





# МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ)

### ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

#### 1. Введение

Аспирант, освоивший программу, должен:

##### знать:

- физические и дозиметрические характеристики различных видов ионизирующей радиации и особенности их взаимодействия с веществом;
- основные современные представления и гипотезы о механизмах биологического действия ионизирующих излучений;
- основные последствия действия ионизирующих излучений, УФ- и СВЧ-излучения на клетку и организм;
- основные закономерности поведения радионуклидов в окружающей среде и пути их поступления в растения, организм животных и человека;
- характер влияния ядерных объектов на окружающую природную среду при их нормальном режиме работы и в случае аварийных ситуаций;
- основные подходы к задачам реабилитации радиоактивно загрязненных территорий;
- биологическое действие электромагнитных излучений, УФ- и СВЧ-излучения.

##### уметь:

оценивать биологические и экологические последствия радиационных воздействий;

- рассчитывать дозы внешнего и внутреннего облучения человека;
- проводить контроль параметров, характеризующих радиационно-экологическую обстановку;
- разрабатывать мероприятия, ограничивающие поступление радионуклидов в продукцию растительного и животного происхождения и в рацион человека;
- разрабатывать мероприятия, обеспечивающие снижение доз внешнего и внутреннего облучения человека.

#### 2. Содержание и последовательность изложения учебного материала

##### ТЕМА 1. Общая радиобиология

**Введение.** Открытие рентгеновских лучей и радиоактивности. Радиобиология как комплексная научная дисциплина. Предмет и задачи радиобиологии, связь с другими науками. Основные этапы развития радиобиологии.

##### 1.1. Физические основы радиобиологии

Строение атомного ядра и характеристика элементарных частиц. Электронная оболочка. Ядерные силы. Стабильные и нестабильные изотопы. Естественная и искусственная радиоактивность. Типы ядерных превращений. Закон радиоактивного распада. Единицы измерения радиоактивности. Реакции деления и синтеза ядер. Естественные и искусственные источники ионизирующих излучений. Космические

излучения. Природные радиоактивные элементы. Типы ионизирующих излучений. Электромагнитные и корпускулярные излучения.

### **1.1.1. Взаимодействие излучений с веществом и основы дозиметрии**

Характеристика ионизирующих излучений, их взаимодействие с веществом. Взаимодействие гамма-излучения с веществом: фотоэффект, эффект Комптона, образование электронно-позитронных пар. Закон ослабления пучка бета-частиц. Слой половинного ослабления бета-частиц в веществе. Взаимодействие нейтронов с веществом. Соотношение между длиной пробега частиц и их энергией. ОБЭ ионизирующих излучений, ее связь с ЛПЭ. Основной энергетический парадокс радиобиологии.

Дозиметрия и радиометрия ионизирующих излучений. Методы и средства обнаружения и регистрации ионизирующих излучений. Детекторы ионизирующих излучений, их устройство, классификация, рабочая характеристика. Радиометрические, дозиметрические и спектрометрические приборы, их устройство и назначение. Дозы излучения: поглощенная, экспозиционная, эквивалентная, эффективная. Взвешивающий коэффициент. Мощность доз излучений. Принцип расчета доз при внешнем и внутреннем облучении.

### **1.2. Биологические эффекты воздействия излучений**

#### **1.2.1. Молекулярно-клеточные аспекты биологического действия ионизирующих излучений**

Прямое и косвенное действие ионизирующих излучений. Принцип «попадания» и теория «мишени». Стохастическая теория. Вероятностная модель радиационного поражения клетки. Радиационные повреждения ДНК. Типы репарации одиночных и двойных разрывов ДНК. Основные этапы эксцизионной репарации ДНК. SOS-репарация. Зависимость доза-эффект от индукции мутаций у клеток прокариот. Основные типы мутаций. Репликативный и репаративный мутагенез. Нестабильность генома. Радиочувствительность клеток на разных стадиях цикла. Кислородный эффект. Летальные и нелетальные лучевые реакции клеток. Угнетение клеточного деления, повреждение хромосом. Формы клеточной гибели и их механизмы. Некроз и апоптоз. Внутриклеточная репарация.

#### **1.2.2. Биологические аспекты действия ионизирующих излучений на организмы**

Диапазоны радиочувствительности для разных таксономических групп организмов при общем однократном их облучении. Радиочувствительность систем *in vivo* и *in vitro*. Ответные реакции организма на разные способы облучения: внешнее и инкорпорированное (внутреннее), общее (тотальное) и локальное; равномерное и неравномерное; однократное и дробное (многократное с различными интервалами); острое и хроническое. Интегральные показатели лучевого поражения – СД 50/30 и др. Зависимости «доза-эффект» для многоклеточных организмов. Радиационные синдромы. Характер лучевых изменений «критических» органов. Радиочувствительность и лучевые реакции отдельных органов и тканей. Восстановительные процессы в облученном организме. Радиационная стимуляция. Стимулирующее действие ионизирующих излучений на растения. Закономерности биологического действия малых доз ионизирующих излучений, анализ современных научных представлений.

### **1.3. Основы механизмов биологического действия УФ- и СВЧ-излучения**

Открытие ультрафиолетового излучения. Интенсивность УФ-излучения, достигающего поверхности Земли. Механизмы биологического действия ультрафиолета. Молекулярные основы биологического действия УФ-излучения: изменение структуры и функции ДНК, фотоинактивация белков, повреждение биомембран. Механизмы

биологического действия ультрафиолетового излучения на клеточном уровне. Мутагенное действие ультрафиолета. Использование ультрафиолета в генетике и селекции. Воздействие ультрафиолетовой радиации на растения. Использование ультрафиолетового излучения в сельском хозяйстве. Источники электромагнитных полей радиочастот. Биологическое действие электромагнитных полей. Защита.

## **ТЕМА 2. Основы радиэкологии**

**Введение.** Определение предметов: «радиэкология» – наука, изучающая закономерности миграции радионуклидов в биосфере и последствия воздействия ионизирующих излучений на живые организмы в среде их обитания и на экосистемы в целом и «сельскохозяйственная радиэкология», исследующая закономерности миграции радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам и действия ионизирующих излучений на сельскохозяйственные растения и животных, а также агроценозы.

### **2.1. Естественный радиационный фон, его составляющие и величина**

Характеристика естественных радионуклидов земного и космического происхождения (радионуклиды цепочек радиоактивного распада  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , а также  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  и некоторые другие), их вклад в естественный радиационный фон. Радон и его роль во внутреннем облучении организма. Содержание основных естественных радионуклидов в компонентах биогеоценозов. Калиевый фон. Аномальные территории повышенной естественной радиоактивности среды.

### **2.2 Техногенный радиационный фон и его составляющие**

Радиоактивное загрязнение в результате ядерных испытаний. Поступление в окружающую среду естественных радионуклидов на начальной стадии полного ядерного топливного цикла (при добыче и переработке урановой руды). Загрязнение окружающей среды естественными радионуклидами при использовании минеральных удобрений. Загрязнение окружающей среды естественными радионуклидами при добыче углеводородного сырья и при производстве строительных материалов. Радиоактивное загрязнение при функционировании АЭС. Характерный радионуклидный состав сбросов и выбросов предприятий полного ядерного цикла при их нормальной эксплуатации и в случае радиационных аварий. Продукты нейтронной активации и ядерного деления в газообразных и жидких выбросах и сбросах. Выделение основных радионуклидов, определяющих радиационное воздействие на персонал АЭС и население в регионе расположения АЭС. Экологические проблемы при выводе энергоблоков из эксплуатации. Радиоактивное загрязнение окружающей среды от радиохимических заводов. Дозы облучения населения от разных предприятий ЯТЦ. Применение источников ионизирующих излучений в промышленности и медицине. Общая характеристика радиационного воздействия на население.

### **2.3. Ядерные катастрофы, аварии и инциденты**

Крупные радиационные аварии (авария на Южном Урале, на ядерном реакторе в Уиндскейле (Англия), на АЭС «Три Майл Айленд», на ЧАЭС, на АЭС «Фукусима»). Масштабы и характер радиоактивных загрязнений. Аварии на Южном Урале и ЧАЭС: масштабы, оценка последствий; современное радиэкологическое состояние зараженных территорий. Характерные периоды после радиационной аварии. Контрмеры в различные периоды. Характеристика загрязнения радионуклидами природной среды на территории России. Особенности радиационной аварии на АЭС «Фукусима».

### **2.4. Миграция радионуклидов в окружающей среде, по пищевым цепочкам**

#### **2.4.1. Аэральное загрязнение почвенно-растительного покрова**

Физико-химические свойства радиоактивных выбросов. Фазовые состояния, растворимость, плотность и дисперсность аэрозольных частиц. Виды радиоактивных выпадений. Локальные, тропосферные и стратосферные выпадения (на примерах ядерных взрывов и крупных радиационных аварий). Скорость турбулентного осаждения радиоактивных аэрозолей. Однократное и хроническое радиоактивное загрязнение. Аэральное радиоактивное загрязнение растений. Коэффициент первичного задерживания. Потери радиоактивных аэрозольных частиц растениями. Периоды полу потерь.

#### **2.4.2. Загрязнение почвенно-растительного покрова, горизонтальная и вертикальная миграция радионуклидов**

Плотность радиоактивного загрязнения. Ветровой перенос. Коэффициент ветрового подъема. Зависимость ветрового переноса от свойств почвы и характеристики ландшафта. Горизонтальная миграция радионуклидов. Основные механизмы вертикальной миграции радионуклидов. Механический перенос, диффузия, конвективный перенос, перенос почвенными организмами. Влияние свойств почв на скорость вертикальной миграции радионуклидов. Сорбция радионуклидов почвами. Корневое усвоение радионуклидов растениями. Коэффициенты накопления, пропорциональности, дискриминации, биологического поглощения. Зависимости коэффициентов накопления от типа почвы и вида растений. Поведение радионуклидов в лесных биогеоценозах. Накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами. Математическое моделирование процессов перехода радионуклидов в растения. Технологии и приемы снижения накопления радионуклидов в растениях.

#### **2.4.3. Метаболизм радионуклидов в организме животных и человека**

Пероральный, ингаляционный и перкутанный пути поступления. Барьерные органы. Транспорт радиоактивных веществ в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ). Перенос радионуклидов в органы дыхания в зависимости от размеров аэрозольных радиоактивных частиц. Проникновение радионуклидов через кожные покровы. Коэффициенты резорбции и проникновения. Коэффициент депонирования. Характерные распределения радионуклидов по органам и тканям (диффузный, остеотропный, ретикуло-эндотелиальный, высокотропный типы распределения). Эффективный период полувыведения. Переход радионуклидов в продукцию животного происхождения. Технологии и приемы снижения перехода радионуклидов в организм животных.

#### **2.5. Радиационное нормирование и радиационная безопасность**

Международная деятельность в области радиационной защиты: МКРЗ, МАГАТЭ. Регламентация радиационного воздействия в России, основные регламентирующие документы. Категории облучаемых лиц, дозовые пределы, эффективная и эквивалентная дозы. Экологическое нормирование радиационного воздействия.

#### **2.6. Защитные и реабилитационные мероприятия в зоне радиоактивного загрязнения (на примере аварий на Южном Урале и Чернобыльской АЭС).**

Определение масштаба аварии. Периодизация радиационной обстановки после аварии и особенности применения защитных мероприятий в сельском хозяйстве в различные периоды. Зональный принцип ведения агропромышленного производства на радиоактивно загрязненных территориях. Защитные мероприятия в растениеводстве и животноводстве.

### **3. Методические рекомендации и пособия по изучению курса или дисциплины**

По всем темам используется презентационный материал.

№ № п/п	Наименование темы	Литература
1	2	3
1.	Общая радиобиология	<p>1. Тимофеев-Ресовский Н.В., Савич А.В., Шальнов М.И. Введение в молекулярную радиобиологию. - М.: Медицина, 1981.</p> <p>2. Радиобиология человека и животных Учеб. пособие / Под ред. С.П. Ярмоненко. – М.: Высш. шк., 2004. – 549 с.</p> <p>3. Кузин А.М. Молекулярная радиобиология клеточного ядра. - М.: Атомиздат, 1973.- 208 с.</p> <p>4. Кузин А.М. Проблемы радиобиологии. - М.: Знание, 1970. - 95 с.</p> <p>5. Кузин А.М. Роль природного радиационного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни. – М.: Наука, 2002. – 79 с.</p> <p>6. Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 448 с.</p> <p>7. Окада Ш. Радиационная биохимия клетки. - М.: Мир, 1974. – 408 с.</p> <p>8. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. Изд-во РХД, М–Ижевск, 2011. - 560 с.</p> <p>9. Техногенное облучение и безопасность человека / Под научной редакцией Л.А. Ильина. - М.: ИздАТ, 2006. - 304 с.</p>
2.	Основы радиоэкологии	<p>1. Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А.- М.: Экология, 1992.- 400 с.</p> <p>2. Василенко О.И. Радиационная экология. - М.: Медицина, 2004. – 216 с.</p> <p>3. Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. - М.: Науч. мир, 2003. - 253 с.</p> <p>4. Белозерский Г.Н. Радиационная экология: учеб. для студ. высш. учеб. заведений– М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.</p> <p>5. Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 240 с.</p> <p>6. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. -М.: ИздАт, 2010. – 496 с.</p> <p>7. Чернобыль: 25 лет спустя / Под общей редакцией С.К. Шойгу. – М., 2011. – 354 с.</p> <p>8. Экология регионов атомных станций / Под общ. ред. Ю.А. Егорова. - М.: Атомэнергопроект, 1994. - 275с.</p> <p>9. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под общей ред. Л.А. Ильина и</p>

1	2	3
		<p>В.А. Губанова. - М., ИздАТ, 2001.-752 с.</p> <p>10. Анненков Б.Н. и др. Радиационные аварии и их последствия в агросфере. Казань: АН РТ, 2004. – 408 с.</p> <p>11. Пристер Б.С. Проблемы сельскохозяйственной радиобиологии и радиоэкологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления. НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 320 с.</p> <p>12. Куликов Н.В.и др. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. - 170с.</p> <p>13. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. - М.: Атомиздат, 1974. - 215с.</p> <p>14. Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных / Под ред. В.А. Бударкова, А.С. Зенкина. – М.: Колосс, 2008. – 351 с.</p>

#### 4. Контрольные вопросы

1. Типы радиоактивного распада. Естественные радиоактивные семейства. Спонтанное деление тяжелых ядер.
2. Источники ИИ. Характеристики ИИ основных радиоактивных элементов, используемых в биологии. Единицы радиоактивности.
3. Характеристика ИИ и их взаимодействие с веществом (ЛПЭ, зависимость сечения взаимодействия ИИ от энергии ИИ).
4. Физическая характеристика разных видов ИИ электромагнитной и корпускулярной природы. Механизмы потери энергии в веществе. Линейная потеря энергии (ЛПЭ).
5. Доза излучения. Поглощенная доза, единицы измерения. Мощность дозы.
6. Взаимодействие  $\gamma$ -квантов с веществом.
7. Законы прохождения ИИ в веществе.
8. Эволюция теоретических представлений о механизмах биологического действия ионизирующих излучений.
9. Основные дозиметрические величины в радиационной безопасности человека (эквивалентная доза, эффективная эквивалентная доза, взвешенные коэффициенты, коэффициент качества излучения, ОБЭ)
10. Ионизационные методы радиометрии и дозиметрии (ионизационная камера, счетчики газонаполненные и Гейгера-Мюллера, энергетическая чувствительность к  $\gamma$ -излучению).

11. Твердотельные методы спектрометрии и дозиметрии ИИ (гамма-спектрометрический метод с помощью ППД и сцинтилляционных детекторов, измерение доз с помощью спектрометров и термолюминофоров).
12. Реакция клеток на облучение. Формы клеточной гибели. Кривые выживания.
13. Генетическое действие ИИ. Генные мутации, хромосомные aberrации; количественные закономерности, связь с репродуктивной гибелью. Роль повреждений ДНК в генетических эффектах ИИ.
14. Анализ повреждения клеток ИИ на молекулярном уровне (ионизация, образование свободных радикалов, перекисей и др. продуктов окисления)
15. Действие ИИ на биологически значимые молекулы. Физико-химические механизмы защиты, репарация и усиление повреждения молекул.
16. Защита «расстоянием» и «временем» от ионизирующих излучений. Критичность органов человека к разным видам излучений.
17. Закономерности биологического действия малых доз ионизирующих излучений. Анализ современных научных представлений.
18. Сравнительная радиочувствительность организмов. Диапазон изменчивости и причины, определяющие дифференциацию по этому показателю.
19. Модификация радиационных повреждений (химическими, физическими агентами; кислородный эффект). Явления синергизма и антагонизма, методы их количественной оценки
20. Основы механизмов биологического действия УФ- и СВЧ – излучения, применение УФ-излучения в сельском хозяйстве.
21. Особенности реакции организма растений и животных на острое и хроническое воздействие ионизирующего излучения.
22. Особенности растений как модели для изучения радиобиологических эффектов.
23. Зависимость гибели животных от величины, мощности, фракционирования и равномерности распределения поглощенной дозы. Дозовая кривая выживаемости и ее параметры. Зависимость радиочувствительности от вида, пола и возраста животных.
24. Закономерности формирования доз внутреннего облучения животных (пероральное и ингаляционное поступление радионуклидов, их всасывание и выведение, распределение радионуклидов в организме).
25. Естественный радиационный фон, его составляющие (вклад составляющих фона в дозу облучения человека; биологическое значение фона).
26. Источники радиоактивного загрязнения внешней среды. Миграция радионуклидов в основных природных сферах (атмосфера, почва и др.).
27. Понятие биогеоценоза, биологических и пищевых цепочек миграции радионуклидов. Радиочувствительность основных типов природных биогеоценозов. Их прямое и косвенное повреждение и процесс восстановления
28. Открытый и замкнутый ядерные топливные циклы. Радиоэкологическое воздействие на окружающую среду предприятий ЯТЦ.

29. Радиоэкология регионов АЭС: ядерные реакторы и их классификация, выбросы и сбросы АЭС, экологический мониторинг АЭС.
30. Радиоактивные отходы: источники РАО и ОЯТ, классификация РАО, основные принципы хранения и обращения с РАО.
31. Принципы нормирования радиационной безопасности персонала и населения. Меры по ограничению миграции радионуклидов в биологических и пищевых цепочках. Способы снижения доз внешнего облучения персонала и населения при радиоактивном загрязнении территории.
32. Характеристика аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Организации защитных мероприятий, их эффективность.
33. Авария на Южном Урале, ее радиоэкологические последствия. Общие черты и различия с аварией на Чернобыльской АЭС.
34. Проблема йода в радиационной безопасности населения при аварийном загрязнении среды (коэффициенты перехода в цепях: трава - щитовидная железа животных; трава - молоко - щитовидная железа человека).
35. Продукция животноводства как источник поступления радионуклидов ( $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) в рацион человека. Накопление их в молоке и мясе животных. Способы снижения содержания радионуклидов в продукции животноводства.
36. Продукция растениеводства как источник поступления радионуклидов ( $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) в рацион человека. Способы снижения содержания радионуклидов в продукции растениеводства.
37. Прикладные задачи сельскохозяйственной радиоэкологии. Принципы ведения сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях.

## 5. Литература

1. Тимофеев-Ресовский Н.В., Савич А.В., Шальнов М.И. Введение в молекулярную радиобиологию. - М.: Медицина, 1981.
2. Радиобиология человека и животных Учеб. пособие / Под ред. С.П. Ярмоненко. – М.: Высш. шк., 2004. – 549 с.
3. Кузин А.М. Молекулярная радиобиология клеточного ядра. - М.: Атомиздат, 1973.- 208 с.
4. Кузин А.М. Проблемы радиобиологии. - М.: Знание, 1970. - 95 с.
5. Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 448 с.
6. Окада Ш. Радиационная биохимия клетки. - М.: Мир, 1974. – 408 с.
7. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. Изд-во РХД, М–Ижевск, 2011. - 560 с.
8. Сельскохозяйственная радиоэкология /Под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А.- М.: Экология, 1992.- 400 с.

9. Кузин А.М. Роль природного радиационного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни. -М.: Наука, 2002. – 79 с.
10. Василенко О.И. Радиационная экология. - М.: Медицина, 2004. – 216 с.
11. Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. - М.: Науч. мир, 2003. - 253 с.
12. Белозерский Г.Н. Радиационная экология: учеб. для студ. высш. учеб. заведений.– М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
13. Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 240 с.
14. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. -М.:ИздАт, 2010. – 496 с.
15. Чернобыль: 25 лет спустя / Под общей редакцией С.К. Шойгу. – М., 2011. – 354 с.
16. Экология регионов атомных станций / Под общ. ред. Ю.А. Егорова. - М.: Атомэнергопроект, 1994. - 275с.
17. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под общей ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. - М., ИздАТ, 2001.-752 с.
18. Анненков Б.Н. и др. Радиационные аварии и их последствия в агрофере. Казань: АН РТ, 2004. – 408 с.
19. Пристер Б.С. Проблемы сельскохозяйственной радиобиологии и радиоэкологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления. НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 320 с.
20. Техногенное облучение и безопасность человека / Под научной редакцией Л.А. Ильина. - М.: ИздАТ, 2006. - 304 с.
21. Куликов Н.В.и др. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. - 170с.
22. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. - М.: Атомиздат, 1974. - 215с.
23. Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных / Под ред. В.А. Бударкова, А.С. Зенкина. – М.: Колос С, 2008. – 351 с.
24. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. Учебник. Высшая школа, 1988 г
25. Бак Зенон, Александр Питер. Основы радиологии. М.: Ин. Лит-ра, 1963 г.
26. Кудряшов Ю.Б., Беренфельд Б.С. Основы радиационной биофизики, М.: МГУ, 1982 г.
27. Кузин А.М. Роль природного радиационного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни. М.: Наука, 2002 г.

28. Рубин А.Б. Биофизика (биофизика клеточных процессов). М.: Кн. дом Университет, 2000 г.
29. Тарусов Б.Н. Первичные процессы лучевого поражения. Госатомиздат, 1962 г.