> </ul> <p>Миграционные модели экосистемного уровня</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Моделирование миграции радионуклидов в аграрных экосистемах</li> <li>• Моделирование миграции радионуклидов в лесных экосистемах</li> </ul> |
| 3-6         | 1.2.      | Применение методов системной радиоэкологии для анализа радиоэкологических ситуаций                 | <p>Оценка последствий радиоактивного загрязнения пастбищных экосистем Семипалатинского испытательного полигона (СИП)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основные этапы методологии оценки радиоэкологической ситуации на СИП</li> <li>• Оценка дозовых нагрузок и радиоэкологических рисков для населения</li> <li>• Оценка дозовых нагрузок и радиоэкологических рисков для биоты</li> </ul>                                                          |
| <b>7-16</b> | <b>2.</b> | <b>Современные программные средства для решения радиоэкологических задач</b>                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 7           | 2.1.      | Интегральный программный пакет ERICA для оценки радиационного воздействия на биоту                 | Практическое применение программы ERICA для оценки дозовых нагрузок и рисков для биоты в различных радиоэкологических ситуациях                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 8-9         | 2.2.      | Программный пакет RESRAD-BIOTA для оценки дозовых нагрузок на биоту                                | Практическое применение программы RESRAD-BIOTA для оценки дозовых нагрузок на биоту в различных радиоэкологических ситуациях                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 10-11       | 2.3.      | Система поддержки принятия решений RESCA                                                           | <p>Структура программы, входные переменные и модельные параметры</p> <p>Алгоритм использования СППР RESCA для выработки оптимальных стратегий защитных мероприятий</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 12-13       | 2.4.      | Программный пакет CROM для оценки дозовых нагрузок на население                                    | Практическое применение программы CROM для расчета доз облучения населения. Решение задач по оценке доз облучения населения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 14-16       | 2.5.      | Модели для оценки последствий радиоактивных выбросов в окружающую среду в публикации МАГАТЭ SRS-19 | Практическое применение моделей SRS-19 для оценки дозовых нагрузок на население. Постановка моделей в Microsoft Excel для расчета дозовых нагрузок на население и биоту                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Лабораторные занятия  
Не предусмотрены.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для всех видов самостоятельной работы (проработки теоретического материала, подготовки к практическим занятиям, подготовки к контрольным испытаниям текущего контроля успеваемости, подготовки к зачету) обучающимся рекомендуется использовать:

- конспекты лекций и практических занятий;
- основную и дополнительную учебную литературу (см. раздел 9);
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», в частности,
  - Radioecology Exchange. Сайт программы «Strategy for Allied Radioecology» (<https://wiki.ceh.ac.uk>) - предоставляет свободный доступ к описанию изучаемых программных средств, программным кодам, базам радиозэкологических данных;
  - Информационно-учебный ресурс по радиозэкологии, радиобиологии и радиозэкологическому моделированию (<http://www.ecoradmod.narod.ru/>).

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

| № п/п                                      | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Индикатор достижения компетенции                        | Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Текущая аттестация, 2 семестр</b>       |                                          |                                                         |                                                                     |
| 1.                                         | Раздел 1                                 | З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-22.1, У-ПК-22.1, В-ПК-22.1 | Контрольная работа                                                  |
| 2.                                         | Раздел 2                                 | З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-22.1, У-ПК-22.1, В-ПК-22.1 | Защита практических работ                                           |
| <b>Промежуточная аттестация, 2 семестр</b> |                                          |                                                         |                                                                     |
|                                            | Зачет                                    | З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-22.1, У-ПК-22.1, В-ПК-22.1 | Зачетный билет                                                      |

### 8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении «Фонд оценочных средств».

### 8.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:

- контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
- контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

| Этап рейтинговой системы /<br>Оценочное средство | Неделя       | Балл      |            |
|--------------------------------------------------|--------------|-----------|------------|
|                                                  |              | Минимум*  | Максимум   |
| <b>Текущая аттестация</b>                        | <b>1-16</b>  | <b>36</b> | <b>60</b>  |
| <b>Контрольная точка № 1</b>                     | <b>7-8</b>   | <b>18</b> | <b>30</b>  |
| <i>Контрольная работа 1</i>                      | 8            | 18        | 30         |
| <b>Контрольная точка № 2</b>                     | <b>15-16</b> | <b>18</b> | <b>30</b>  |
| <i>Практические работы 1-5</i>                   | 15-16        | 18        | 30         |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                  | -            | <b>24</b> | <b>40</b>  |
| Зачет                                            | -            |           |            |
| <i>Зачетный билет</i>                            | -            | 24        | 40         |
| <b>ИТОГО по дисциплине</b>                       |              | <b>60</b> | <b>100</b> |

\* Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, зачету или экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачету/экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

#### **Определение бонусов и штрафов**

Бонусы: поощрительные баллы студент получает к своему рейтингу в конце семестра за присутствие на лекциях и практических занятиях и активную и регулярную работу на занятиях. Бонус (премиальные баллы) не может превышать 5 баллов.

Штрафы: за несвоевременную сдачу индивидуальных домашних заданий и реферативных сообщений достигнутая оценка может быть снижена на 10%.

#### **8.4. Шкала оценки образовательных достижений**

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

| <i>Сумма баллов</i> | <i>Оценка по 4-х балльной шкале</i>           | <i>Оценка ECTS</i> | <i>Требования к уровню освоения учебной дисциплины</i>                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>90-100</b>       | 5- «отлично»/<br>«зачтено»                    | A                  | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы                                     |
| <b>85-89</b>        | 4 - «хорошо»/<br>«зачтено»                    | B                  | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос                                                                                                                                         |
| <b>75-84</b>        |                                               | C                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>70-74</b>        |                                               | D                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>65-69</b>        | 3 -<br>«удовлетворительно»/<br>«зачтено»      | D                  | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала                                        |
| <b>60-64</b>        |                                               | E                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>0-59</b>         | 2 -<br>«неудовлетворительно»/<br>«не зачтено» | F                  | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине |

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная учебная литература:

1. Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И. Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде. – М.: ООО «Маска», 2022. – 638 с.
2. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году: ежегодник / Ред. В.М. Шершаков, В.Г. Булгаков, И.И. Крышев и др. – Обнинск, 2019. – 324 с. [Электронный ресурс] НПО «Тайфун» <http://www.rpatyphoon.ru/products/> (открытый доступ)

3. Нуштаева В.Э., Спиридонов С.И., Микаилова Р.А., Карпенко Е.И., Нуштаев С.Н., Ныгыманова А.С. Оценка дозы облучения представительных организмов биоты в районе размещения АЭС с ВВЭР-1200 // Атомная энергия. – 2020. – Т. 128. – № 4. – С. 232-238. [Электронный ресурс] Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>
4. Микаилова Р.А., Нуштаева В.Э., Спиридонов С.И., Карпенко Е.И., Кречетников В.В. Оценка и прогнозирование дозы облучения населения в районе размещения АЭС с ВВЭР-1200 // Атомная энергия. – 2019. – Т. 127. – Вып. 1. – С. 47-50. [Электронный ресурс] Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>
5. Спиридонов С.И., Микаилова Р.А. Ранжирование реакторных установок на основе оценки потенциального радиационного воздействия на природную среду // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – Т. 60. – № 5. – С. 541-549. [Электронный ресурс] Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>
6. Спиридонов С.И. Перспективы системной радиоэкологии в решении инновационных задач ядерной энергетики // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – Т. 54. – №4. – С. 415-422. [Электронный ресурс] Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>
7. Кулешов А. А. Математические модели в естествознании и экологии: учеб. пособие по курсу «Математические модели в естествознании и экологии». – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2011. – 88 с. (3 экз.)
8. ICRP. Environmental protection - the concept and use for reference animals and plants. ICRP Publication 108 // Annals of the ICRP. 2008. V. 38, N 4–6.
9. IAEA. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety Reports Series No. 19. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.
10. Brown J., Alfonso B., Avila R. e.a. The ERICA tool. // J. Environ. Radioact. 2008. V. 99. № 9. P. 1371–1383.

***б) дополнительная учебная литература:***

1. Алексахин Р.М. Проблемы радиоэкологии: Эволюция идей. Итоги. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2006. – 880 с. (3 экз.)
2. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. – М.: ИздАТ, 2010. – 496 с.
3. Яцало Б.И. Введение в математическую экологию: Учеб. пособие по курсу «Экология»/ Б. И. Яцало. – Обнинск: ИАТЭ, 2006. – 108 с. (50 экз.)
4. Мамихин С.В., Бадави В.М. Имитационная модель трехмерной миграции <sup>137</sup>Cs в почвах // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2011. – № 4. [Электронный ресурс] Информационно-учебный ресурс по радиоэкологии, радиобиологии и радиоэкологическому моделированию <http://ecoradmod.narod.ru/rus/publication2/RB2012.pdf> (открытый доступ)

**10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Университетская библиотека Online <http://www.biblioclub.ru/>
2. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru/>
3. НПО «Тайфун» <http://www.rpatyphoon.ru/>
4. Информационно-учебный ресурс по радиоэкологии, радиобиологии и радиоэкологическому моделированию <http://www.ecoradmod.narod.ru/>
5. Radioecology Exchange. Сайт программы «Strategy for Allied Radioecology» (<https://wiki.ceh.ac.uk>)
6. Публикации МАГАТЭ <https://www.iaea.org/publications>

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для оптимальной организации работ по изучению дисциплины «Компьютерное моделирование в радиоэкологии» студентам следует придерживаться следующих рекомендаций.

В течение семестра студенты должны изучать теоретический материал в соответствии с программой курса, выполнять предложенные преподавателем задания для самостоятельной работы, готовиться к текущей и промежуточной аттестации, прорабатывая необходимый материал согласно перечню терминов, контрольных вопросов и списку рекомендованной литературы.

Очень важно посещать аудиторные занятия, т.к. преподавателем читается авторский курс, который невозможно освоить самостоятельно в полном объеме. Студент должен вести конспект лекций - кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Во время самостоятельной проработки лекционного материала особое внимание следует уделять возникшим вопросам, непонятным терминам, спорным точкам зрения. Такие моменты следует выделить или выписать отдельно для дальнейшего обсуждения на семинарском занятии. В случае необходимости обращаться к преподавателю за консультацией.

Практические занятия требуют активного участия всех студентов в обсуждении вопросов и решении практических задач.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине предполагает более глубокую проработку ими отдельных тем курса, определенных программой. Основными видами и формами самостоятельной работы студентов по данной дисциплине являются:

- текущая проработка изучаемого материала по конспектам, учебникам и другим источникам;
- подготовка к практическим занятиям, в том числе ознакомление со справочной и периодической научной литературой по тематике дисциплины;
- подготовка к контрольным испытаниям текущего контроля успеваемости;
- подготовка к зачету.

В процессе изучения данной дисциплины учитывается посещаемость лекций, оценивается активность студентов на практических занятиях. По окончании изучения дисциплины проводится индивидуальный зачет по предложенным вопросам и заданиям.

При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, материалы семинарских занятий, рекомендуемую литературу и др.

Условием успешного освоения материала и сдачи текущего и промежуточного контроля является систематическая работа в соответствии с учебным планом.

## **12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)**

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Электронная система управления обучением (LMS) используется для реализации образовательных программ при очном, дистанционном и смешанном режиме обучения. Система реализует следующие основные функции:

- 1) Создание и управление классами,
- 2) Создание курсов,
- 3) Организация записи учащихся на курс,
- 4) Предоставление доступа к учебным материалам для учащихся,
- 5) Публикация заданий для учеников,
- 6) Оценка заданий учащихся, проведение тестов и отслеживание прогресса обучения,
- 7) Организация взаимодействия участников образовательного процесса.

Система интегрируется с дополнительными сервисами, обеспечивающими возможность использования таких функций как рабочий календарь, видео связь, многопользовательское редактирование документов, создание форм опросников, интерактивная доска для рисования. Авторизация пользователей в системе осуществляется посредством корпоративных аккаунтов, привязанных к домену oiate.ru.

#### ***12.1. Перечень информационных технологий***

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- проведение лекций и практических занятий с использованием слайд-презентаций;
- проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.

#### ***12.2. Перечень программного обеспечения***

- Программы для демонстрации презентаций («Microsoft Power Point»).
- Для выполнения практических работ, оформления письменных работ, работы в электронных библиотечных системах необходимы программы пакета Microsoft Office (Excel, Word, Power Point, Acrobat Reader), Internet Explorer, или других аналогичных.
- Система поддержки принятия решений RESCA (авторский программный продукт – разрабатывалась с участием автора рабочей программы дисциплины).
- Программы ERICA и RESRAD-BIOTA (свободно распространяемые).
- Программа CROM (предпоследняя версия является свободно распространяемой).

### **13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Для лекционных и практических занятий необходима аудитория, оснащенная ноутбуком и проектором.

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации с современными средствами демонстрации (мультимедийное оборудование), а также помещения для самостоятельной работы студентов

## 14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ

### 14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

При преподавании дисциплины применяются разнообразные образовательные технологии, включающие пассивные, активные и интерактивные формы проведения занятий. Используются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала на лекциях и практических занятиях;
- закрепление теоретического материала на практических занятиях; на всех аудиторных занятиях студенты магистратуры вовлекаются в активное обсуждение тематики;
- закрепление теоретического и практического материала при проведении самостоятельной работы путем выполнения проблемно-ориентированных, поисковых, творческих заданий, изучения теоретического материала дисциплины с использованием *Internet*-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;
- мастер-классы с участием ведущих ученых и специалистов профильной научной организации (ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, г. Обнинск).

Активные формы занятий включают: проблемную лекцию, лекции-беседы, семинары и семинары-беседы. Учебным планом предусмотрено проведение 18-ти часов аудиторных занятий в интерактивной форме, план реализации которых представлен в следующей таблице:

| № пп                                                                            | Наименование темы дисциплины                                                                       | Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия) | Количество ак. ч. | Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| Раздел 2. Современные программные средства для решения радиоэкологических задач |                                                                                                    |                                                      |                   |                                                               |
| 1.                                                                              | Интегральный программный пакет ERICA для оценки радиационного воздействия на биоту                 | Практическое занятие                                 | 4                 | Мастер-класс<br>Работа в группах                              |
| 2.                                                                              | Программный пакет RESRAD-BIOTA для оценки дозовых нагрузок на биоту                                | Практическое занятие                                 | 2                 | Работа в группах                                              |
| 3.                                                                              | Система поддержки принятий решений RESCA                                                           | Практическое занятие                                 | 2                 | Семинар-обсуждение                                            |
| 4.                                                                              | Программный пакет CROM для оценки дозовых нагрузок на население                                    | Практическое занятие                                 | 4                 | Мастер-класс<br>Работа в группах                              |
| 5.                                                                              | Модели для оценки последствий радиоактивных выбросов в окружающую среду в публикации МАГАТЭ SRS-19 | Практическое занятие                                 | 6                 | Мозговой штурм<br>Работа в группах                            |

### 14.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)

Самостоятельная работа студентов магистратуры является важным компонентом образовательного процесса. Она направлена на 1) получение углубленных знаний по изучаемым тематикам; 2) получение навыков самостоятельной работы с литературой, периодическими изданиями и интернет-ресурсами; 3) формирование умения обобщать и концентрировать полученные знания; 4) получение опыта подготовки и проведения докладов, дискуссий, использования современных технических средств.

#### ***Темы для самостоятельного изучения***

1. Задачи радиационной экологии, решаемые с помощью метода математического моделирования. Выбор радиоэкологических моделей для решения конкретных задач.
2. Процессы, описываемые моделями миграции радионуклидов в почве, системе почва–растения, аграрных и природных экосистемах. Разработка концептуальных схем моделей.
3. Выбор методов оценки радиоэкологических рисков для населения и биоты в различных радиоэкологических ситуациях.
4. Анализ современных программных средств, предназначенных для решения радиоэкологических задач.
5. Задачи по расчету дозовых нагрузок на биоту с помощью освоенных программных средств.
6. Задачи по расчету дозовых нагрузок на население с помощью освоенных программных средств.
7. Сопоставление возможностей компьютерных программ, предназначенных для решения радиоэкологических задач.

#### ***14.3. Краткий терминологический словарь***

**Доза ионизирующего излучения** – количество энергии ионизирующего излучения, которое воспринимается некоторой средой за определенный промежуток времени.

**Зона радиоактивного загрязнения** – территория или акватория, в пределах которой имеется радиоактивное загрязнение. В зависимости от степени радиоактивного загрязнения различают зоны умеренного, сильного, опасного и чрезвычайно опасного загрязнения.

**Ионизирующее излучение** – поток элементарных частиц и/или квантов электромагнитного излучения, который: создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

**Радиационная авария** – авария на радиационно-опасном объекте, приводящая к выходу или выбросу радиоактивных веществ и/или ионизирующих излучений в количествах, превышающих установленные пределы безопасности его эксплуатации.

**Радиационная безопасность населения** – состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

**Радиационно-опасный объект** – объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества; и при аварии на котором может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов национальной экономики, а также окружающей природной среды.

**Радиоактивное вещество** – вещество, которое имеет в своем составе радиоактивные нуклиды

**Радиоактивное выпадение** - осадки, обладающие повышенной радиоактивностью из-за захвата радиоактивных аэрозолей и газов из атмосферы.

**Радиоактивное загрязнение** – загрязнение поверхности Земли, атмосферы, воды либо продовольствия, пищевого сырья, кормов и различных предметов радиоактивными веществами в количествах, превышающих уровень, установленный нормами радиационной безопасности и правилами работы с радиоактивными веществами

**Радиоэкология** – раздел экологии, изучающий накопление радиоактивных веществ организмами и их миграцию в биосфере.

## **15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

**Для лиц с нарушением слуха** возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а также, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний студентов на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.)

С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае студент предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время подготовки на зачете может быть увеличено.

**Для лиц с нарушением зрения** допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а также использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.

Оценка знаний студентов на семинарских занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межкультурного взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики

функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

**Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата** не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия студент может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия студент должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем студент в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

Программу составил:

\_\_\_\_\_ **А.В. Панов**  
и.о.директора ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
доктор биологических наук, профессор

Рецензент:

\_\_\_\_\_ **А.А. Удалова**  
профессор отделения ЯФиТ (О) НИЯУ МИФИ,  
доктор биологических наук

\_\_\_\_\_ **С.Г. Аксенова**  
главный специалист (отдел экологических параметров  
Управления обоснования экологической безопасности),  
АО "Атомэнергопроект"