

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
факультет Почвоведения

УТВЕРЖДАЮ

и.о. декана П.В.Красильников / \_\_\_\_\_ /

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ РАБОТЕ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

**Уровень высшего образования:**

*Бакалавриат*

**Направление подготовки (специальность):**

*05.03.06 Экология и природопользование*

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**РАДИОЭКОЛОГИЯ**

**Форма обучения: очная**

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
факультета почвоведения (протокол № \_\_\_\_\_, дата \_\_\_\_\_ )

---

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки *05.03.06 Экология природопользования* программы *бакалавриата*

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от 30 декабря 2020 года № 1368.

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП:** относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору

2. **Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:** (перечень освоенных дисциплин)

- Общая химия
- Общая физика
- Общая экология
- Безопасность жизнедеятельности
- Экология человека
- Радиоэкология

3. **Планируемые результаты обучения в результате освоения дисциплины, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников:**

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
<p><b>Б-СПК-3.</b> Понимание особенностей геохимических потоков естественных и техногенных радионуклидов в биосфере; знает основы, принципы и методы организации радиоэкологического мониторинга; владеет знаниями современных методов идентификации и определения содержания экотоксикантов в объектах окружающей среды и принципов выбора наиболее эффективных методов при планировании и проведении экологических исследований; способен давать оценку радиоэкологического состояния природных и агроэкосистем при различных аварийных ситуациях на объектах промышленности, в том числе ЯТЦ; проводить контроль качества продуктов питания и воды.</p>	<p><b>Б-СПК-3.2.</b> Дает оценку радиоэкологического состояния природных и агроэкосистем при различных аварийных ситуациях на объектах промышленности, в том числе ЯТЦ и проводит контроль качества продуктов питания и воды.</p>	<p><b>Знает:</b> факторы техногенного воздействия в условиях штатной работы предприятий ЯТЦ, их классы опасности для населения и окружающей среды; причины, сценарии и последствия радиационных инцидентов и аварий; концепцию оценки радиационно-эпидемиологических показателей и радиационного риска.</p> <p><b>Умеет:</b> выполнять оценки радиационных и экологических рисков при различных сценариях техногенных воздействий на окружающую среду в условиях штатной работы предприятий ЯТЦ и в случае радиационных инцидентов и аварий; проводить процедуры определения экологического ущерба, экологического нормирования, управления экологическими рисками на предприятиях ЯТЦ.</p>

4. **Объем дисциплины** 2 з.е., в том числе 18 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 54 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. **Формат обучения:** очная

6. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам, с указанием отведенного на них количества академических часов, и виды учебных занятий:

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины / форма текущей аттестации	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)			Самостоятельная работа обучающегося		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Выполнение практических заданий	Подготовка докладов, рефератов	Всего
Раздел 1. Техногенные воздействия на окружающую среду при штатной работе предприятий ЯТЦ	16	-	4	4	6	6	12
Тема 1. Техногенные воздействия на население и окружающую среду в условиях штатной эксплуатации АЭС.	8	-	2	2	3	3	6
Тема 2. Техногенные воздействия предприятий ЯТЦ на население и окружающую среду	8	-	2	2	3	3	6
Форма текущей аттестации по разделу	Тестирование, контрольная работа						
Раздел 2. Радиационные аварии и инциденты	16	-	4	4	6	6	12

Тема 3. Аварии на радиационно опасных объектах и оценка их последствий для окружающей среды.	8	-	2	2	3	3	6
Тема 4. Радиационные инциденты и аварии в ЯТЦ.	8	-	2	2	3	3	6
Форма текущей аттестации по разделу.	Тестирование, контрольная работа						
Раздел 3. Экологические риски	20	-	5	5	9	6	15
Тема 5. Классификация рисков.	7	-	2	2	3	2	5
Тема 6. Оценка экологических рисков для почвы и сопредельных природных сред.	7	-	2	2	3	2	5
Тема 7. Оценка экологических рисков в управлении природопользованием	6	-	1	1	3	2	5
Форма текущей аттестации по разделу	Тестирование, контрольная работа						
Раздел 4. Радиационные риски	17	-	5	5	8	4	12
Тема 8. Оценка радиационных рисков для персонала и населения.	9	-	3	3	4	2	6
Тема 9. Оценка радиационного воздействия на биоту и экосистемы.	8	-	2	2	4	2	6
Форма текущей аттестации по разделу	Тестирование, контрольная работа						
Промежуточная аттестация	<i>зачет</i>				3		
<b>Итого:</b>	72	18	54				

## **Подробное содержание разделов и тем дисциплины:**

### **Раздел 1. Техногенные воздействия на окружающую среду при штатной работе предприятий ЯТЦ**

#### **Тема 1. Техногенные воздействия на население и окружающую среду в условиях штатной эксплуатации АЭС.**

АЭС в России и мире. Типы ядерных реакторов. Источники радиоактивного загрязнения при штатной эксплуатации АЭС. Продукты деления, трансурановые радионуклиды, продукты активации в ОЯТ, РАО, теплоносители реакторов. Барьеры удержания активности в зоне реактора. Перенос радионуклидов на двухконтурной АЭС, системы очистки. Системы изоляции радиоактивных веществ на АЭС. Дозовые нагрузки на персонал АЭС и население. Санитарно-защитная зона АЭС и зона наблюдения.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Дать характеристику различных типов энергетических реакторов, указать на каких российских АЭС эксплуатируются реакторы такого типа.
- 2) Отнести указанные радионуклиды к группам радиоактивных веществ: продукты распада (ИРГ, летучие, малолетучие, нелетучие), продукты активации, трансурановые. Указать технологические системы АЭС, в которых они могут образовываться, в какие природные среды могут поступать и накапливаться. Предложить объекты и параметры контроля для них.

#### **Тема 2. Техногенные воздействия предприятий ЯТЦ на население и окружающую среду.**

Структура предприятий ЯТЦ России. Предприятия ЯТЦ других стран. Предприятия по добыче и переработке урановой руды. Предприятия по обогащению, конверсии топлива и изготовлению твэлов. Промышленные реакторы. Радиохимические заводы. Вопросы радиационной безопасности на предприятиях ЯТЦ. Выбросы, сбросы и образование отходов, их радионуклидный состав. Категории опасности предприятий ЯТЦ для персонала и классы опасности для населения и окружающей среды.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Указать классы опасности различных предприятий ЯТЦ для населения и окружающей природной среды, а также протяженность их СЗЗ.
- 2) Вычислить годовую внутреннюю дозу, получаемую персоналом уранодобывающего предприятия вследствие ингаляционного поступления радионуклидов с пылью.

### **Раздел 2. Радиационные аварии и инциденты**

#### **Тема 3. Аварии на радиационно опасных объектах и оценка их последствий для окружающей среды.**

Объекты ЯТЦ в классификации опасных объектов и технологий. Основные понятия теории надежности промышленных объектов. Опасности аварий и их последствия для окружающей среды. Аварийные ситуации. Методы оценки аварийного риска. Нарушения нормальной эксплуатации АЭС, проектные и запроектные аварии.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Построить дерево возможных событий, инициированных аварией на предприятии ЯТЦ. Предложить значения условной вероятности возникновения каждого из возможных событий вследствие этой аварии.
- 2) Проанализировать и обобщить результаты экспертных оценок безопасности размещения хранилища РАО на территориях с различным геологическим строением.

#### **Тема 4. Радиационные инциденты и аварии в ЯТЦ**

Международная шкала ядерных событий. Кыштымская авария (1957). Авария на АЭС «Три-Майл-Айленд» (1979). Чернобыльская авария (1986). Авария на АЭС «Фукусима»

(2011). Инциденты с утечкой жидких радиоактивных отходов. Причины, сценарии и последствия радиационных аварий и инцидентов.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Изучить описание инцидента на одном из предприятий ЯТЦ, дать оценку уровня этого события по шкале INES. Оценить возможные нарушения радиационных барьеров и воздействие события на людей и окружающую среду.
- 2) Указать аварии и инциденты в сфере ЯТЦ, получившие 4-й, 5-й, 6-й, 7-й уровень по шкале INES. Рассчитать вероятность событий различного уровня по шкале INES с учетом накопленного во всем мире опыта эксплуатации реакторов.

### **Раздел 3. Экологические риски**

#### **Тема 5. Классификация рисков.**

Математическое определение риска, неопределенности риска. Классификация рисков. Понятие экологической опасности. Экологические риски в общей системе рисков. Экологические риски для различных компонентов биосферы и природных сред. Агенты экологических рисков. Качественные и количественные оценки рисков. Ранжирование экологических рисков. Пренебрежимый, приемлемый и предельно допустимый экологический риск. Сравнение рисков с использованием F-N кривых.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Рассчитать экологический риск загрязнения почв водосборного бассейна вследствие возможных инцидентов в резервуарном хранилище жидких РАО, используя вероятности различных аварийных сценариев и площади загрязнения.
- 2) Построить и проанализировать F-N-кривые эквивалентной дозы облучения персонала в СЗЗ с учетом вероятности проектных нарушений эксплуатации энергоблока.

#### **Тема 6. Оценка экологических рисков для почвы и сопредельных природных сред.**

Оценка уровня техногенной нагрузки на почвы. Принципы экологического нормирования. Критические нагрузки для почв, методы расчета при загрязнении химическими и радиоактивными веществами. Геохимические подходы к оценке экологического риска. Оценка устойчивости почв при определении экологических рисков. Риски загрязнения поверхностных, подземных вод. Прогноз распространения загрязнения в природных средах: характеристики параметров проницаемости почвы; деградации и сорбции загрязнителей; оценка защищенности подземных вод и времени миграции в зоне аэрации.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Определить фактическую нагрузку поллютанта в составе аэральных выпадений и его критическую нагрузку на почвы экосистем с различными геохимическими параметрами.
- 2) Рассчитать относительный показатель экологического риска загрязнения почвы поллютантом. Установить класс опасности загрязнения почвы.

#### **Тема 7. Оценка экологических рисков в управлении природопользованием**

Сравнение экологического и экономического рисков. Структура экологического ущерба. Выражение экологического ущерба при различных видах техногенных воздействий и оценка экологических рисков. Суммарный ущерб, наносимый природной среде в результате воздействия техногенного фактора. Оценка вероятности и экологического ущерба для возможных сценариев аварий на промышленных объектах. Управление экологическими рисками. Выбор и обоснование стратегии снижения экологического риска.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Оценить значения экономического ущерба и экологического риска загрязнения территории при авариях на пульпопроводе по отраслевым данным и нормативной стоимости земель.

2) Смоделировать значения экологического ущерба, распределенные по равномерному закону в указанном диапазоне, вычислить статистические параметры сгенерированной выборки.

#### **Раздел 4. Радиационные риски**

##### **Тема 8. Оценка радиационных рисков для персонала и населения.**

Оценка радиационных рисков в системе радиационной безопасности. Дозиметрия персонала на предприятиях ЯТЦ. Расчет доз внутреннего облучения при водно-алиментарном и ингаляционном путях поступления техногенных РН. Стохастические и детерминированные эффекты. Концепция радиационного риска. Радиационные риски для персонала и населения. Пожизненный радиационный риск, показатели популяционного риска. Радиационно-эпидемиологические показатели (EAR, ERR). Критические группы населения. Оценка радиационного риска в соответствии с НРБ-99/2009. Неопределенности в оценке радиационных рисков. Критерии оценки радиоактивно загрязненных территорий с позиции анализа риска.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Оценить внешнюю дозу облучения населения на территории с различной плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ .
- 2) Оценить внутреннюю дозу облучения населения от потребления рациона продуктов питания с повышенным уровнем удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .
- 3) Рассчитать радиационные риски стохастических эффектов для населения, используя линейные коэффициенты риска (НРБ-99/2009).

##### **Тема 9. Оценка радиационного воздействия на биоту и экосистемы.**

Антропоцентрический, биоцентрический и экоцентрический принципы обеспечения экологической безопасности. Референтные виды флоры и фауны. Предельные дозы облучения для различных видов биоты. Расчет доз воздействия ионизирующего излучения на растения и животных. Расчет коэффициентов накопления радионуклидов в организмах растений и животных. Расчет коэффициентов опасности с целью оценки экологических рисков для биоты. Радиационное воздействие на экосистемы. Оценка биоразнообразия, разнообразия экотопов для характеристики экологического риска. Техногенные трансформации экосистем и определение степени деградации различных биогеоценозов.

Задания для самостоятельной работы:

- 1) Предложить референтные виды растений и животных и контрольные параметры для оценки воздействия ионизирующих излучений в различных экосистемах.
- 2) Оценить экологический риск при воздействии разлива жидких РАО на растительный покров при заданных параметрах вероятности разлива и уровнях, соответствующих началу ингибирования и полной гибели растений.

#### **7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:**

##### **7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля:**

Рекомендуемые темы рефератов:

1. Радиохимические предприятия России (ГХК, СХК, ПО «Маяк») и вопросы их экологической безопасности.
2. Предприятия ЯТЦ в зарубежных странах (США, Франция, Япония) и вопросы их экологической безопасности.
3. Инциденты на объектах ЯТЦ России, приведшие к загрязнению окружающей среды.
4. Радиационные аварии в США, Великобритании, Японии и их последствия.

5. Оценка экологических рисков на различных этапах обращения с радиоактивными отходами.
6. Страхование экологических рисков.
7. Оценка общего биоразнообразия, разнообразия экотопов для характеристики экологического риска.
8. Оценка надежности экосистем в условиях радиационного воздействия.
9. Оценка экологического ущерба при различных сценариях аварий на АЭС.
10. Выбор референтных видов растений и животных и расчет доз ионизирующего излучения для них на территориях вблизи объектов ЯТЦ.

## **7.2. Типовые контрольные вопросы, задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации:**

### Раздел 1. Техногенные воздействия на окружающую среду при штатной работе предприятий ЯТЦ

1. Структура предприятий ЯТЦ. Обеспечение экологической безопасности на объектах ЯТЦ.
2. Источники радиоактивного загрязнения при штатной работе АЭС. Системы изоляции радиоактивных веществ на АЭС.
3. Дозовые нагрузки на персонал АЭС и население. Санитарно-защитная зона АЭС и зона наблюдения.
4. Категории опасности предприятий ЯТЦ для персонала и классы опасности для населения и окружающей среды. Дозовые нагрузки на персонал и население
5. Выбросы, сбросы и образование отходов на предприятиях ЯТЦ. Обращение с радиоактивными отходами на объектах ЯТЦ.

### Раздел 2. Радиационные аварии и инциденты

6. Основные понятия теории надежности промышленных объектов. Опасности аварий и их последствия для окружающей среды.
7. Аварийные ситуации в ЯТЦ. Методы оценки аварийного риска.
8. Нарушения нормальной эксплуатации АЭС, проектные и запроектные аварии.
9. Международная шкала ядерных событий. Кыштымская авария.
10. Причины, сценарии и последствия радиационных аварий и инцидентов. Чернобыльская авария.

### Раздел 3. Экологические риски

11. Математическое определение риска. Классификация рисков. Экологические риски в общей системе рисков.
12. Качественные и количественные оценки экологических рисков. Ранжирование экологических рисков.
13. Принебрежимый, приемлемый и предельно допустимый экологический риск. Сравнение рисков с использованием F-N кривых.
14. Определение критических нагрузок и оценка экологических рисков для почв. Оценка устойчивости почв.
15. Риски загрязнения поверхностных, подземных вод. Прогноз распространения загрязнения в природных средах.
16. Методы оценки экологических ущербов при техногенных воздействиях на объектах ЯТЦ.
17. Управление экологическими рисками в ЯТЦ. Выбор и обоснование стратегии снижения экологического риска.

### Раздел 4. Радиационные риски

18. Дозиметрия и радиационные риски для персонала на предприятиях ЯТЦ. Риски стохастических и детерминированных эффектов.
19. Концепция радиационного риска. Радиационно-эпидемиологические показатели риска. Пожизненный радиационный риск. Популяционный радиационный риск.
20. Критические группы населения и расчет радиационных рисков. Оценка радиационного риска в соответствии с НРБ-99/2009.
21. Оценка радиационного воздействия на растения и животных вблизи объектов ЯТЦ. Концепция и выбор референтных видов флоры и фауны.
22. Предельные дозы облучения для различных видов биоты. Расчет коэффициентов опасности с целью оценки экологических рисков для биоты.
23. Радиационное воздействие на экосистемы. Оценка биоразнообразия, разнообразия экотопов для характеристики экологического риска.
24. Техногенные трансформации экосистем в условиях радиационного воздействия и определение степени деградации различных биогеоценозов.

### 8. Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине:

В таблице представлена шкала оценивания результатов обучения по дисциплине. Уровень знаний обучающегося оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Оценка "отлично" выставляется, если обучающийся демонстрирует сформированные систематические знания, умения и навыки их практического использования. Оценка "хорошо" ставится, если при демонстрации знаний, умений и навыков студент допускает отдельные неточности (пробелы, ошибочные действия) непринципиального характера. При несистематических знаниях, демонстрации отдельных (но принципиально значимых навыков) и затруднениях в демонстрации других навыков выставляется оценка «удовлетворительно». Оценка "неудовлетворительно" ставится, если знания и умения фрагментарны, а навыки отсутствуют.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине</b>				
<b>Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: устные и письменные опросы, самостоятельные и контрольные работы, тесты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: практические задания, написание и защита	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение

рефератов на заданную тему)				
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b>	Отсутстви е навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированны е навыки (владения), применяемые при решении задач

## 9. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы:
  1. Крышев И.И. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. М.: ИздАт, 2010.
  2. Кулагина Т.А., Кулагин В.А., Матюшенко А.И. Техносферная безопасность в ядерной энергетике: учеб. пособие для студентов вузов. Красноярск: Гротеск: СФУ, 2014.
  3. Тимошенко Г.Н. Радиационная безопасность человека и окружающей среды: учеб. пособие для студентов. Дубна: Гос. ун-т "Дубна", 2015.
  4. Кожевников К.К. Ядерная безопасность: экология и право. М.: Перо, 2020.
  5. Сынзыныс Б.И., Тянтова Е.Н., Мелехова О.П. Экологический риск: Учеб. пособие для студентов. М.: Логос, 2005.
  6. Карлин Л.Н., Абрамов В.М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками: учебное пособие. СПб.: РГГМУ, 2006.

Дополнительная литература:

<http://ibrae.ac.ru> – официальный сайт Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук;

<https://www.icrp.org/> – официальный сайт Международного комитета по радиационной защите

- Перечень лицензионного программного обеспечения  
MS Windows10, MS Teams
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)  
«Экорадмод» (<https://soil.msu.ru/kafedry/kaf-radioecologia/ecoradmod>)
- Описание материально-технической базы
  - А. Помещения
    - 2 аудитории, оборудованные оргтехникой (проектор, компьютер, выход в Интернет);
  - Б. Оборудование
    - для семинарских и лекционных аудиторий: необходимая оргтехника и др.;
  - В. Иные материалы

## 10. Язык преподавания: русский

## 11. Преподаватель (преподаватели):

Липатов Денис Николаевич

Должность: старший преподаватель

Ученая степень (когда и где присуждена): кандидат биологических наук, 17.10.2000 г.

Диссертационный совет Московского гос. университета им. М.В. Ломоносова

Ученое звание (когда и кем присвоено):

## **12. Разработчики программы:**

Липатов Денис Николаевич

Должность: старший преподаватель

Ученая степень (когда и где присуждена): кандидат биологических наук, 17.10.2000 г.

Диссертационный совет Московского гос. университета им. М.В. Ломоносова

Ученое звание (когда и кем присвоено):

**13. Краткая аннотация дисциплины:** Курс направлен на освоение методов оценки экологических рисков при нормировании техногенных воздействий на окружающую среду в условиях штатной работы предприятий ядерного топливного цикла и в случае радиационных инцидентов и аварий. В курсе рассматриваются классы опасности предприятий для населения и окружающей среды, международная шкала ядерных событий, анализируются причины, сценарии и последствия радиационных аварий и инцидентов. Изучаются основные концепции в области радиационной безопасности и осваиваются методы расчета радиационных и экологических рисков.