

А.Ф.Хлопцев. И.П.Тарасова

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОТДЕЛЕНИЙ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ**

УДК 614.876 (075,8)

ББК 51. 26я 73

X - 58

Автор: Старший преподаватель кафедры анатомии, физиологии и валеологии человека УО «ВГУ им. П.М. Машерова» А.Ф.Хлопцев, преподаватель кафедры анатомии, физиологии и валеологии человека УО «ВГУ им. П.М. Машерова» И.П.Тарасова.

Рецензент: Проректор УО «ВГУ им. П.М. Машерова» по учебной работе (ОЗО), кандидат пед. наук, доцент В.И. Турковский

Учебно-методический комплекс по радиационной безопасности для студентов ОЗО включает цели и задачи курса, рабочие планы, тематику лекций и практических занятий, планы семинарских занятий, вопросы к зачету, темы рефератов, краткий курс лекций, перечень литературы для самостоятельного изучения

Учебно-методический комплекс предназначен для преподавателей и студентов заочной формы обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методический комплекс по радиационной безопасности для студентов отделений заочного обучения разработан для специальностей «Математика. Информатика», «Русский язык и литература», «Белорусский язык и литература», «Физическая культура», «Физическая культура. Физическая реабилитация», «Физическая реабилитация и эрготерапия (эрготерапия)», «Изобразительное искусство», «Технология (технический труд, черчение)», «Правоведение».

В комплекс включены: цель и задачи изучения дисциплины, рабочие планы изучаемого курса по факультетам и специальностям, распределение часов по темам и вопросам занятий, тематика лекций и практических (семинарских) занятий, вопросы к зачету, планы семинарских занятий, темы рефератов и требования к рефератам, краткий курс лекций, список основной и дополнительной литературы для подготовки к занятиям и самостоятельному изучению дисциплины.

Учебно-методический комплекс дает возможность студентам заочной формы обучения ознакомиться с программой изучаемого курса, объемом материала, который необходимо знать для подготовки к зачету; сосредоточить внимание на основных вопросах курса.

Учебно-методический комплекс составлен на основании учебной программы «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность» утвержденной Министерством образования РБ 26 мая 1999г., регистр. №ТД-63 а/тип.

Каждый житель Республики Беларусь, особенно специалисты с высшим образованием, должны иметь представление о радиоактивности, свойствах ионизирующих излучений, дозиметрических величинах, единицах их измерения, организации дозиметрического контроля. Особое внимание нужно обратить на биологическое действие радиации на организм, знание ближайших и отдаленных последствий облучения. И, конечно, каждый должен знать мероприятия радиационной защиты как от внешнего, так и внутреннего облучения.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА «РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

«Радиационная безопасность» – научно-практическая учебная дисциплина, изучающая действие ионизирующих излучений на человека, основы радиационной защиты и обеспечение радиационной безопасности населения.

Цели преподавания дисциплины:

- дать студентам теоретические знания и выработать практические навыки, необходимые для выполнения своих профессиональных обязанностей и гражданского долга в условиях таких чрезвычайных ситуаци-

ях, как аварии на атомных электростанциях и других ядерных объектах; их действий в условиях радиоактивного загрязнения территории;

- дать сведения о процессах, вызываемых воздействием радиоактивных излучений на живые клетки, ткани и организм в целом;
- изучить возможные последствия аварий для населения на ядерных объектах;
- дать навыки применения полученных знаний для профилактики радиационных поражений.

Основными **задачами** изучения дисциплины являются:

- изучение возможных последствий на ядерных объектах Республики Беларусь и сопредельных государств для населения, хозяйственных объектов и окружающей среды;
- изучение Государственной системы защиты населения, хозяйственных объектов и окружающей среды;
- изучение способов оценки радиационной обстановки и мероприятий по радиационной безопасности и защите населения;
- изучение основ радиационной безопасности и радиационной экологии (источники облучения человека, их действие на организм, ближайшие и отдаленные последствия облучения, способы защиты от воздействия ионизирующих излучений);
- изучение мер безопасной жизнедеятельности при проживании на загрязненных радионуклидами территориях;
- приобретение студентами навыков работы с дозиметрическими приборами и навыков поведения в условиях аварий на радиационных объектах и в условиях радиационного загрязнения местности.

В результате изучения дисциплины

А. студенты должны **знать**:

- понятие о радиоактивности, типы радиоактивности;
- основные свойства ионизирующих излучений;
- основные дозовые величины, единицы их измерения, методы дозиметрических измерений;
- понятие об источниках радиации, путях поступления и типах распределения радионуклидов в организме;
- общее и местное действие излучений на человека, ближайшие и отдаленные последствия облучения;
- основы профилактики радиационных излучений и радиационной безопасности;
- формы хозяйствования на территориях, загрязненных радионуклидами.

Б. Студенты должны **уметь**:

- измерять активность проб внешней среды и продуктов питания;
- с помощью дозиметрических приборов определять уровень радиации на местности и получаемые дозы;
- проводить мероприятия по уменьшению поступления радионуклидов в организм через органы дыхания, а также с пищей и водой;
- правильно вести себя на территории, загрязненной радионуклидами (с целью уменьшения облучения и поступления радионуклидов в организм);
- проводить мероприятия по реабилитации территорий, загрязненных радионуклидами.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ ПО ФАКУЛЬТЕТАМ, СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ, КУРСАМ, СЕМЕСТРАМ, ВИДАМ ЗАНЯТИЙ

№ П/п	Факультет, Специальность	Курс	Семестр	Все- го Ча- сов	Из них		Зачет (се- местр)
					Лек- ции	Практ./ сем. занятия	
1	ХГФ Изобразительное искусство	1	2	10	10	-	2
2	ПФ Начальное Образование (5 лет)	2	3	10	10	-	4
3	ПФ Начальное Образование (3,5 года)	2	4	6	6	-	4
4	ПФ Музыкальное ис- кусство (музыка и пение)	4	7	4	4	-	7
5	ФФКиС Физическая Культура. Тре-	1	1	12	6	6	1

	нерская работа						
6	Юр.Ф Правоведение	1	1	12	6	6	1
7	Юр.Ф Государственное управление и экономика	1	1	12	6	6	1
8	МФ Математика. Информатика.	5	10	10	6	4	10
9	ФЛФ Русский язык и литература.	1	1	10	6	4	1
10	ФБФиК Белорусский язык и литерату- ра	1	1	10	6	4	1
11	ХГФ Технология (Технический труд, черчение)	4	7	10	6	4	7
12	ФФКиС Физическая Культура. Физическая Реабилитация.	1	2	8	6	2	2
13	ФФКиС Физическая Реабилитация и эрготерапия (эрготерапия)	1	2	8	6	2	2

Примечание:

Дополнительно запланировано проведение учебных занятий по курсу «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных обстоятельствах» по специальности «Технология, технический труд» – 10 часов лекционных

занятий, по специальности «Музыкальное искусство (музыка и пение)» – 4 часа лекционных занятий; «Правоведение», «Государственное управление и экономика» – 4 часа лекционных занятий и 6 часов практических занятий. Вопросы данного курса для этих специальностей включаются в зачет.

ПЕРЕЧЕНЬ РАБОЧИХ ПРОГРАММ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Для специальности Изобразительное искусство
Начальное образование (5 лет)
Факультет Художественно-графический
Педагогический

Содержание дисциплины

Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

П/п	Наименование тем	Содержание	Объем в часах
1	Основные представления о радиоактивности и свойствах ионизирующих излучений.	Строение атома, нуклиды, изотопы. Радиоактивность, типы радиоактивности. Ядерные и термоядерные реакции. Активность радионуклида, период полураспада. Характеристика корпускулярных и волновых излучений. Взаимодействие радиоактивных излучений с веществом. Характеристика основных дозиметрических величин. Основные методы дозиметрии, организация дозиметрического контроля.	2
2	Основные источники облучения человека. Радиация и биосфера.	Радиационный фон, характеристика космических излучений. Внешние источники радиации земного происхождения. Искусственный радиационный фон. Характеристика естественных и искусственных радионуклидов. Поведение радионуклидов в биосфере. Действие излучений на растения и животных.	2
3	Биологическое действие ионизирующих излучений на человека.	Пути поступления радионуклидов и их распределение в организме человека. Выведение радионуклидов из организма. Основные этапы действия ионизирующих излучений на биологические объекты. Радиационные повреждения на разных уровнях биологической организации организма. Внешнее и внутреннее облучение.	2

4	Клинические проявления действия ионизирующих излучений на человека	Классификация лучевых повреждений. Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых поражений. Действие больших доз радиации. Острая и хроническая лучевая болезнь. Ближайшие и отдалённые последствия облучения (соматические и генетические). Ионизирующее излучение и иммунитет.	2
5	Гигиенические аспекты радиационной безопасности.	Радиационная безопасность, ее принципы. Дозовые пределы облучения. Нормативные документы радиационной безопасности. Пути снижения внешнего и внутреннего облучения. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в продукцию растениеводства и животноводства.	2

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Для специальности
Факультет

Начальное образование (3,5года)
Педагогический

Содержание дисциплины

Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объём в часах
1	Основные представления о радиоактивности и свойствах ионизирующих излучений	Строение атома, атомного ядра. Радиоактивность, типы радиоактивности (альфа-, бета- распад). Закон радиоактивного распада, единицы активности, виды активности. Период полураспада. Ионизирующие излучения, их основные свойства. Характеристика ионизирующих излучений (альфа-, бета-, гамма и др.) Взаимодействие различных видов излучений с веществом. Характеристика основных дозиметрических величин. Основные методы дозиметрии, организация дозиметрического контроля.	2
2	Биологическое действие ионизирующих излучений на человека	Основные источники облучения человека (космическое излучение, естественные радионуклиды земного происхождения). Миграция радионуклидов в природе и действие их на растительный и живот-	2

		ный мир. Пути поступления радионуклидов в организм человека и типы распределения в организме. Этапы действия радиации на биологические объекты. Действие радиации на различных уровнях биологической организации организма. Внешнее и внутреннее облучение.	
3	Клинические проявления действия ионизирующих излучений на человека	Классификация лучевых повреждений. Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых повреждений. Действие больших доз радиации (острая и хроническая лучевая болезнь). Особенности действия малых доз радиации. Ближайшие и отдаленные последствия облучения (соматические и генетические). Радиационная безопасность, ее принципы. Пути снижения внешнего и внутреннего облучения. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в продукцию растениеводства и животноводства.	2

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Для специальности Музыкальное искусство (музыка и пение)
Факультет Педагогический

Содержание дисциплины

Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объём в часах
1	Основные представления о радиоактивности, свойствах ионизирующих излучений, источниках облучения человека.	Понятие о строении атома, ядерных и термоядерных реакциях. Радиоактивность, типы радиоактивности. Характеристика корпускулярных и волновых излучений. Основные дозовые величины и методы дозиметрии. Основные источники облучения человека. Поведение радионуклидов в биосфере. Действие ионизирующих излучений на растения и животных.	2
2	Биологическое	Пути поступления радионуклидов в ор-	2

	действие ионизирующих излучений на человека. Основы радиационной безопасности.	организм человека и типы их накопления в организме. Радиационные повреждения на различных уровнях биологической организации организма. Прямое и косвенное действие радиации. Внешнее и внутреннее облучение. Классификация лучевых повреждений. Действие больших доз радиации. Ближайшие и отдаленные последствия облучения. Радиационная безопасность, ее принципы. Защита от внешнего и внутреннего облучения. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в продукцию растениеводства и животноводства. Обеспечение жизнедеятельности на загрязненной радионуклидами территории.	
--	--	---	--

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Для специальности

Физическая культура

Правоведение

Государственное управление и экономика

Факультет

Физической культуры и спорта

Юридический

Содержание дисциплины

Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объём в часах
1	Основные представления о радиоактивности и свойствах ионизирующих излучений	Строение атома, атомного ядра. Стабильные и радиоактивные изотопы. Понятие о радиоактивности. Типы ядерных превращений. Ядерные и термоядерные реакции. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Понятие об ионизирующих излучениях. Характеристика корпускулярных и волновых излучений. Взаимодействие радиоактивных излучений с веществом.	2
2	Биологическое действие ионизирующих излу-	Основные источники облучения (космическое излучение, естественные радионуклиды земного происхождения).	2

	чений на человека	Миграция радионуклидов в природе и действие их на растительный и животный мир. Пути поступления радионуклидов в организм человека и типы распределения в организме. Этапы действия радиации на биологические объекты. Действие радиации на различных уровнях биологической организации организма.	
3	Клинические проявления действия ионизирующих излучений на человека	Классификация лучевых повреждений. Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых повреждений. Ближайшие и отдаленные последствия облучения (соматические и генетические). Действие больших доз радиации (острая и хроническая лучевая болезнь). Особенности действия малых доз радиации.	2

Практические и семинарские занятия, их содержание и объём в часах

№ п/п	Практические и Семинарские занятия	Содержание	Объём в часах
1	Принципы и методы дозиметрических измерений	Характеристика основных дозиметрических величин (экспозиционной, поглощённой, эквивалентной доз), их единиц. Основные методы регистрации излучений и их характеристика (ионизационный, химический, фотографический и др.). Дозиметрическая аппаратура и дозиметрический контроль. Дозовые границы облучения.	2
2	Гигиенические аспекты радиационной безопасности	Авария на ЧАЭС и особенности радиоактивного загрязнения местности. Государственная программа ликвидации последствий аварии. Нормативные документы по радиационной безопасности. Радиационная безопасность и ее принципы. Пути снижения внешнего и внутреннего облучения. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в продукцию рас-	

		тениеводства и животноводства.	
3	Основы радиационной безопасности (семинар)	Основные представления о радиоактивности и свойствах ионизирующих излучений. Понятие о радиоактивном фоне, естественных и искусственных источниках радиации. Понятие о дозах и методах их измерения. Основные пути поступления и типы распределения радионуклидов в организме. Биологическое действие ионизирующих излучений на человека. Ближайшие и отдаленные последствия облучения. Мероприятия по радиационной защите и обеспечению радиационной безопасности человека.	2

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Для специальности

Математика. Информатика
Русский язык и литература
Белорусский язык и литература
Технология (технический труд, черчение)

Факультет

Математический
Филологический
Белорусской филологии и культуры
Художественно-графический

Содержание дисциплины

Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

П/п	Наименование тем	Содержание	Объём в часах
1	Основные представления о радиоактивности и свойствах ионизирующих излучений	Строение атома, атомного ядра. Радиоактивность, типы радиоактивности (альфа-, бета-распад). Закон радиоактивного распада, единицы радиоактивности, виды активности, Период полураспада. Ионизирующие излучения, их основные свойства. Характеристика ионизирующих излучений (альфа-, бета-, гамма-излучений и др.). Взаимодействие различных видов излучений с веществом.	2
2	Биологическое действие ионизирующих излучений на челове-	Основные источники облучения человека (космическое излучение, естественные источники радиации земного происхождения). Миграция радионуклидов в при-	2

	ка.	роде и действие их на растительный и животный мир. Пути поступления радионуклидов в организм человека и типы распределения в организме. Этапы действия радиации на биологические объекты. Действие радиации на различных уровнях биологической организации организма.	
3	Клинические проявления действия ионизирующих излучений на человека	Классификация лучевых повреждений. Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых повреждений. Ближайшие и отдалённые последствия облучения (соматические и генетические). Действие больших доз радиации (острая и хроническая лучевая болезнь). Особенности действия малых доз радиации.	2

Практические и семинарские занятия, их содержание и объем в часах

П/п	Практические и Семинарские занятия	Содержание	Объём в часах
1	Принципы и методы дозиметрических измерений	Характеристика основных дозиметрических величин (экспозиционной, поглощённой, эквивалентной доз), их единиц Основные методы регистрации излучений и их характеристика (ионизационный, химический, фотографический и др.). Дозиметрическая аппаратура и дозиметрический контроль. Дозовые границы облучения.	2
2	Гигиенические аспекты радиационной безопасности	Авария на ЧАЭС и особенности радиоактивного загрязнения местности. Государственная программа ликвидации последствий аварии. Радиационная безопасность и ее принципы. Нормативные документы по радиационной безопасности. Пути снижения внешнего и внутреннего облучения. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в продукцию растениеводства и животноводства.	2

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Для специальности

Физическая культура. Физическая реабилитация
Физическая реабилитация и эрготерапия (эрготерапия)
Факультет Физической культуры и спорта

Содержание дисциплины

Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объём в часах
1	Основные представления о радиоактивности и свойствах ионизирующих излучений	Строение атома, атомного ядра. Радиоактивность, типы радиоактивности (альфа-, бета- распад). Закон радиоактивного распада, единицы активности, виды активности. Период полураспада. Ионизирующие излучения, их основные свойства. Характеристика ионизирующих излучений (альфа-, бета-, гамма- и др.) Взаимодействие различных видов излучений с веществом. Характеристика основных дозиметрических величин. Основные методы дозиметрии, организация дозиметрического контроля.	2
2	Биологическое действие ионизирующих излучений на человека	Основные источники облучения человека (космическое излучение, естественные радионуклиды земного происхождения). Миграция радионуклидов в природе и действие их на растительный и животный мир. Пути поступления радионуклидов в организм человека и типы распределения в организме. Этапы действия радиации на биологические объекты. Действие радиации на различных этапах биологической организации организма.	2
3	Клинические проявления действия ионизирующих излучений на человека	Классификация лучевых повреждений. Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых повреждений. Ближайшие и отдалённые последствия облучения (соматические и генетические). Действие больших доз радиации (острая и хроническая лучевая болезнь). Особенности действия малых доз радиации.	2

		Радиационная безопасность, ее принципы. Пути снижения внешнего и внутреннего облучения. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в продукцию растениеводства и животноводства.	
--	--	---	--

Практические и семинарские занятия, их содержание и объём в часах

№ п/п	Практические и Семинарские занятия	Содержание	Объём в часах
1	Основы радиационной безопасности	Основные представления о радиоактивности. Основные свойства ионизирующих излучений. Основные источники ионизирующих излучений, миграция радионуклидов в природе. Биологическое действие ионизирующих излучений на человека. Ближайшие и отдалённые последствия облучения. Соматические и генетические поражения. Характеристика основных дозиметрических величин. Основные методы дозиметрии, организация дозиметрического контроля.	2

ПЛАН СЕМИНАРСКОГО ЗАНЯТИЯ

Тема: Основы радиационной безопасности

Учебные вопросы:

1. Основные представления о радиоактивности и свойствах ионизирующих излучений.
2. Понятие о дозах и методах их измерения.
3. Понятие о радиоактивном фоне, естественных и искусственных источниках радиации.
4. Основные пути поступления и типы распределения радионуклидов в организме.
5. Биологическое действие ионизирующих излучений на человека.
6. Ближайшие и отдаленные последствия облучения.

7. Мероприятия по радиационной защите и обеспечению радиационной безопасности человека.

Рефераты:

1. Радиация вокруг нас.
2. Радиация и здоровье человека.

Литература

1. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б.. Асновы радыяцыйнай бяспекі.: Вучэб. дапаможнік. Мн., 1995.
2. Гергалаў В.І., Пятроў Я.П. Радыяцыя, жыццё і навакольнае асяроддзе: Вучэб. дапам. Для 10-11 кл. агульнаадукац. шк. Мн., 1994.
3. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. Мн., 1991.
4. Курс радиационной безопасности: Учеб. / Ветрова В.Т., Колесник А.В., Неманова И.Т., Чобот Г.М. Мн., 1995.
5. Радиобиология / А.Д.Белов, Н.П. Лысенко и др. / Под ред. А.Д. Белова. М., 1999.
6. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность: Учебное пособие, Витебск, 2003.
7. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность: Учебно-методический комплекс для студентов отделения заочного обучения, Витебск, 2004.

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ.

1. Основы ядерной физики (строение атома, нуклиды, изотопы).
2. Основные представления о радиоактивности.
3. Ионизирующие излучения, их основные свойства.
4. Источники облучения человека.
5. Основы дозиметрии ионизирующих излучений.
6. Основные дозовые величины.
7. Пути поступления и распределения радионуклидов в организме.
8. Биологическое действие ионизирующих излучений.
9. Мероприятия по радиационной защите и обеспечению радиационной безопасности.
10. Аварии на ЧАЭС и особенности радиоактивного загрязнения местности Республики Беларусь.
11. Нормы и правила радиационной безопасности.
12. Социально-экономические, медицинские, экологические и др. последствия аварии на ЧАЭС.
13. Ядерная энергетика, перспективы развития.
14. Радиация вокруг нас.
15. Безопасное поведение на территориях, загрязненных радионуклидами.
16. Радиация и здоровье человека.
17. Питание и радиация.
18. Гигиенические аспекты радиационной безопасности.

19. Обеспечение безопасной жизнедеятельности на территориях, загрязненных радионуклидами.
20. Медицинские последствия облучения ионизирующими излучениями.
21. Ведение сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения территорий.
22. Радиоактивность и радиационный фон.
23. Радиационная безопасность и защита населения от действия радиации.
24. Кругооборот радионуклидов в природе.
25. Основные законодательные акты по радиационной безопасности и защите населения от ионизирующих излучений.
26. Последствия радиационного загрязнения местности в Р Б.
27. Социально-экономические последствия Чернобыльской катастрофы.
28. Экономические и медицинские последствия аварии на ЧАЭС.
29. Мероприятия по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.
30. Мероприятия по радиационной защите и обеспечению радиационной безопасности населения.
31. Основы рационального питания населения на загрязненной территории.
32. Государственная программа преодаления последствий аварии на ЧАЭС на 2000-2005г. и на период до 2010г.
33. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 2000).
34. Радиационный стресс и его последствия.
35. Понятие о стрессе, особенности радиационного стресса у населения пострадавшего на аварии на ЧАЭС.

Требования к реферату:

Объем реферата не менее 10 стр. Реферат должен быть выполнен на стандартной белой бумаге формата А-4 и написан четким почерком чернилами (пастой) одного цвета, либо напечатан на пишущей машинке или с помощью компьютерных средств.

На титульном листе сверху указывается название учебного заведения, кафедры; в центре название учебной дисциплины, тема реферата; справа внизу – фамилия, инициалы студента, факультет, курс, № группы. На второй странице - план реферата: введение, основная часть и рассматриваемые в ней вопросы, заключение (вывод), список используемых литературных источников. Реферат может быть оформлен рисунками, графиками, таблицами и т.д. Список используемых литературных источников прилагается в конце реферата.

Общие требования к реферату: четкость и логическая последовательность изложения материала, краткость и ясность формулировок, конкретность выводов. Реферат представляется преподавателю накануне зачета. Номера тем определяются по порядковому номеру в журнале учета посещаемости учебных занятий.

Вопросы к зачёту
по курсу «РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»
на 2005-2006 уч. год
для студентов заочной формы обучения

факультет белорусской филологии и культуры по специальности «Белорусский язык и литература» – 1 семестр;

филологический факультет по специальности «Русский язык и литература» – 1 семестр;

математический факультет по специальности «Математика, информатика» – 10 семестр;

юридический факультет по специальности «Правоведение» – 1 семестр;

художественно-графический факультет по специальностям «Изобразительное искусство» – 2 семестр; «Изобразительное искусство и черчение» – 9 семестр;

факультет физической культуры и спорта по специальностям: «Физическая культура, тренерская работа» – 2 семестр; «Физическая реабилитация и эрготерапия (эрготерапия)» – 1 семестр.

1. Строение атома, нуклиды, изотопы.
1. Энергия связи ядер. Стабильные и радиоактивные нуклиды.
2. Радиоактивность, типы радиоактивности.
3. Активность радионуклидов, единицы активности. Виды активности.
4. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада.
5. Ядерные и термоядерные реакции.
6. Общие свойства ионизирующих излучений. Потенциал ионизации.
7. Характеристика альфа-, бета-, гамма- излучений.
8. Основные механизмы взаимодействия излучений с веществом.
9. Экспозиционная доза излучения, ее мощность, единицы измерения.
10. Поглощенная доза, единицы измерения.
11. Эквивалентная доза, единицы ее измерения. Коэффициент качества излучений.
12. Эффективная эквивалентная доза, единицы ее измерения. Коэффициент радиационного риска.

13. Другие дозовые величины (коллективная эффективная эквивалентная доза, ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза и др.).
14. Переходные коэффициенты (от поверхностной активности к мощности экспозиционной дозы и эквивалентной дозе).
15. Основные методы регистрации излучений.
16. Ионизационный метод регистрации излучений.
17. Химический и фотографический методы дозиметрии.
18. Сцинтилляционный и люминесцентный методы дозиметрии.
19. Дозиметрическая аппаратура, ее классификация и краткая характеристика.
20. Дозиметрический контроль.
21. Характеристика космических излучений.
22. Внешние источники радиации земного происхождения.
Радиоактивные семейства, их характеристика.
23. Радионуклиды земного происхождения, не входящие в семейства.
24. Дозиметрический контроль.
25. Искусственная радиоактивность, основные компоненты искусственного радиационного фона.
26. Характеристика основных естественных радионуклидов (уран, торий, радий, радон, калий, углерод, тритий).
27. Характеристика основных искусственных радионуклидов (иод-131, цезий-137, стронций-90, плутоний-239, америций-241).
28. Миграция радионуклидов в природе, факторы ее определяющие.
29. Радионуклиды и растительный мир.
30. Поступление радионуклидов в организм гидробионтов.
31. Действие излучений на организм растений и животных.
32. Внешнее и внутреннее облучение.
33. Понятие о пищевых цепочках.
34. Пути поступления радионуклидов в организм человека.
35. Типы распределения радионуклидов в организме.
36. Биологическое действие радиации на человека, этапы действия радиации.
37. Прямое и косвенное действие радиации.
38. Радиационные повреждения на различных уровнях биологической организации организма.
39. Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых поражений.
40. Ближайшие и отдаленные последствия облучения человека.
41. Острая лучевая болезнь, её формы, степени тяжести, периоды течения.
42. Хроническая лучевая болезнь, ее характеристика.
43. Генетические повреждения, вызываемые ионизирующими излучениями.
44. Радиационная безопасность, ее принципы и мероприятия.
45. Нормы радиационной безопасности.
46. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами.
47. Пути снижения внешнего облучения.
48. Фармакохимическая защита от ионизирующих излучений.

49. Пути снижения внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радионуклидов.
50. Пути снижения внутреннего облучения при поступлении радионуклидов с пищей и водой.
51. Мероприятия по ускорению выведения радионуклидов из организма.
52. Пути снижения содержания радионуклидов в продукции растениеводства.
53. Мероприятия по уменьшению содержания радионуклидов в продукции животноводства.
54. Последствия аварии на ЧАЭС (экономические, социальные, медицинские и др.).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСА “РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ”

ЛЕКЦИЯ № 1.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ И СВОЙСТВАХ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

1. Строение атома, нуклиды, изотопы

Атом является основным структурным элементом всех веществ. **Атом** - частица вещества, наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его химических свойств. **Химический элемент** – это определенный вид атомов с одинаковым положительным зарядом ядра. Известно 108 элементов, из них 90 существует в природе, а около 70 содержатся в организме человека.

Все атомы химических элементов имеют одинаковую структуру. Они состоят из положительно заряженного ядра, где сконцентрирована практически вся масса атома (99,95%) и отрицательно заряженных электронов, образующих электронную оболочку вокруг ядра. В целом атом электрически нейтрален. Электронная оболочка имеет электронные слои. Электронные слои образуют электроны, которые движутся в орбиталях близкого размера. Электронные слои называют также энергетическими уровнями. Энергетические уровни нумеруют, начиная от ядра цифрами – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 или обозначают буквами – K, L, M, N, O, P, G. Наибольшее число электронов на энергетическом уровне равно удвоенному квадрату номера уровня $N = 2n^2$ Целое число n , обозначающее номер уровня, называется главным квантовым числом.

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, имеющих общее название нуклон. В ядре протоны и нейтроны могут превращаться друг в друга. Диаметр ядра атома около 10^{-13} - 10^{-12} см и составляет 0,0001 диаметра атома.

Протон (p) - элементарная частица, ядро атома водорода. Масса покоя протона равна $1,6725 \times 10^{-24}$ г, она в 1836 раз больше массы покоя электрона. Электрический заряд протона положительный и равен $1,66 \times 10^{-19}$ Кл (кулона).

Каждый атом любого элемента содержит в ядре определенное число протонов. Это число постоянное для данного элемента и определяет его физические и химические свойства. Число протонов в атомном ядре определяет заряд

ядра (зарядовое число Z) и порядковый номер элемента в периодической системе Д.И. Менделеева (атомный номер элемента).

Нейтрон (n) - электрически нейтральная частица с массой $1,6749 \times 10^{-24}$ г, в 1839 раз больше массы электрона. Суммарное число протонов и нейтронов в ядре называют массовым числом (атомной массой – A). Число нейтронов, входящих в состав ядра, равно разности между массовым числом и зарядовым числом ($N = A - Z$).

Электрон (e^-) – элементарная частица, носитель наименьшей массы – $0,91095 \times 10^{-27}$ г и наименьшего электрического заряда – $1,6021 \times 10^{-19}$. Это отрицательно заряженная частица. Число электронов в атоме равно числу протонов в ядре, т.е. атом электрически нейтрален.

Позитрон (e^+) – элементарная частица с положительным электрическим зарядом, античастица по отношению к электрону. Масса электрона и позитрона равны, а электрические заряды равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку.

Различные типы ядер называют нуклидами. Нуклид – вид атомов с данными числами протонов и нейтронов. Существуют разновидности атомов одного и того же элемента, имеющие одинаковый заряд ядер, но различное массовое число (одинаковое число протонов, но различное число нейтронов), которые называются **изотопами**.

При обозначении изотопов обычно пользуются символом элемента, указывая слева вверху массовое число A , а слева внизу - атомный (порядковый) номер Z (${}^A_Z X$). Порядковый номер иногда опускают, так как символ элемента вполне определяет его место в периодической системе.

Большинство химических элементов имеют по несколько изотопов. Так, у водорода имеется три изотопа: ${}^1_1\text{H}$ – протий, ${}^2_1\text{H}$ – дейтерий, ${}^3_1\text{H}$ – тритий; у урана – 11 изотопов.

Термин «изотопы» следует применять только в тех случаях, когда речь идет об атомах одного и того же элемента, например, изотопы углерода ${}^{12}_6\text{C}$ и ${}^{14}_6\text{C}$. Если подразумеваются атомы разных химических элементов, рекомендуется использовать термин «нуклиды», например, радионуклиды ${}^{90}\text{Sr}$, ${}^{131}\text{I}$, ${}^{137}\text{Cs}$.

2. Энергия связи ядер. Стабильные и радиоактивные нуклиды

В ядре существуют Кулоновские силы отталкивания между одноименно заряженными частицами (протонами) и ядерные силы притяжения, действующими между нуклонами (протоном и протоном, нейтроном и нейтроном, протоном и нейтроном). Ядерные силы притяжения короткодействующие, они значительны только на очень малых расстояниях, сравнимых с поперечником самих ядерных частиц (10^{-13} см). С увеличением расстояния между ядерными частицами ядерные силы очень быстро уменьшаются и становятся практически равными нулю.

Ядерные силы обладают свойством насыщения, т.е. каждый нуклон взаимодействует только с ограниченным числом соседних нуклонов. Поэтому при увеличении числа нуклонов в ядре ядерные силы значительно ослабевают. Этим объясняется меньшая устойчивость ядер тяжелых элементов, в которых содержится значительное количество протонов и нейтронов.

Чтобы разделить ядро на составляющие его протоны и нейтроны и удалить их из поля действия ядерных сил, надо совершить работу, т.е. затратить энергию. Эту энергию называют энергией связи ядра. Энергия связи частиц в ядрах составляет несколько миллионов электрон-вольт (эВ). Например, энергия связи ядра гелия составляет 28 МэВ, урана – 1800 МэВ.

Средняя энергия связи, приходящаяся на один нуклон, называется энергией связи, она равна 7-8,5 МэВ.

В зависимости от того, какие силы в ядре преобладают, ядро является или стабильным (устойчивым) или нестабильным (радиоактивным). Устойчивость ядра зависит от соотношения количества протонов и нейтронов в ядре. Количество протонов в ядре всегда равно или меньше количества нейтронов. В начале и в середине таблицы Д.И.Менделеева количество протонов и нейтронов в основном равно и поэтому эти ядра чаще стабильны. Чем меньше в ядре нейтронов, тем ядро устойчивее. С увеличением номера и увеличением количества нейтронов по сравнению с протонами ядра становятся менее устойчивыми. У элементов с атомным номером от 84 до 92 ядерные силы уже не способны обеспечить полную устойчивость ядер, такие элементы оказываются нестабильными: ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{238}U и т.д.

Стабильность понижается не только в сторону более тяжелых, но и в сторону более легких элементов: кислород-16, 17, 18 – стабильный, а кислород-13, 14, 15 – нестабильный.

Таким образом, низкой стабильностью отличаются ядра с недостаточным и излишним содержанием нейтронов. Наименее устойчивыми являются также ядра с нечетным количеством нейтронов. Ядра с четным количеством протонов и четным количеством нейтронов являются наиболее устойчивыми.

3. Радиоактивность, типы радиоактивности

Радиоактивность – это свойство ядер определенных элементов самопроизвольно (т.е. без каких-либо внешних воздействий) превращаться в ядра других элементов с испусканием особого рода излучений, которые называют радиоактивными излучениями. Само явление называется радиоактивным распадом.

Радиоактивность, наблюдающаяся в ядрах, существующих в природных условиях, называют естественной радиоактивностью. Аналогичные процессы, происходящие в искусственно полученных веществах, называют искусственной радиоактивностью. Изотопы, обладающие радиоактивностью, называют радиоактивными изотопами. Ядра всех изотопов химических элементов называют нуклидами, а ядра радиоактивных изотопов – радионуклидами. Иногда эти понятия используют для обозначения любого из атомов, т.е. радионуклид – это радиоактивные атомы с данным массовым числом и атомным номером.

Вещества, содержащие в своем составе радионуклиды, называют радиоактивными веществами. Элементы, состоящие только из радиоактивных изотопов, называются радиоактивными элементами (это элементы с атомными номерами 43, 61, 84-108).

В зависимости от того, какие излучения испускаются при радиоактивном распаде различают альфа- и бета-распад.

Альфа-распад – это такой тип ядерных превращений, когда из ядра неустойчивого элемента испускается альфа-частица, которая представляет собой ядро атома гелия (2 протона и 2 нейтрона). Заряд образующегося элемента уменьшается на 2, массовое число на – 4.

Альфа распад характерен для естественных радиоактивных элементов с большим порядковым номером, ему подвергаются более 10% радиоактивных изотопов.

При бета-распаде ряд естественных или искусственных радиоактивных изотопов испускают электроны или позитроны.

Электронный бета-распад – характерен для естественных и искусственных радионуклидов с избытком нейтронов, ему подвергаются около 46% всех радиоактивных изотопов. При этом один из нейтронов превращается в протон, а заряд ядра и соответственно атомный номер элемента увеличивается на единицу, массовое число остается без изменений.

Позитронный бета-распад – наблюдается у некоторых искусственных радионуклидов с избытком протонов, ему подвергаются около 11% радиоактивных изотопов, находящихся в первой половине таблицы Д.И. Менделеева с $Z < 45$. При этом один из протонов превращается в нейтрон, а ядро испускает позитрон. Заряд ядра и соответственно атомный номер уменьшается на единицу, а массовое число остается без изменений.

Позитрон, вылетев из ядра, срывает с оболочки атома «лишний» электрон или взаимодействует со свободным электроном, образуя пару «позитрон-электрон», которая мгновенно превращается в два гамма-кванта.

Электронный захват. Ядро атома захватывает электрон из ближайшего к ядру энергетического К-уровня (электронный К-захват) или L-уровня (реже в 100 раз). Один из протонов ядра нейтрализуется этим электроном, превращаясь в нейтрон. Порядковый номер нового ядра становится на единицу меньше, а массовое число не изменяется. Освободившееся место, которое занимал в К-уровне захваченный электрон заполняется электроном из более отдаленных энергетических уровней. Избыток энергии, освободившейся при таком переходе, испускается атомом в виде характеристического рентгеновского излучения.

Электронный К-захват характерен для 25% всех радиоактивных ядер, но в основном для искусственных радиоактивных изотопов с $Z = 45-105$. Только три естественных радионуклида претерпевают К-захват (калий-40, лантан-139, лютеций-176).

4. Активность радионуклида, Единицы и виды активности

Количество радиоактивного вещества обычно определяют не единицами массы (г, мг), а активностью данного вещества. Активность вещества определяется интенсивностью или скоростью распада его ядер (числом распадов ядер в единицу времени). Активность возрастает с увеличением количества радиоактивного вещества.

За единицу активности в Международной системе единиц (СИ) принят 1 распад в секунду (расп/с). Этой единице присвоено наименование беккерель (Бк). Внесистемной единицей является кюри (Ки). Кюри – это такое количество любого радиоактивного вещества, в котором число радиоактивных распадов в

секунду равно $3,7 \times 10^{10}$. Единица кюри соответствует активности 1г радия. Так как кюри очень большая величина, то обычно употребляют дробные производные величины: мКи – милликюри (тысячная доля кюри) – $3,7 \times 10^7$ расп/с; мкКи – микрокюри (миллионная доля кюри) – $3,7 \times 10^4$ расп/с.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}; 1 \text{ Бк} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки}.$$

На практике часто пользуются числом распадов в минуту. Тогда единица радиоактивности кюри и дробные производные от нее принимают следующие значения:

$$1 \text{ Ки} = 2,22 \times 10^{12} \text{ расп/мин}$$

$$1 \text{ мКи} = 2,22 \times 10^9 \text{ расп/мин}$$

$$1 \text{ мкКи} = 2,22 \times 10^6 \text{ расп/мин}$$

При измерении активности радиоактивного образца ее обычно относят к массе, объему, площади поверхности или длине. Различают следующие **виды** активности радионуклида. **Удельная активность** – это активность, приходящаяся на единицу массы вещества – Бк/кг, Ки/кг. **Объемная активность** – это активность, приходящаяся на единицу объема – Бк/л, Ки/л, Бк/м³, Ки/м³. В случае распределения радионуклидов на поверхности активность называется **поверхностной** (активность, отнесенная к единице поверхности) – Бк/м², Ки/км². **Линейная активность** радионуклида – это отношение активности радионуклида, содержащейся на длине образца, к его длине.

Массу в граммах при известной активности (например, 1Ки) радионуклида определяют по формуле: $m = k \times A \times T^{1/2} \times a$, где m – масса в граммах, A – атомная масса, $T^{1/2}$ – период полураспада в секундах, a – активность в кюри или беккерелях, k – константа, зависящая от единицы, в которой дана и активность. При активности в беккерелях константа равна $2,4 \times 10^{-24}$, при активности в кюри – $8,86 \times 10^{-14}$.

Рассчитаем массу ^{131}J с периодом полураспада 8,05 дней для создания активности в 1Ки. $m = 8,86 \times 10^{-14} \times 131 \times 8,05 \times 24 \times 3600 \times 1 = 0,000008$ г. Для стронция-90 масса равна 0,0073 г, плутония-239 – 16.3 г.

Можно вычислить активность в беккерелях или кюри радионуклида при известной его массе. $A_0 = l \times m / (A \times T^{1/2})$, где l – параметр, обратный константе « k », A – атомная масса, $T^{1/2}$ – период полураспада в секундах. При активности в беккерелях $l = 4,17 \times 10^{23}$, при активности в кюри $l = 1,13 \times 10^{13}$.

Так активность 32,6 г плутония равно:

$$a_0 = 1,13 \times 10^{13} \times 32,6/239 \times 24300 \times 365 \times 24 \times 3600 \text{ Ки}$$

$$a_0 = 4,17 \times 10^{23} \times 32,6/239 \times 24300 \times 365 \times 24 \times 3600 = 7,4 \times 10^{10} \text{ Бк}$$

5. Закон радиоактивного распада. Период полураспада

Количество любого радиоактивного изотопа со временем уменьшается вследствие радиоактивного распада. Для каждого радиоактивного изотопа средняя скорость распада его ядер постоянна, неизменна и характерна только для данного изотопа.

Количество радиоактивных атомов какого-либо элемента, распадающихся за промежутки времени пропорционально общему количеству имеющихся радиоактивных ядер

$dN = -\lambda \times N \times dt$, где dN – количество распадающихся ядер, dt – промежуток времени, N – количество имеющихся ядер, $-\lambda$ – коэффициент пропорциональности (постоянная радиоактивного распада),

Постоянная радиоактивного распада показывает вероятность распада атомов радиоактивного вещества в единицу времени, характеризует долю атомов данного радионуклида, распадающихся в единицу времени, т.е. постоянная радиоактивного распада характеризует относительную скорость распада ядер данного радионуклида. Знак минус ($-\lambda$) показывает, что количество радиоактивных ядер убывает со временем. Постоянную распада выражают в обратных единицах времени: s^{-1} , min^{-1} и т. д. Величину, обратную постоянной распада ($\tau = 1/\lambda$), называют средней продолжительностью жизни ядра.

Основной закон радиоактивности распада устанавливает, что за единицу времени распадается всегда одна и та же доля нераспавшихся ядер данного радионуклида. Математически закон радиоактивного распада выражается в виде формулы: $N_t = N_0 \times e^{-\lambda t}$, где N_t – количество радиоактивных ядер, остающихся по прошествии времени t ; N_0 – исходное количество радиоактивных ядер в момент времени t ; e – основание натуральных логарифмов ($e=2,72$); $-\lambda$ – постоянная радиоактивного распада, t – промежуток времени.

По этой формуле можно рассчитать число нераспавшихся радиоактивных атомов в данный момент времени.

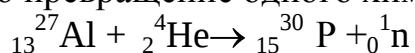
Для характеристики скорости распада радиоактивных элементов на практике пользуются вместо постоянной распада периодом полураспада.

Период полураспада ($T^{1/2}$) – это время, в течение которого распадается половина исходного количества радиоактивных ядер. Период полураспада – величина строго индивидуальная для каждого радиоизотопа. У одного и того же элемента могут быть изотопы с разным периодом полураспада. Имеются изотопы с периодом полураспада от долей секунды до миллиардов лет. Период полураспада для полония-214 равен $1,6 \times 10^{-4} s$, кадмия-113 – $9,3 \times 10^{15}$ лет. Радиоактивные элементы подразделяются на короткоживущие ($T^{1/2}$ исчисляется часами и днями) – родон-220 – 54,5с, висмут-214 – 19,7 мин, иттрий-90 – 64час, стронций-89 – 50,5 дня и долгоживущие ($T^{1/2}$ исчисляется годами) – радий-226 – 1600 лет, плутоний-239 – 24390 лет, калий-40 – $1,32 \times 10^9$ лет.

Из элементов, выброшенных при аварии на ЧАЭС отметим период полураспада следующих элементов: йод-131 – 8,06 дня, цезий-137 – 30 лет, стронций-90 – 29,12 лет, плутоний-241 – 14,4 года, америций-241 – 432 года.

6. Ядерные и термоядерные реакции

Ядерные реакции – это превращения ядер атомов, вызванные воздействием на них элементарных частиц или других ядер. В результате этих реакций возможно превращение одного химического элемента в другой.



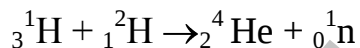
Особый практический интерес представляют цепная реакция деления ядер урана или плутония и реакции синтеза легких ядер. Так под действием медленных нейтронов происходит **самопроизвольное** (спонтанное) **деление ядер** радиоактивных элементов с большими атомными массами (урана-235, плутония-239 и др.). При делении урана-235 образуются осколки деления, ко-

торые представляют собой ядра элементов со средними массовыми числами в соотношении 2:3, а также 2-3 нейтрона и гамма-излучение. При этом выделяется значительная энергия. Каждый из образовавшихся нейтронов способен вызвать новый акт деления и т.д. Количество образующихся нейтронов нарастает в геометрической прогрессии – возникает цепная реакция деления. Наименьшее количество вещества, в котором возможна цепная ядерная реакция деления называется критической массой. Для урана-235 это десятки кг, урана-233 – 5-6 кг, для калифорния – 1г.

Цепная реакция деления используется при устройстве атомной бомбы. Ядерный заряд бомбы представляет 2 части урана-235, каждая с докритической массой. При взрыве обычного взрывчатого вещества обе части соединяются, давая сверхкритическую массу. Под действием источника нейтронов начинается цепная реакция деления. Всего смесь продуктов деления содержит более 200 изотопов 36 элементов.

При использовании цепной реакции деления в ядерных реакторах АЭС создаются такие условия, когда из образующихся при делении урана нейтронов только один вызывает следующий акт деления. Количество делящихся в каждый момент ядер будет примерно одинаковым и количество выделяющейся энергии будет поддерживаться на каком-то определенном уровне, 1г урана дает такое же количество энергии, как 2,5 т каменного угля.

Термоядерные реакции. К ним относятся реакции синтеза тяжелых ядер из более легких. При этих условиях кинетическая энергия ядер достаточна для преодоления их кулоновских сил отталкивания. Ядра легких элементов сближаются на очень малые расстояния и объединяются в ядра более тяжелых элементов. Примером такой реакции является синтез ядер гелия из ядер дейтерия и трития



На основе этой реакции устроена водородная бомба. Необходимая для начала этой реакции температура обеспечивается реакцией деления ядер урана-235, которая выполняет роль своеобразного запала. В водородной (термоядерной) бомбе термоядерная реакция носит неконтролируемый характер. Осуществить управляемую термоядерную реакцию для получения энергии в мирных целях пока не удастся.

7. Общие свойства ионизирующих излучений. Потенциал ионизации

Радиация (излучение) – распространение энергии в форме волн или частиц. Свет, ультрафиолетовые лучи, микроволны, радиоволны и другие излучения представляют собой разновидность радиации. Часть излучений получила название ионизирующих благодаря своей способности прямо или косвенно вызывать ионизацию окружающей среды.

Различают два типа ионизирующих излучений: корпускулярное и электромагнитное. Корпускулярные излучения представляют собой поток частиц (корпускул), которые характеризуются определенной массой, зарядом и скоростью, это электроны, позитроны, протоны, альфа-частицы и др. Электромагнитное излучение – поток квантов или фотонов (γ-лучи, рентгеновские лучи), они не имеют ни массы, ни заряда.

Излучения также делятся на непосредственно и косвенно ионизирующие. Непосредственно ионизирующее излучение – излучение, состоящее из заряженных частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновениях с атомами (электроны, протоны, альфа-частицы и др.). Косвенно ионизирующие излучения – излучения, состоящие из незаряженных частиц, а также фотонов, которые при взаимодействии со средой приводят к образованию вторичных заряженных частиц.

Основным свойством ионизирующих излучений является их способность при прохождении через вещество вызывать образование большого количества свободных электронов и положительно заряженных ионов (т.е. ионизирующая способность). Частица или квант высокой энергии выбивает электрон из электронной оболочки, который уносит единичный отрицательный заряд. Оставшаяся часть атома становится положительно заряженным ионом. Это так называемая первичная ионизация. Выбитые электроны сами взаимодействуют со встречными атомами, превращая их в отрицательно заряженный ион – это вторичная ионизация.

Для ионизации большинства элементов, входящих в состав биосубстратов необходимо поглощение 10-12 эВ. Это минимальное количество энергии, необходимое для ионизации, называется потенциалом ионизации. Потенциал ионизации воздуха равен в среднем 34 эВ. Если энергия излучения меньше потенциала ионизации, ионизации не происходит. Электрон, приобретя излишек энергии (так называемый возбужденный), на доли секунды переходит на более высокий энергетический уровень, а затем скачком возвращается на прежнее место и отдает излишнюю энергию в виде кванта свечения (ультрафиолетового или видимого).

Другим свойством излучений является их способность проникать в глубину вещества. Особенно это характерно для рентгеновских и γ -лучей.

Ионизирующие излучения обладают определенной скоростью и энергией. Так, β -излучение и γ -излучение распространяются со скоростью, близкой к скорости света (300000 км/с). Энергия, например, альфа-частиц колеблется в пределах 4-9 МэВ (миллионов электрон-вольт). Электрон-вольт (эВ) – это внесистемная величина энергии, $1\text{эВ} = 1,6 \times 10^{-19}$ Дж

Одной из важных особенностей биологического воздействия ионизирующей радиации является невидимость, неосязаемость. В этом и заключается их опасность, человек ни визуально, ни органолептически не может обнаружить воздействие излучений. Ионизирующие излучения даже в смертельных дозах нашими органами чувств не фиксируются. Правда, у космонавтов наблюдались косвенные проявления действия ионизирующей радиации – ощущение вспышек при закрытых глазах – за счет массивной ионизации в сетчатке глаза. Таким образом, ионизация и возбуждение – основные процессы, в которых тратится энергия излучений, поглощаемая в облучаемом объекте.

Возникшие ионы исчезают в процессе рекомбинации, это значит воссоединения положительных и отрицательных ионов, в котором образуются нейтральные атомы. Как правило, процесс сопровождается образованием возбужденных атомов. Реакции с участием ионов и возбужденных атомов имеют чрезвычайно важное значение. Они лежат в основе многих химических процессов, в

том числе и биологически важных. С ходом этих реакций связываются отрицательные результаты воздействия радиации на организм человека.

8. Характеристика α , β , γ -излучений

Альфа-излучение – поток положительно заряженных частиц (ядер атомов гелия – ${}^4_2\text{He}$), которые движутся со скоростью около 20000 км/с. Альфа-лучи образуются при радиоактивном распаде ядер элементов с большими порядковыми номерами и при ядерных реакциях. Энергия их колеблется в пределах 4-9 (2-11) МэВ. Пробег α -частиц в веществе зависит от их энергии и от природы вещества, в котором они движутся. В среднем в воздухе пробег составляет 2-10 см, в биологической ткани – несколько микрон. Так как α -частицы массивны и обладают относительно большой энергией, путь их в веществе **прямолинейный**, они вызывают сильно выраженный эффект ионизации. Удельная ионизация составляет примерно 40000 пар ионов на 1 см пробега в воздухе (на всей длине пробега может создаваться до 250 тысяч пар ионов). В биологической ткани на пути в 1-2 микрона также создается до 40000 пар ионов. Вся энергия передается клеткам организма, нанося ему огромный вред.

Альфа-частицы задерживаются листом бумаги и практически не могут проникать через внешний (наружный) слой кожи, они поглощаются роговым слоем кожи. Поэтому α -излучение не представляет опасности до той поры, пока радиоактивные вещества, излучающие α -частицы, не попадут внутрь организма через открытую рану, с пищей или вдыхаемым воздухом – тогда они становятся **чрезвычайно опасными**.

Бета-излучение – поток β -частиц, состоящий из электронов (отрицательно заряженных частиц) и позитронов (положительно заряженных частиц), испускаемых атомными ядрами при их β -распаде. Частицы несут один элементарный электрический заряд и распространяются в среде со скоростью от 100 тыс. км/с до 300 тыс. км/с (т.е. до скорости света) в зависимости от энергии излучения. Энергия β -частиц колеблется в значительных пределах: от нуля до какого-то максимального значения. Максимальная энергия лежит в пределах от 0,015 – 0,05 МэВ (мягкое излучение) до 3-13,5 МэВ (жесткое излучение).

Длина пробега в воздухе может достигать 25 см, а иногда и несколько метров. В биологических тканях пробег частиц составляет до 1 см. На путь пробега влияет также плотность среды.

Ионизирующая способность бета-частиц значительно ниже, чем альфа-частиц. Степень ионизации зависит от скорости: меньше скорость – больше ионизация. На 1 см пути пробега в воздухе β -частица образует 50-100 пар ионов (1000-25 тыс. пар ионов на всем пути в воздухе).

Электромагнитные излучения различаются по своему происхождению, энергии, а также по длине волны. К электромагнитным излучениям относятся рентгеновское излучение, гамма-излучение радиоактивных элементов и тормозное излучение, возникающее при прохождении через вещество сильно ускоренных заряженных частиц. Видимый свет и радиоволны – тоже электромагнитные излучения, но они не ионизируют вещество, ибо характеризуются большой длиной волны (меньшей жесткостью). Энергия электромагнитного

поля излучается не непрерывно, а отдельными порциями – квантами (фотонами). Поэтому электромагнитные излучения – это поток квантов или фотонов.

Рентгеновские излучения. Рентгеновские лучи были открыты Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895г. Рентгеновское излучение – это квантовое электромагнитное излучение с длиной волны 0,001-10нм. Излучение с длиной волны, превышающей 0,2 нм условно называют «мягким» рентгеновским излучением, а до 0,2 – «жестким». Длина волны – расстояние, на которое излучение распространяется за один период колебания. Рентгеновское излучение, как и всякое электромагнитное излучение, распространяется со скоростью – 300000 км/с. Энергия рентгеновского излучения обычно не превышает 500 кэВ.

Гамма-излучение - это излучение ядерного происхождения. Оно испускается ядрами атомов при альфа- и бета- распаде природных и искусственных радионуклидов в тех случаях, когда в дочернем ядре оказывается избыток энергии, не захваченный корпускулярным излучением (альфа- и бета- частицей). Этот избыток энергии мгновенно высвечивается в виде гамма-квантов. Т.е. гамма-излучение – это поток электромагнитных волн (квантов), который излучается в процессе радиоактивного распада при изменении энергетического состояния ядер. Кроме того, гамма-кванты образуются при аннигиляции позитрона и электрона. Скорость распространения в вакууме равняется скорости света – 300000км/с.. Энергия гамма-излучения колеблется от десятков тысяч до миллионов электрон-вольт (2-3 МэВ), редко достигает 5-6 МэВ. Путь пробега гамма-лучей в воздухе превышает 100 м, т.е.они обладают большой проникающей способностью, они свободно проходят через тело человека. Чтобы снизить в 2 раза гамма-излучение радиоактивного кобальта - $^{60}_{27}\text{Co}$ (наиболее часто используемого в медицине для лучевой терапии) нужно взять слой свинца в 1,6 см или слой бетона в 10 см. Ионизирующая способность гамма-излучения значительно меньше, чем у альфа- и бета- частиц.

9. Основные механизмы взаимодействия радиоактивных излучений с веществом

Взаимодействие **рентгеновских** и **γ -излучений** осуществляется тремя основными механизмами (способами), при помощи фотоэлектрического поглощения (фотоэффекта), комптоновского рассеяния (комpton-эффекта), образования электронно-позитронных пар.

Фотоэффект. При фотоэлектрическом эффекте энергия падающего кванта полностью поглощается веществом, в результате чего появляется свободный электрон, обладающий определенной *кинетической энергией*. Свободный электрон, ассоциируясь с одним из нейтральных атомов, порождает отрицательный ион. Атом, потерявший электрон, становится возбужденным. На освободившееся место в орбитале К-слоя перескакивает электрон L-слоя, на L-слой – электрон М-слоя и т.д. с высвечиванием характеристического рентгеновского излучения.

Эффект Комптона. Для излучений с энергией, значительно превышающей внутриатомные энергии связи (> 1 МэВ), главную роль в ионизации приобретает эффект Комптона. Гамма-квант, сталкиваясь с электронами, передает им не всю свою энергию, а только часть ее и после соударения изменяет свое на-

правление, т.е. рассеивается. Вследствие соударения с гамма-квантами электроны (электроны отдачи) приобретают значительную кинетическую энергию и расходуют ее на ионизацию вещества (вторичную ионизацию). Оставшуюся часть энергии выносит новый фотон (вторичный), который образовался в результате взаимодействия первичного фотона с веществом. Вторичные фотоны имеют меньшую энергию, большую длину волны и другое направление. В дальнейшем вторичный фотон может вновь претерпевать Комптон-эффект и т.д.

Образование электронно-позитронных пар. Третий вид взаимодействия излучений с веществом – превращение гамма-кванта больших энергий (свыше 1 МэВ) в пару заряженных частиц – эффект образования пары «электрон-позитрон». Гамма-кванты, проходя через вещество, превращаются под действием сильного электрического поля вблизи ядра атома в пару частица-античастица: «электрон-позитрон». Образовавшаяся электронно-позитронная пара в дальнейшем исчезает (аннигилирует), превращаясь в два вторичных гамма-кванта.

В результате каждого из трех процессов взаимодействия излучений с веществом в облученной среде возникает большое количество быстро движущихся электронов. Значительная часть их обладает энергией, достаточной для ионизации вещества.

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ № 1

ТЕМА: ОСНОВНЫЕ ДОЗОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И МЕТОДЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Экспозиционная доза излучения, ее мощность. Единицы измерения.

Дозиметрия – измерение рассеяния и поглощения энергии ионизирующего излучения в определенном материале. Доза излучения строго зависит от

энергии и вида падающего излучения, а также от природы поглощающего материала.

Мера воздействия ионизирующего излучения на вещество не поддается простому определению из-за сложности и многообразия происходящих при этом процессах. Изменения, возникающие в окружающей среде (нарушения структуры вещества) и живых объектах (биологические нарушения и даже гибель) называются *радиационными эффектами*. Основными величинами, которые дают количественную оценку возбуждаемому в веществе радиационному эффекту являются поглощенная доза, эквивалентная доза, экспозиционная доза. Первичным процессом, который дает начало физико-химическим изменениям в облучаемом веществе и приводит к наблюдаемому радиационному эффекту, является энергия ионизирующего излучения, поглощенная веществом.

Общее количество падающей на объект энергии излучения за время облучения можно определить путем измерения так называемой экспозиционной дозой. Гамма- и рентгеновское облучения образуют в облучаемой среде определенное число ионов. Подсчитав число пар образующихся ионов, можно определить энергию, расходуемую на ионизацию. Но измерить число пар ионов, образующихся в глубине тканей живого организма, сложно. Поэтому определяют вначале экспозиционную дозу в воздухе, а затем расчетным путем определяют поглощенную дозу для тканей и органов организма.

Экспозиционная доза рассчитывается только для рентгеновского и гамма-излучения, ибо только кванты этих излучений достаточно долгопробежные и могут создавать равномерное наружное облучение. Альфа- и бета-излучения – короткопробежные, большая их часть поглощается одеждой и кожей, и не представляет большой опасности для внутренних органов.

Экспозиционная доза – это количественная характеристика рентгеновского и гамма-излучения, основанная на их ионизирующем действии и выраженная суммарным электрическим зарядом ионов одного знака, образованных в элементарном объеме воздуха в условиях электронного равновесия. За единицу экспозиционной дозы в Международной системе единиц (СИ) принят один кулон электрического заряда в одном килограмме облучаемого воздуха.

Кл/кг - это такая экспозиционная доза рентгеновских и гамма-лучей, под действием которой в 1 кг сухого воздуха образуется число пар ионов, суммарный заряд каждого знака которых равен одному кулону. Это число составляет $6,24 \times 10^{18}$ пар ионов.

На практике до сих пор применяют внесистемную единицу экспозиционной дозы – рентген. Рентген (Р) – единица экспозиционной дозы, при которой в 1 см^3 воздуха ($0,001293 \text{ г}$) при нормальных условиях (0°C и 1013 ГПа) образуется $2,082 \times 10^9$ пар ионов. Обычно используют производные рентгена – дробные доли: миллирентген – мР (тысячная доля рентгена), микрорентген – мкР (миллионная доля рентгена ($\text{мкР} = 10^{-6} \text{ Р}$, $\text{мР} = 10^{-3} \text{ Р}$)).

При определении действия радиации на какую либо среду (особенно при облучении живого организма) необходимо учитывать не только общую дозу, но и время, за которое она получена. Поэтому вводится понятие мощность дозы. **Мощность** экспозиционной дозы (уровень радиации) – это доза, отнесенная к

единице времени: Р/час, мР/час, мкР/час. Взаимосвязь между единицами экспозиционной дозы следующая: 1 Кл/кг = 3876 Р; 1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг.

Поскольку на образование одной пары ионов в воздухе в среднем затрачивается 34 эВ, то энергетический эквивалент рентгена в 1 см³ воздуха составляет:

$$2,08 \times 10^9 \times 34 = 7,08 \times 10^4 \text{ МэВ} = 0,114 \text{ эрг/ см}^3 \text{ или} \\ \text{в 1 г воздуха} - 88 \text{ эрг} (0,114 : 0,001293 = 88).$$

Чтобы рассчитать поглощенную дозу в тканях организма сначала определяют поглощенную дозу в воздухе, а затем, используя переходный коэффициент, переходят к поглощенной дозе в тканях.

Так, например, зная, что на образование 1 пары в воздухе затрачивается 34 эВ энергии (1 эВ = $1,6 \times 10^{-19}$ Дж), можно рассчитать, что при экспозиционной дозе в воздухе в 1 Кл/кг на ионизацию 1 кг воздуха (образование $6,24 \times 10^{18}$ пар ионов) затрачивается 34 Дж: $6,24 \times 10^{18} \times 34 / 1,6 \times 10^{-19} = 33,94$ Дж/кг, т.е. при экспозиционной дозе в 1 Кл/кг поглощенная доза в воздухе составит 34 Дж/кг.

От поглощенной дозы в воздухе к поглощенной дозе в биологической ткани переходят с использованием множителя 1,09, т.е. при облучении организма экспозиционной дозой в 1 Кл/кг ткани организма поглощают 37 Дж/кг энергии ионизирующих излучений ($34 \text{ Дж/кг} \times 1,09 = 37 \text{ Дж/кг}$).

2. Поглощённая доза

Поглощенная доза излучения является основной величиной, определяющей степень радиационного воздействия. Экспозиционная доза характеризует поле радиации вокруг объекта. Воздействие же на объект (организм) оказывает только та часть радиации, которую поглощает этот объект. Для измерения поглощенной энергии введено понятие поглощенная доза.

Поглощенная доза излучения – это величина энергии, поглощенной в единице объема (или массы) облучаемого вещества.

За единицу поглощенной дозы в СИ принимают джоуль на килограмм (Дж/кг), т.е. это такая поглощенная доза, при которой в 1 кг массы облучаемого вещества поглощается 1 Дж энергии излучения. Этой единице присвоено наименование грей (Гр).

Внесистемной единицей поглощенной дозы является рад, она в 100 раз меньше Гр. Рад – единица поглощенной дозы ионизирующего излучения, при которой веществом массой 1 г поглощается энергия излучения, равная 100 эрг.

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}; 1 \text{ Гр} = \text{Дж/кг} = 100 \text{ рад}.$$

Применяют такие производные величины от Гр и рад.

мГр – миллигрей (10^{-3} Гр)

мкГр – микрогрей (10^{-6} Гр)

Мощность поглощенной дозы – это поглощенная доза, отнесенная к единице времени. За единицу мощности в СИ принят ватт/кг (Вт/кг) – ватт равен мощности, при которой работа в 1 Дж проводится за 1 с. Внесистемные единицы: рад в час (рад/ч), рад в мин (рад/мин), грей в секунду (Гр/с), рад в секунду (рад/с).

Если в воздухе экспозиционная доза в 1 Р энергетически эквивалента 88 эрг/г, то поглощенная доза для этой среды составляет 0,88 рад (88:100), так как 1 рад = 100 эрг/г. Таким образом экспозиционная доза в 1 Р соответствует поглощенной дозе в 0,88 рад.

Для различных биологических тканей используют переходные коэффициенты (их определяют опытным путем). Для мягких тканей переходный коэффициент составляет 0,93, для костной ткани – 2-5.

Поглощенная доза обычно рассчитывается для рентгеновского и гамма-излучения. Для других видов излучений принята эквивалентная доза.

3. Эквивалентная доза, единицы её измерения.

Коэффициент качества излучений.

При одной и той же поглощенной дозе различные виды излучений (альфа-, бета-, гамма-излучения и др.) оказывают различные биологические эффекты. Объясняется это различной ионизирующей способностью излучений.

Эквивалентная доза – это произведение поглощенной дозы излучения в биологической ткани на коэффициент качества этого излучения в данной биологической ткани. Единицей эквивалентной дозы в СИ является зиверт (Зв). $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$, т.е. зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани стандартного состава на средний коэффициент качества равно 1 Дж/кг. Используются также производные единицы: мЗв – миллизиверт (в тысячу раз меньше Зв); мкЗв – микрозиверт (в миллион раз меньше Зв).

Коэффициент качества (КК) показывает, во сколько раз данный вид излучения более биологически опасен, чем рентгеновское и гамма-излучение при одинаковой поглощенной дозе. Для рентгеновского излучения, гамма-излучения, электронов и позитронов КК равен 1,0; для нейтронов с энергией меньше 20 кэВ – 3; для протонов с энергией меньше 10 МэВ – 10; для нейтронов с энергией 0,1-10 МэВ – 10; для альфа-излучений и тяжелых ядер отдачи – 20. Это означает, что альфа-излучение, которое попадает внутрь организма, в 20 раз более опасно, чем гамма-излучение.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения является основной величиной, определяющей уровень радиационной опасности при хроническом облучении человека в малых дозах.

Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рентгена). Бэр – это поглощенная доза любого вида ионизирующего излучения, которая имеет такую же биологическую эффективность, как и один рад.

Соотношение между дозами: $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$; $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$; $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$; $1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$; $1 \text{ бэр} = 10 \text{ мЗв}$

Мощность эквивалентной дозы – отношение эквивалентной дозы к единице времени: Зв/с, мкЗв/час. Допустимая среднегодовая мощность эквивалентной дозы при облучении всего тела работающих при 36 часовой рабочей неделе равна 28 мкЗв/час, естественный фон создает мощность эквивалентной дозы в пределах 0,05-0,2 мкЗв/час (по данным МКРЕ – Международной комиссии по радиологическим единицам и измерениям).

Поскольку коэффициент качества равен и больше единицы, то и эквивалентная доза больше поглощенной (или равна ей). Например, для бета-излучения $KK = 1$ и эквивалентной дозе в 1 Зв соответствует поглощенная доза в 1 Гр. Для альфа-излучения $KK = 20$ поэтому эквивалентной дозе в 1 Зв соответствует поглощенная доза в 0,05 Гр (1:20).

4. Эффективная эквивалентная доза, единицы ее измерения.

Коэффициент радиационного риска

Эквивалентная доза рассчитывается для «усредненной» биологической ткани человеческого тела. Но дозы приходится определять и для отдельных органов (в случаях неравномерного облучения различных органов и тканей тела человека, а также при необходимости лучевой терапии опухолей, когда не требуется облучать все тело целиком).

По отношению к ионизирующим излучениям органы и биологические ткани имеют разную радиочувствительность. Сильнее всего поражается красный костный мозг, половые железы, меньше – нервная ткань. Учет радиочувствительности производят с помощью коэффициентов радиационного риска (КР), которые позволяют сопоставить последствия неравномерного облучения отдельных органов с такими же последствиями равномерного облучения всего тела. В случаях неравномерного облучения разных органов или тканей тела человека вводится понятие эффективной эквивалентной дозы.

Эффективная эквивалентная доза – это эквивалентная доза, умноженная на коэффициент радиационного риска, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению. Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) приняты следующие коэффициенты радиационного риска для различных тканей или органов человека: для красного костного мозга – 0,12; для молочной железы – 0,05; для половых желез – 0,20; для легких – 0,12; для щитовидной железы – 0,05.

С учетом этих коэффициентов, например, облучение щитовидной железы дозой в 1 Зв (100 бэр) приводит к такому же поражению организма, как и облучение всего организма дозой в $1 \text{ Зв} \times 0,05 = 0,05 \text{ Зв}$ (5 бэр). Допустимая доза на щитовидную железу составляет 20 Зв ($1 \text{ Зв} : 0,05 = 20 \text{ Зв}$), так как допустимая доза на весь организм составляет 1 Зв.

Определение эффективной эквивалентной дозы очень важно при избирательном накоплении радионуклидов, например, йода-131 в щитовидной железе, стронция-90 в костях (облучение красного костного мозга). Таким образом, эффективная эквивалентная доза является основным показателем для оценки радиационного воздействия излучений на человека. Единицей измерения эффективной эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

5. Другие дозовые величины (коллективная эффективная эквивалентная доза, ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза и др.)

Ожидаемая эффективная эквивалентная доза предполагает определение дозовой нагрузки за некоторый период времени (например, за 70 лет, т.е. «доза за жизнь», или же за 10, 20 и т.д. лет). Эта доза позволяет оценить вероятность последствий и принять соответствующие защитные меры.

Расчет дозы очень сложен. Он учитывает периоды полураспада отдельных радионуклидов, их долю в общей радиоактивности, способность накапливаться в организме и выводиться из организма, особенности рациона питания и загрязненность продуктов, долю внешнего облучения и множество других факторов.

Измеряется ожидаемая эффективная эквивалентная доза в Зв (зивертах) и бэрах.

Коллективная эффективная эквивалентная доза – это эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации (иначе, – это сумма индивидуальных эффективных эквивалентных доз). Измеряется доза в человеко-зивертах (чел.-Зв), чел.-бэр. Коллективную дозу можно рассчитать для отдельного поселка, города, области и т.д. Таким образом, коллективная доза – это объективная оценка масштаба радиационного поражения.

Например, расчеты после аварии на ЧАЭС показали, что дозовая нагрузка только от радионуклида цезия-137 на население Скандинавских стран и стран центральной Европы в течение первого года после аварии составила 8×10^4 чел.-Зв. Доза, полученная населением бывшего СССР, проживающим на загрязненной территории в течение года составила $2,5 \times 10^5$ чел.-Зв.

Коллективная доза позволяет вычислить количество не только явных, но и отдаленных последствий облучения (количество раковых и других заболеваний).

Ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза – это доза, рассчитанная на определенный предстоящий период времени при условии, если какая-то группа (количество) людей продолжает жить в условиях длительного хронического (постоянного) облучения. Этот показатель позволяет прогнозировать риск заболеваний в такой группе людей, среднюю продолжительность жизни и т.д. Например, ожидаемая коллективная доза в результате аварии на ЧАЭС оценивается в $6,2 \times 10^5$ чел.-Зв (52% ее приходится на Европейские страны, 37% – на страны бывшего СССР, 10% – на Азию, 1% – на Африку, 0,3% – на Америку).

Снижению ожидаемой коллективной дозы содействует отселение из потерпевших районов, исключение из сельскохозяйственного оборота земель, на которых по пищевым цепочкам распространяется радиоактивность, дезактивация местности, контроль продуктов питания, соблюдение индивидуальных мер защиты и т.д.

6. Переходные коэффициенты (от поверхностной активности к мощности экспозиционной дозы и к эквивалентной дозе)

При движении радиоактивного облака человек облучается снаружи всеми излучениями взвешенных в воздухе радиоактивных веществ, а также попавшими внутрь радионуклидами при дыхании. При проживании на загрязненной территории получаемая доза обусловлена как внешним, так и внутренним облучением. Разработаны экспериментальным путем для каждого вида радионуклидов переходные коэффициенты, связывающие активность, мощность экспозиционной дозы, эффективную дозу.

Например, для цезия установлены следующие переходные коэффициенты:

$$1 \text{ Бк} / \text{м}^2 = 0,0004 \text{ мкР/час или } 1 \text{ Ки/км}^2 = 14,8 \text{ мкР/час}$$

$$1 \text{ Бк/м}^2 = 0,022 \text{ мкЗв/год или } 1 \text{ Ки/км}^2 = 0,80 \text{ мЗв/год.}$$

Каждый мкР/час создает дозу в 0,05 мЗв/год.

Таким образом, при загрязнении цезием-137 в 5 Ки/км^2 (185 кБк/м^2) мощность экспозиционной дозы составляет 75 мкР/час, внешнее облучение за год составит 4м Зв.

Доза внутреннего облучения зависит от рациона питания, типа почв, растительности. Для внутреннего облучения устанавливаются также соответствующие переходные коэффициенты. При потреблении в год 332 кг молока, 133 кг хлеба и круп, 37 кг овощей, 118 кг корнеплодов и фруктов, 63 кг мяса при загрязнении местности цезием-137 в 5 Ки/км^2 внутреннее облучение составляет 3,35 м Зв/год.

Если до аварии активность цезия-137 в молоке составляла 0,03-0,3 Бк/л, то в мае месяце 1986г на юге Гомельской области составляла 330000 Бк/л.

Подсчитаем, какую эквивалентную дозу получил ребенок, выпив 2л молока с активностью йода-131 4кБк/л. Масса щитовидной железы 5г. Средняя энергия поглощенного излучения на каждый акт распада составляет 500 кэВ. В щитовидной железе накапливается 45% поступившего йода.

1. Активность, поступившая в организм равна $2\text{л} \times 4 \text{ кБк/л} = 8 \text{ кБк}$.
2. Активность, накопившаяся в щитовидной железе $8 \text{ кБк} \times 45\% = 3600 \text{ Бк}$.
3. Удельная активность в щитовидной железе

$$\frac{3600 \times 1000}{5 \text{ г}} = 7,2 \times 10^5 \text{ Бк/кг}$$

4. За сутки в щитовидной железе происходит $7,2 \times 10^5 \times 8,64 \times 10^4 \text{ с} = 6,22 \times 10^{10} \text{ расп/с}$.
5. Щитовидная железа поглощает $6,2 \times 10^{10} \times 5 \times 10^5 \text{ эВ} = 31,1 \times 10^{15} \text{ эВ} = 5 \times 10^{-3} \text{ Дж/кг} = 5 \times 10^{-3} \text{ Гр}$.
6. Эквивалентная доза на щитовидную железу составляет $5 \times 10^{-3} \text{ Гр} = 5 \text{ мЗв}$ (коэффициент качества для бета-излучений равен 1,0).
7. Эквивалентная доза на все тело составляет при коэффициенте радиационного риска для щитовидной железы $5 \text{ мЗв} \times 0,05 = 0,25 \text{ мЗв}$. (0,025 бэр).

Годовая эквивалентная доза не должна превышать 0,1 бэр. Доза, полученная ликвидаторами составляет:

- 0,05-0,1 Зв (5-10 бэр) – у 30% ликвидаторов;
- 0,1-0,25 Зв (10-25 бэр) – у 47% ликвидаторов;
- 0,25-0,5 Зв (25-50 бэр) – у 7,3% ликвидаторов.

7. Основные методы регистрации излучений

Радиоактивные излучения не воспринимаются органами чувств. Наличие радиоактивных веществ на местности нельзя обнаружить визуально (зрительно) или органолептически (с помощью других органов чувств) и поражение людей может происходить незаметно для них. Для своевременного и быстрого обна-

ружения радиоактивных веществ в воздухе, на местности, различных предметах и в разной среде созданы специальные приборы радиационной разведки, контроля полученных доз облучения и степени загрязнения.

Работа дозиметрических приборов основана на способности излучений ионизировать вещество среды, в котором распространяется излучение. Ионизация в свою очередь является причиной некоторых физических и химических изменений в веществе, которые могут быть обнаружены и измерены. К таким изменениям относятся: увеличение электропроводимости (газов, жидкостей, твердых материалов), люминесценция (свечение), засвечивание светочувствительных материалов (фотопленок), изменение окраски, прозрачности некоторых химических растворов и др.

В зависимости от природы регистрируемого физико-химического явления, происходящего в среде под влиянием ионизирующих излучений, различают ионизационный, сцинтилляционный, химический, фотографический и другие методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений.

Важнейшим элементом большинства приборов, предназначенных для измерения ионизирующих излучений является детектор. Детектор – это часть (элемент) прибора, применяемая для обнаружения ионизирующих излучений, измерения их энергии. К детекторам относятся ионизационные камеры, сцинтилляционные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, фотопластинки и др.

8. Ионизационный метод

Ионизационный метод основан на ионизации атомов и молекул, которая происходит под влиянием ионизирующих излучений в среде (газовом объеме), в результате чего электропроводимость среды увеличивается, что может быть зафиксировано соответствующими электронно-техническими приспособлениями.

В качестве детектора наиболее часто применяется *ионизационная камера*. Она состоит из двух электродов, между которыми находится газовая среда (воздух или другой газ), которые подключены к источнику питания для создания электрического поля. При отсутствии ионизирующих излучений ток в электрической цепи камеры протекать не будет, так как в ней нет свободных электронов и сопротивление ее бесконечно большое.

Под действием ионизирующих излучений в газовой среде камеры образуются ионы и электроны, которые в результате разности потенциалов на электродах приобретают направленное движение к соответствующим электродам (аноду или катоду). В электрической цепи начинает протекать ток, который регистрируется измерительным приспособлением. Величина ионизационного тока пропорциональна величине излучений. Ионизационные камеры могут иметь различные форму и конструкцию. Наиболее часто применяются цилиндрические камеры (рентгенметр ДП-ЗБ) и плоские. В некоторых камерах используется конденсатор (конденсаторные камеры) – комплекты дозиметров ДП-24, ДП-23А, ДК-02, КИД-2 и др.

Ионизационные камеры используются для измерения всех видов ядерных излучений. Малая проникающая способность альфа-частиц вынуждает использовать для их регистрации камеры с очень тонкими окнами.

Пропорциональные счетчики. Под действием излучения происходит ионизация. Сила ионизационного тока начинает возрастать, поскольку ионы, образованные излучением и особенно электроны приобретают при движении к электродам ускорение, достаточное для того, чтобы самим производить ионизацию вследствие соударений с атомами газовой среды детектора. Между числом первично образованных ионов и общей суммой ионов, участвующих в создании ионизационного тока имеется строгая пропорциональность. Наличие пропорционального усиления в счетчиках позволяет определить энергию ядерных частиц и измерить их структуру. Пропорциональные счетчики в большинстве случаев используются для регистрации альфа – частиц (счетчики САТ-7, САТ-8). Счетчики наполняются смесью неона с аргоном.

Газоразрядные счетчики. Ионизационные детекторы, в которых используется принцип газового усиления, называются газоразрядными счетчиками. Усиление ионизационного тока происходит за счет явления ударной ионизации. Сущность ударной ионизации заключается в следующем. На электрон, образующийся в пространстве между электродами, к которым приложена большая разность потенциалов, действует сила, равная $F = e \cdot E$ (E – напряженность электрического поля). Под действием этой силы скорость электрона увеличивается, а следовательно, увеличивается его кинетическая энергия. На пути своего движения он сталкивается с нейтральными атомами и передает им приобретенную энергию, вызывая тем самым ионизацию. Происходит умножение начального числа ионов (лавинообразная вторичная ионизация). Движение положительных ионов и электронов к соответствующим электродам вызывает импульс тока в цепи счетчика и соответственно импульс напряжения в его электродах. Для гашения разряда внутри счетчика вводятся специальные гасящие примеси (самогасящиеся счетчики). Обычно применяют пары многоатомных спиртов. После гашения разряда процесс повторяется, в счетчик проникает вторая частица ионизирующего излучения и процесс газового усиления повторяется.

Счетчик Гейгера-Мюллера относится к газоразрядным счетчикам. Внутренний объем счетчика наполнен инертным газом при пониженном давлении. При попадании хотя бы одной ядерной частицы в счетчик происходит первичная ионизация газовой среды. Образовавшиеся положительные ионы движутся к катоду – стенке счетчика, а электроны движутся к аноду – нити. Малая площадь анода создает в области нити большую плотность силовых линий, поэтому здесь напряженность электрического поля достигает больших величин. Под влиянием высокой разности потенциалов между электродами и пониженного давления в счетчике электроны движущиеся к аноду, приобретают большие ускорения и производят ударную вторичную ионизацию. Новые образовавшиеся ионы, в свою очередь, приобретают скорость, при которой они способны вызвать ионизацию. Коэффициент газового усиления может достигать 10^8 - 10^{10} .

Если во время быстро нарастающей ионизации в счетчик проникает следующая ядерная частица, то она не будет регистрироваться счетчиком, поскольку произведенная ею ионизация уже не изменит имеющейся картины.

Для обнаружения второй ядерной частицы необходимо «погасить» процесс ионизации. В несамогасящихся счетчиках (а к ним относится и счетчик Гейгера-Мюллера) для гашения используют радиотехническую схему (производят выбор соответствующего внешнего сопротивления, которое намного превышает внутреннее сопротивление счетчика). Такой способ гашения разряда медленный, поэтому счетчик готов к регистрации следующей частицы через время, большее нескольких миллисекунд.

Время, в течение которого счетчик не может зарегистрировать попавшую в него частицу, называется мертвым временем счетчика. Мертвое время газоразрядных счетчиков составляет 10^{-4} с. Время, в течение которого счетчик способен регистрировать частицы (кванты) отдельно, характеризует его разрешающую способность. Самогасящиеся счетчики способны отдельно регистрировать до 10^4 имп/с.

Счетчики Гейгера-Мюллера применяются для регистрации всех видов излучений, но чаще для регистрации электронов. Гамма-кванты ввиду их малой ионизирующей способности обычно не регистрируются (регистрируется один из 100). Для регистрации бета-частиц применяются счетчики СТС-5, АС-1 и др; альфа- и бета- частиц – счетчики МТС-17, СБТ-7 и др.

9 Сцинтилляционный и люминесцентный методы дозиметрии

Сцинтилляционный метод. В некоторых веществах (сцинтилляторах) под действием ионизирующих излучений происходит ионизация и возбуждение атомов. При переходе атомов из ионизированного и возбужденного состояния в основное высвечивается энергия в виде вспышек света (сцинтилляций), которые могут быть зарегистрированы различными способами (наблюдением или же с помощью фотоэлектронного умножителя). Энергия света может быть переведена в электрический сигнал (импульсы электрического тока).

По составу сцинтилляторы делят на неорганические и органические, а по агрегатному состоянию – на твердые, пластические, жидкие и газовые. Из неорганических сцинтилляторов для регистрации бета- и гамма-излучений используют йодистый натрий (калий), активированный талием – NaJ (Tl), KJ (Tl); для регистрации альфа-излучений – сернистый цинк, активированный серебром – ZnS (Ag); для регистрации гамма-излучений – йодистый цезий, активированный талием – CsJ (Tl), сернистый кадмий, активированный серебром – CdS (Ag). Применяют также в качестве сцинтилляторов йодистый литий – LiJ, вольфрамат кадмия – CdWO₄, а также инертные газы: аргон (Ar), ксенон (Xe), криптон (Kr).

Из органических веществ наибольшее распространение получили такие, как антрацен (C₁₄H₁₀), нафталин (C₁₀H₈), стильбен (C₁₄H₁₂), пластмассы, и др.

Сцинтилляционные счетчики обладают большой эффективностью счета – до 100%. С помощью сцинтилляционных счетчиков можно по числу импульсов, возникающих в них в единицу времени, определить активность источника, а по величине тока в электрической цепи – мощность доз излучения. На этом принципе основано действие индивидуальных измерителей доз – ИД-11.

Люминесцентный метод. Сущность этого метода заключается в том, что в твердом теле – люминофоре – под действием ионизирующих излучений про-

исходит накопление поглощенной энергии, которая может быть затем освобождена при дополнительном возбуждении. В зависимости от дополнительного возбуждения различают радиофотолюминесценцию и радиотермолюминесценцию.

Радиофотолюминесценция. Некоторые сорта стекла (фосфатные, активированные серебром) после облучения ионизирующими излучениями становятся люминесцирующими, хотя до воздействия на них излучений такими свойствами не обладали. Свечение вызывается дополнительным воздействием на облученное стекло ультрафиолетовым светом. С помощью стекла измеряют дозы от 10-50 Р и выше. Стекло на основе лития позволяет производить измерения от 0,015 до 10^4 - 10^5 Р. В радиофотолюминесцентном дозиметре (ФЛД) в диапазоне 0,01-10 Гр люминесценция пропорциональна дозе, в диапазоне 300-500 Гр интенсивность ее достигает максимума.

Радиотермолюминесценция. Значительный интерес представляют термолюминесцентные вещества – фтористый кальций, борат лития, плавиковый шпат, у которых после воздействия ионизирующих лучей люминесценция может быть вызвана последующим их нагреванием. Такие вещества позволяют производить измерения в пределах от 5-10 мР до 10^3 - 10^4 Р и более. К люминесцентным дозиметрам относятся ДПГ-02, ДПС-11, ИКСА и др.

10 Химический и фотографический методы регистрации излучений

Химический метод обнаружения ионизирующих излучений основан на способности некоторых веществ в результате воздействия излучений распадаться, образуя новые химические соединения. Возбужденные атомы и молекулы диссоциируют, образуя свободные радикалы. Образованные ионы и свободные радикалы вступают в реакции между собой или с другими атомами и молекулами, образуя новые вещества, появление и количество которых позволяет судить о наличии и количестве ионизирующих излучений.

Так, хлороформ в воде при облучении распадается с образованием хлороводородной кислоты, которая дает цветную реакцию с красителем (бромкрезолом пурпурным), добавленным к хлороформу. По плотности (интенсивности) окрашивания судят о дозе излучения (поглощенной дозе). На этом принципе построен химический гамма-дозиметр ДП-70М.

В качестве химических детекторов, кроме хлороформа, применяются: сульфат железа – FeSO_4 (ферросульфатный детектор); сернокислый церий – $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ (цериевый детектор); четыреххлористый углерод (CCl_4) – на основе хлорзамещающих углеводородов.

С помощью этого метода измеряется доза гамма-излучения, а также нейтронного излучения. Дозы измеряются в пределах 10-100 Р и выше (система хлороформа), а при использовании четыреххлористого углерода с этиловым спиртом – от нескольких долей Р и выше.

Химический дозиметр ДП-70 М используется вместе с полевым калориметром ПК-56. Дозиметр представляет стеклянную ампулу, заполненную бесцветной жидкостью. Под действием излучения жидкость изменяет окраску от бледно-розовой до ярко-малиновой. Плотность окраски пропорциональна дозе излучения. Ампула помещена в металлический футляр с крышкой. На внутрен-

ней стороне крышки расположен цветной индикатор, окраска которого соответствует дозе в 50 Р.

Для более точного определения используют полевой калориметр, который имеет вращающийся диск со светофильтрами разной плотности окраски, соответствующие дозе в 0, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600, 800 Р. Диск вращают до совпадения плотности окраски раствора в ампуле с одним из диском (в окне камеры калориметра читаем дозу излучения в рентгенах).

Фотографический метод. Фотографические детекторы основаны на свойстве ионизирующих излучений воздействовать на чувствительный слой фотоматериалов аналогично видимому свету. Для детектирования обычно применяют рентгеновские пленки, представляющие собой чувствительную эмульсию, нанесенную с одной или с двух сторон на целлулоидную подложку. В состав эмульсии входит бромистое или хлористое серебро, равномерно распределенное в слое желатина.

Под действием ионизирующих излучений бромид серебра распадается на бром и серебро. Образовавшиеся наимельчайшие кристаллы серебра при проявлении фотопластинки вызывают её почернение. Плотность почернения пропорциональна поглощенной энергии излучения (поглощенной дозе). Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу излучения (экспозиционную или поглощенную). Плотность почернения фотослоя измеряют с помощью специальных приборов – фотометров или денситометров.

К числу достоинств этих детекторов можно отнести возможность массового применения для индивидуального контроля доз, возможность совместной и отдельной регистрации дозы от бета- и гамма-излучений. Недостатки – малая чувствительность пленок, низкая точность, трудоемкость обработки пленок, невозможность повторного использования облученных пленок.

11. Дозиметрические приборы, их классификация и краткая характеристика

Основной *задачей дозиметрии* является обнаружение и оценка степени опасности ионизирующих излучений для населения в различных условиях радиационной обстановки. С помощью дозиметрических приборов осуществляются:

- обнаружение и измерение мощности экспозиционной и поглощенной дозы излучения для обеспечения жизнедеятельности населения;
- измерение активности радиоактивных веществ, плотности потока излучений; удельной, объемной, поверхностной активности различных объектов для определения необходимости и полноты проведения дезактивации и санитарной обработки;
- измерение экспозиционной и поглощенной доз облучения в целях определения работоспособности и жизнеспособности населения в радиационном отношении;
- лабораторное измерение степени загрязнения радиоактивными веществами продуктов питания, воды и т.д.

Классификация дозиметрических приборов осуществляется по их назначению, типу датчиков, измерению вида излучения, характеру электрических сиг-

налов, преобразуемых схемой прибора. Почти все современные дозиметрические приборы работают на основе ионизационного метода. Основными узлами приборов являются детекторы излучений, служащие для обнаружения излучений; электрическая схема преобразования импульсов; измерительные или регистрирующие устройства; источники тока.

По функциональному назначению приборы подразделяются на индикаторы, радиометры, рентгенометры, дозиметры.

Дозиметры. Предназначены для определения суммарной дозы облучения (экспозиционной или поглощенной), или же соответствующих мощностей доз гамма- или рентгеновских излучений. В качестве детектора (датчика) используются ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, сцинтилляционные счетчики и др. К стационарным относятся СПСС-02, СД-1М и др. Переносные дозиметры – СРП-68-01, КИД-2, комплект дозиметров ДП-24, ДК- 0,2 и др. Промышленность выпускает также так называемые бытовые (карманные) дозиметры, предназначенные для измерения экспозиционной дозы в воздухе, т.е. работающие как рентгенметры («Мастер-1», «Горизонт», «Бела-2», «Сосна» и др.). Их применяют в загрязненных районах для того, чтобы контролировать уровень гамма-фона и избежать сильного загрязнения цезием-137.

Индикаторы. Это простейшие приборы для обнаружения излучения и ориентировочной оценки мощности экспозиционной дозы (уровня радиации), главным образом, гамма- и бета-излучений. Детектором служит газоразрядный счетчик. К этой группе относятся индикатор-сигнализатор ДП-64, измеритель мощности дозы ИМД-21 и др.

Рентгенметры. Они предназначены для измерения мощности дозы рентгеновского или гамма- излучения. Диапазон измерения – от сотых долей рентгена до нескольких сот рентген в час (Р/ч). В качестве датчиков используют ионизационные камеры или газоразрядные счетчики. К ним относятся рентгенметр ДП-3Б, «Кактус», ДП-2 и др.

Радиометры (измерители радиоактивности). Применяются для обнаружения и определения степени радиоактивного загрязнения поверхностей, оборудования альфа- и бета – частицами; плотности потоков или интенсивности радиоактивных излучений; активности проб внешней среды.

12 Дозиметрический контроль

Дозиметрический контроль – это система мероприятий, организуемых для контроля радиоактивного облучения населения и определения степени радиоактивного загрязнения техники, производственного оборудования, продовольствия, воды и т.д.

Дозиметрический контроль включает контроль облучения и контроль радиоактивного загрязнения.

Контроль облучения проводится с целью своевременного получения данных о поглощенных дозах населения при проведении спасательных работ. По данным контроля устанавливается факт внешнего воздействия ионизирующих излучений, оценивается работоспособность людей и определяются их радиационные поражения с целью определения необходимости лечения в медицинских

учреждениях. Контроль облучения в свою очередь подразделяется на групповой и индивидуальный.

Индивидуальный контроль проводится с целью получения данных о дозах облучения каждого человека (с помощью индивидуального дозиметра ИД-11), определения степени внутреннего радиоактивного загрязнения. Каждому выдается индивидуальный дозиметр.

Групповой контроль проводится с целью получения данных о средних дозах облучения групп населения, находящихся в одинаковых условиях и определения их категорий трудоспособности. 1-2 дозиметра выдаются на группу в 14-20 чел. В зависимости от полученной дозы и продолжительности облучения устанавливаются следующие категории трудоспособности: трудоспособность полная, трудоспособность сохранена, трудоспособность ограничена, трудоспособность существенно ограничена.

Учет полученных доз ведется в индивидуальной карточке учета доз облучения и в журнале контроля облучения (дозы записываются нарастающим итогом).

Контроль радиоактивного загрязнения проводится для определения степени радиоактивного загрязнения людей (кожных покровов и одежды), техники, транспорта, оборудования и других материальных средств. Этот контроль проводится, как правило, при выходе людей из загрязненных районов, при проведении полной специальной обработки.

ЛЕКЦИЯ № 2.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА.

РАДИАЦИЯ И БИОСФЕРА

1. Понятие о радиационном фоне, естественный и искусственный радиационный фон

Под **радиационным фоном** принято понимать ионизирующие излучения от природных (естественных) источников космического и земного происхож-

дения, а также от искусственных радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека. Радиационный фон обусловлен факторами окружающей среды и не включает облучение лиц, которые работают с источниками ионизирующего излучения, а также излучение, применяемое с диагностическими и лечебными целями.

Различают естественный радиационный фон, искусственный радиационный фон, технологически измененный (повышенный) радиационный фон. Все источники радиационного фона делятся на две основные группы: естественные и искусственные.

Естественный радиационный фон (ЕРФ) является основным компонентом радиационного фона. Источниками ЕРФ являются ионизирующие излучения, которые действуют на человека на поверхности Земли от внешних естественных источников неземного происхождения (космических излучений), внешних естественных источников земного происхождения (присутствующих в земной коре, воде, воздухе), а также от внутренних источников (т.е. радионуклидов естественного происхождения, которые содержатся в организме человека). Большинство естественных источников такое, что избежать облучения от них совсем невозможно. От естественных источников радиации мы получаем 78% облучения.

Естественный радиационный фон является неотъемлемым фактором внешней среды и играет значительную роль в жизнедеятельности человека. Естественные радиоактивные элементы вошли в состав Земли с самого ее образования. Эволюционное развитие показывает, что в условиях естественного радиационного фона обеспечиваются оптимальные условия для жизнедеятельности растений, животных и человека. Способность радиоактивного излучения вызывать мутации послужила, наверное, одной из главных причин эволюции биологических видов в сторону повышения их организации.

Естественный радиационный фон на поверхности Земли не является строго постоянной величиной. Его изменения связаны как с глобальными, так и с локальными аномалиями. Они обусловлены циклическими колебаниями космического фона и аналогичных процессов, которые приобрели характер глобальных катастроф.

Локальные аномалии наблюдаются в отдельных районах Индии, Бразилии, Ирана, Египта, а также на территории США, Франции, стран СНГ (в том числе на Украине). Они являются следствием геологических процессов, когда в результате интенсивной вулканической деятельности и горообразования тяжелые естественные радионуклиды, прежде всего уран и торий, а также продукты их распада переместились из недр на поверхность Земли. Поэтому одни из жителей Земли получают более значительные дозы, чем другие, в зависимости от того, где они живут. Там, где залегают радиоактивные породы, уровень радиации (радиационный фон) значительно выше средних величин, в других местах может быть соответственно ниже средних величин. В Белоруссии средняя эквивалентная доза облучения от естественных источников составляет 2,4 мЗв/год. В некоторых районах Бразилии эта доза достигает 10 мЗв в год, а в штате Кералла (Индия) даже до 28 мЗв/год.

Доза облучения зависит также от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов (асбест), использование природного газа для приготовления пищи, герметизация помещений – все это увеличивает облучение за счет естественных источников.

В формировании фонового облучения существенную роль отыгрывают искусственные источники радиации. Явление искусственной радиоактивности открыто в 1934г супругами Жолио-Кюри, которые показали что при бомбардировке альфа-частицами ядер легких элементов образуются другие элементы, являющиеся радиоактивными.

Ядра стабильных элементов можно бомбардировать также нейтронами. В настоящее время известно свыше 900 радионуклидов, получаемых искусственным путем. Особенно много искусственных радионуклидов получают в ядерных реакторах, в т.ч. и реакторах АЭС. Большинство из них являются альфа-излучателями и имеют большие периоды полураспада.

Не существует элементов, у которых не было бы радиоактивного изотопа. Искусственные радионуклиды появились в связи с деятельностью человека. К искусственным радионуклидам относятся:

1. Радиоактивные продукты ядерного деления, возникающие при реакциях деления ядер ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu в результате действия на них нейтронов.
2. Радиоактивные трансурановые элементы – ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm и др.
3. Продукты наведенной радиоактивности, образующиеся в результате ядерных реакций. Нейтроны, образующиеся при цепной реакции деления урана или плутония воздействуют на ядра стабильных элементов, превращая их в радиоактивные. К ним относятся: ^{45}Ca , ^{24}Na , ^{27}Mg , ^{29}Al , ^{31}Si , ^{65}Zn , ^{54}Fe и др.

2. Характеристика космических излучений.

Космические излучения – это ионизирующие излучения, непрерывно падающие на поверхность Земли из мирового пространства и образующиеся в земной атмосфере в результате взаимодействия указанных излучений с атомами воздуха.

Различают первичное и вторичное космическое излучение. **Первичное космическое излучение** представляет собой поток элементарных частиц, приходящих на земную поверхность из разных областей всемирного пространства. Оно образуется вследствие извержения и испарения материи с поверхности звезд и туманностей. Различают внегалактические, галактические и солнечные излучения. Космическое излучение состоит из протонов (92%), альфа-частиц (7%), ядер атомов лития, бериллия, углерода, азота, кислорода и других элементов (1%).

Первичное космическое излучение отмечается большой проникающей способностью, энергия его высокая – до 10^{19} эВ. Солнечное излучение возникает в основном при вспышках на Солнце, возникающих с характерным 11-тилетним циклом, энергия их не превышает 40 МэВ.

Атмосфера защищает биологические объекты от губительного действия первичных космических частиц. Космические лучи постепенно теряют свою энергию, растрачивая ее на многочисленные столкновения с ядрами атомов воздуха. При этом в результате электронно-фотонных и электронно-ядерных

взаимодействий образуются мезоны, электроны, позитроны, протоны, нейтроны, гамма-кванты, которые и составляют **вторичное космическое излучение**. Приобретая часть энергии первичных космических частиц, вторичные космические лучи вызывают ионизацию атомов элементов воздуха, они же в основном и достигают поверхности Земли. Вторичное космическое излучение имеет максимум на высоте 20-30 км.

Интенсивность космических излучений зависит от географической широты и высоты над уровнем моря. Так как космические лучи в основном являются заряженными частицами, то они отклоняются в магнитном поле Земли и концентрируются на полюсах, в то время как в экваториальной области поверхности достигают лишь частицы, обладающие максимальными энергиями. Мощность космического излучения увеличивается с увеличением высоты над уровнем моря (в результате разрежения атмосферы). Так, если средняя доза от космических лучей составляет 0,3 мЗв в год, то на высоте 4500 м она составляет до 3 мЗв, а на вершине Эвереста (8848 м) – 8 мЗв в год.

Интенсивность космических лучей за пределами атмосферы составляет около 2-х частиц на 1 см² в секунду. Эта величина постоянная и не зависит от времени года, сезона, суток. Но в период максимальной солнечной активности поток космических лучей нарастает. Волновые излучения (в том числе и рентгеновские) достигают поверхности Земли через 8-15 мин после обнаружения вспышки на Солнце, а корпускулярные приблизительно через сутки. Каждая вспышка на Солнце влияет на человека, причем колебания магнитного поля очень сильно действуют на больных.

3. Внешние источники радиации земного происхождения.

Радиоактивные семейства, их характеристика

Вторым источником естественного радиационного фона являются радионуклиды земного происхождения. В земной коре рассеяны долгоживущие (с периодом полураспада в миллиарды лет) изотопы, которые не успели распасться за время существования нашей планеты. Они образовались, наверное, одновременно с образованием планет Солнечной системы (относительно короткоживущие изотопы распались полностью). Эти изотопы называются естественными радиоактивными веществами, это значит такими, которые образовались и постоянно вновь образуются без участия человека. Распадаясь, они образуют промежуточные, также радиоактивные, изотопы.

Внешними источниками излучений являются более 60 естественных радионуклидов, находящихся в биосфере Земли. Естественные радиоактивные элементы содержатся в относительно небольшом количестве во всех оболочках и ядре Земли. Особое значение для человека имеют радиоактивные элементы биосферы, т.е. той части оболочки Земли (лито-, гидро- и атмосфере), где находятся микроорганизмы, растения, животные и человек.

В течение миллиардов лет шел постоянный процесс радиоактивного распада нестабильных ядер атомов. В результате этого общая радиоактивность вещества Земли, горных пород постепенно снижалась. Относительно короткоживущие изотопы распались полностью. Сохранились главным образом элементы с полураспадом, измеряемым миллиардами лет, а также относительно

короткоживущие вторичные продукты радиоактивного распада, образующие последовательные цепочки преобразований, так называемые семейства радиоактивных элементов. В земной коре естественные радионуклиды могут быть более или менее равномерно рассеяны или сконцентрированы в виде месторождений.

Все естественные радионуклиды в зависимости от их происхождения можно разделить на 2 категории: радионуклиды земного происхождения и космические радионуклиды. **Радионуклиды земного происхождения** в свою очередь делятся на 2 группы.

К первой группе относятся элементы, образующие три радиоактивные семейства – урана, тория, актиноурана и продукты их распада. К ним относятся 32 радионуклида урана-радиевого и ториевого рядов.

Наиболее распространены в земной коре уран и торий. Природный уран, рассеянный в горных породах, относительно редко образует крупные месторождения, но общее его количество на Земле значительно большее, чем серебра или ртути. Природный уран представляет собой смесь трех изотопов: урана-238 (99,28%), урана-235 (0,71%) и урана-233 (0,006%).

Распадаясь, каждый из названных тяжелых ядер рождает множество промежуточных, также радиоактивных ядер, так что образуется соответствующее семейство. Важнейшими из образованных 45 радионуклидов являются: уран-234, актиний-228, торий-230, радий-226, радон-222, полоний-210 и др. Эти промежуточные продукты в основном короткоживущие, они встречаются в виде примесей в месторождениях элементов – родоначальников семейств. Период полураспада колеблется от $3 \cdot 10^{-7}$ с ($^{212}_{84}\text{Po}$) до $2,5 \times 10^5$ лет ($^{234}_{92}\text{U}$). Конечными продуктами трех семейств являются стабильные изотопы свинца:

Уран и торий в породах всегда сопровождают друг друга, концентрируясь преимущественно в гранитах. Однако в дальнейшем их пути расходятся, так как торий не образует растворимых соединений, а уран образует растворимые в сернокислых водах соединения. Торий и уран представляют собой перспективный материал для атомной промышленности. Запасы тория во много раз большие, чем урана-235.

4. Радионуклиды земного происхождения, не входящие в семейства

Ко второй группе естественных радионуклидов земного происхождения принадлежат радионуклиды, не входящие в радиоактивные семейства (11 долгоживущих радионуклидов: калий-40 с периодом полураспада $1,31 \times 10^9$ лет, кальций-48 – 2×10^{16} лет, рубидий-87 – $6,15 \times 10^{10}$ лет и др.). Наиболее распространенным является рубидий-87. Он составляет 27,8% природного элемента, но энергия его излучений небольшая (бета-частиц – 0,394 МэВ). Рубидий – антагонист калия. В некоторых растениях он накапливается в значительном количестве (1л виноградного сока содержит 1 мг рубидия).

Калий является очень распространенным в литосфере (земной коре толщиной 15-70 км) и биосфере. Является типичным биологическим элементом. Природный калий состоит из трех изотопов (^{39}K , ^{40}K , ^{41}K), из которых только калий-40 – радиоактивен. В земной коре содержится 2,6% калия. В свободном виде не встречается, так как очень химически активен (входит в состав полевых

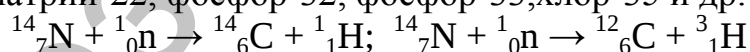
шпатов, слюды). Калий-40 вносит значительный вклад в радиационный фон. Эквивалентная доза за счет калия-40 составляет 0,3 мЗв/год (за счет внешнего облучения – 0,12 мЗв/год, внутреннего – 0,18 мЗв/год).

5. Космические излучения, космогенные радионуклиды, их характеристика

Как уже отмечалось, различают первичное и вторичное космическое излучение. Первичное космическое излучение представляет собой поток элементарных частиц, приходящих на земную поверхность из разных областей мирового пространства. Оно состоит из протонов, альфа-частиц, ядер атомов лития, бериллия, бора, углерода, азота, кислорода и др. Первичные космические лучи, врываясь в атмосферу, теряют свою энергию, растрачивая ее на многочисленные столкновения с ядрами атомов воздуха. Получаемые осколки, приобретая часть энергии первичной частицы, сами становятся факторами ионизации, разрушают и ионизируют другие атомы газов воздуха.

Вторичное космическое излучение возникает в результате электронно-фотонных и электронно-ядерных взаимодействий. При электронно-фотонном процессе заряженная частица взаимодействует с полем ядра атома, рождая фотоны, которые образуют пары электронов и позитронов. Эти частицы, в свою очередь, вызывают возникновение новых фотонов. Электронно-ядерный процесс обусловлен взаимодействием первичных частиц, энергия которых не менее 3×10^9 эВ с ядрами атомов воздушной среды. При этом взаимодействии возникает ряд новых частиц – мезонов, протонов, нейтронов. Вторичное космическое излучение имеет максимум на высоте 20-30 км.

Космогенные радионуклиды – образуются в результате ядерных реакций протонов и нейтронов, входящих в состав первичного и вторичного космического излучения, с ядрами элементов воздуха (N, O, Ar и др.). К космогенным радионуклидам относятся 14 изотопов – тритий, дейтерий, бериллий-7, углерод-14, углерод-13, натрий-22, фосфор-32, фосфор-33, хлор-35 и др.



Полученные углерод-14 и тритий являются космогенными радионуклидами, поступая в организм, они являются источниками внутреннего облучения. Бериллий-7, натрий-22, 24 относятся к источникам внешнего облучения.

6. Искусственная радиоактивность, основные компоненты искусственного радиационного фона

В формировании фонового облучения существенную роль отыгрывают искусственные источники радиации. Явление искусственной радиоактивности открыто в 1934 г. супругами Жолио-Кюри, которые показали, что при бомбардировке альфа-частицами ядер легких элементов образуются другие элементы, являющиеся радиоактивными.

Ядра стабильных элементов можно бомбардировать также нейтронами. В настоящее время известно свыше 900 радионуклидов, получаемых искусственным путем. Особенно много искусственных радионуклидов получают в ядерных реакторах, в т.ч. и реакторах АЭС. Большинство из них являются альфа-излучателями и имеют большие периоды полураспада. Не существует элементов, у которых не было бы радиоактивного изотопа.

Искусственные радионуклиды появились в связи с деятельностью человека. Они подразделяются на три группы:

1. Радиоактивные продукты ядерного деления. Они возникают при реакциях деления ядер ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и т. д., которые происходят в результате действия на них нейтронов. Источники этой группы радионуклидов в атмосфере – испытания ядерного оружия, работа предприятий ядерного топливного цикла и атомной промышленности (ядерно-энергетические установки, радиохимические заводы и т. д.). При ядерных взрывах образуется около 250 изотопов 35 элементов. К радиоактивным продуктам деления (РПД) относятся: ^{131}J , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{140}Ba , ^{133}Xe и многие другие. Период полураспада РПД от нескольких секунд до нескольких десятков лет.

Большинство образующихся радионуклидов являются бета- и гамма-излучателями (^{131}J , ^{137}Cs , ^{140}Ba), остальные испускают или только бета-частицы (^{90}Sr , ^{135}Cs) или альфа-частицы (^{144}Nd , ^{147}Sm).

2. Радиоактивные трансурановые элементы, возникающие в ядерно-энергетических установках и при ядерных взрывах в результате последовательных ядерных реакций с ядрами атомов делящегося вещества и последующего радиоактивного распада образующихся сверхтяжелых ядер. К этим радионуклидам относятся ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm и др. В основном они альфа-активны, характеризуются очень большим периодом полураспада, отсутствием стабильных изотопов.
3. Продукты наведенной радиоактивности, образующиеся в результате ядерных реакций. Нейтроны, образующиеся при цепной реакции деления урана или плутония воздействуют на ядра стабильных элементов, превращая их в радиоактивные (реакция активации). К этим радионуклидам относятся: ^{45}Ca , ^{24}Na , ^{27}Mg , ^{29}Al , ^{31}Si , ^{65}Zn , ^{54}Fe и др. Большая часть их распадается с испусканием бета- частиц и гамма- излучения.

Основными компонентами, составляющими искусственный радиационный фон являются выпадения искусственных радионуклидов, связанные с испытанием ядерного оружия; загрязнения локального, регионального и глобального характера, обусловленные неаварийными выбросами АЭС, радиоактивными отходами и выбросами при авариях на АЭС. Кроме того, источники ионизирующих излучений используются в промышленном производстве, в сельском хозяйстве, медицине, в научных целях и т.д.

Радиоактивные изотопы широко применяются в промышленности. Например, контроль износа поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания осуществляют, облучая кольцо нейтронами, в результате чего оно становится радиоактивным. При работе двигателя частицы материала кольца попадают в смазочное масло. Исследуя уровень радиоактивности масла за определенное время работы двигателя, находят износ кольца. С помощью радиоактивной дефектоскопии устанавливают наличие, место нахождения, форму и размеры внутренних дефектов в материалах и изделиях и т.д.

Широкое применение нашли радионуклиды в медицине. С их помощью диагностируют состояние отдельных органов – печени, легких, щитовидной железы и т.д. (^{32}P , ^{57}Ce , ^{131}J , ^{133}Xe и др.). Их используют для диагностики и лечения опухолей. С этой целью в организм вводят ^{131}J . Так как обмен веществ в

опухоли происходит быстрее, чем в здоровых тканях, радиоизотоп йода быстрее накапливается в опухолях. Исследуя излучения над разными участками тела, находят месторасположения опухолей.

Особую роль играет радиационная стерилизация инструментов, одноразовых шприцев, ваты, бинтов и т.д. Нашли применение радионуклиды и в сельском хозяйстве. Облучение семян повышает их всхожесть и урожайность. Применяют излучения и для дезинсекции зерна, консервации сельхозпродуктов. Радиоактивные вещества (их излучения) применяются также в археологии, геологии, геохимии и в др. отраслях.

7. Характеристика основных естественных радионуклидов (уран, торий, радий, радон, калий)

Уран. Природный уран состоит из смеси трех изотопов: уран-234, уран-235, уран-238. Имеются искусственные радиоактивные изотопы – с массовыми числами 227-240. Период полураспада урана-235 – 7×10^8 лет, урана-238 – $4,5 \times 10^9$ лет. При распаде урана и дочерних радионуклидов испускаются альфа- и бета-излучения, а также гамма-кванты. Проникает уран в организм разными путями, в том числе и через кожу. Растворимые соединения быстро всасываются в кровь и разносятся по органам и тканям, накапливаясь в почках, костях, печени, селезенке. Биологический период полувыведения из легких – 118-150 суток, из скелета – 450 суток. За счет урана и продуктов его распада годовая эквивалентная доза составляет 1,34 мЗв

Торий. Торий-232 – инертный газ. Продукты его распада – твердые радиоактивные вещества. Период полураспада – $1,4 \times 10^{10}$ лет. При превращениях тория и продуктов его распада выделяются альфа- бета- частицы, а также гамма-кванты. В минерале торианите содержится до 45-88% тория. Из сплава тория с обогащенным ураном изготавливаются ТВЭЛы. В организм поступает через легкие, желудочно-кишечный тракт, кожу. Накапливается в костном мозге, селезенке. Биологический период полувыведения из большинства органов – 700 суток, из скелета – 68 лет.

Радий. Радий-226 является важнейшим радиоактивным продуктом распада урана-238. Период полураспада равен 1622 года. Это серебристо-белый металл. Широко применяется в медицине в качестве источника альфа-частиц для лучевой терапии. Поступает в организм через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и кожу. Большинство поступившего радия депонируется в скелете. Биологический период полувыведения из костей около 17 лет, из легких – 180 дней, из других органов выводится в первые двое суток. При попадании в организм человека вызывает повреждение костной ткани, красного костного мозга, что приводит к нарушению гемопоэза, переломам, развитию опухолей. В течение одних суток 1 г радия дает при распаде 1 м^3 радона.

Радон. Радон-222 - бесцветный газ без запаха, продукт распада радия-226. Период полураспада – 3,83 суток. Радон – альфа-излучатель. Он образуется в месторождениях урана в радиоактивных рудах, содержится в природном газе, грунтовых водах и т.д. Может выходить и по трещинам горных пород, в плохо-вентилируемых шахтах, рудниках его концентрация может достигать больших величин. Радон встречается во многих строительных материалах. В атмосферу

поступает также при вулканической деятельности, при производстве фосфатов, работе геотермальных энергетических станций.

В лечебных целях применяется в виде радоновых ванн при лечении заболеваний суставов, костей, периферической нервной системы, хронических гинекологических заболеваний и др. Применяется также в виде ингаляций, орошений, приема внутрь воды, содержащей радон. В организм поступает в основном через органы дыхания. Период полувыведения из организма в пределах суток. Радон дает $\frac{3}{4}$ годовой эквивалентной дозы от земных источников облучения, и около $\frac{1}{2}$ дозы от всех естественных источников радиации.

Калий. Калий-40 – серебристо-белый металл, в свободном виде не встречается, так как очень химически активен. Период полураспада $1,32 \times 10^9$ лет. При распаде излучает бета-частицу. Является типичным биологическим элементом. Потребность человека в калии – 2-3 мг на кг веса в сутки. Много калия содержится в картофеле, свекле, помидорах. В организме всасывается 100% поступившего калия. Он распределяется равномерно по всем органам, относительно больше его в печени, селезенке. Период полувыведения около 60 суток.

8. Характеристика основных искусственных радионуклидов (йод-131, цезий-137, стронций-90, плутоний-239, америций-141)

Йод. Йод-131 образуется в реакциях деления урана и плутония, а также при облучении теллура нейтронами. Период полураспада 8,05 дней. Поступает в организм через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (всасывается 100% поступившего йода), кожу. Накапливается в основном в щитовидной железе, концентрация его в железе в 200 раз выше, чем в других тканях. Распадаясь, йод выделяет бета-частицу и 2 гамма-кванта. Период полувыведения из щитовидной железы 138 дней, из других органов 10-15 суток. Из организма беременной женщины йод через плаценту переходит к плоду.

Цезий. Цезий-137 вносит решающий вклад в суммарную эквивалентную дозу облучения. Цезий – серебристо-белый металл. Является источником бета- и гамма-излучений. Период полураспада цезия-137 – 30 лет. До аварии на ЧАЭС основным источником поступления цезия в окружающую среду являлись ядерные взрывы. Большая часть выпавшего цезия находится в форме, которая легко усваивается. В растениях в основном накапливается в соломе и ботве. В кишечнике человека всасывается 100% поступившего цезия. Накапливается он в основном в мышечной ткани. Период полувыведения из мышц – 140 суток.

Стронций. Период полураспада стронция-90 – 28,6 лет (у стронция-89 – 50,5 суток). Стронций-90 – бета-излучатель. Стронций легко усваивается растениями, животными, человеком. Концентратором стронция является кукуруза, содержание стронция в ней в 5-20 раз больше, чем в почве. В организме человека в зависимости от диеты усваивается в желудочно-кишечном тракте от 5% до 100% поступившего стронция (в среднем 30%). Накапливается в основном в скелете. Максимальная концентрация наблюдается у детей до 1 года. Период полувыведения стронция из мягких тканей составляет до 10 суток, из костей – до 8-10 лет и более.

Плутоний. Плутоний-239 является альфа-излучателем. Период полураспада его 24390 лет. Это серебристо-белый металл. Источником поступления

плутония являются ядерные взрывы, а также реакторы АЭС, особенно аварийные выбросы. В почве находится в поверхностных слоях и донных отложениях водоемов. Поступает в организм через легкие и желудочно-кишечный тракт, причем усваивается из ЖКТ значительно меньше 1%. Накапливается в легких, печени, костной ткани. Период полувыведения из скелета составляет 100 лет, из печени – 40 лет.

Америций. Америций-241 – продукт распада плутония-241 (период полураспада ^{241}Pu составляет – 14,4 года). Период полураспада америция-241 составляет 432,2 года, при распаде выделяется альфа- частица. Америций растворяется в воде значительно лучше плутония, поэтому отличается большей миграционной способностью. Накапливается до 99% в поверхностных слоях почвы, 10% америция находится в растворенной форме и легко усваивается растениями. Концентрируется у человека в скелете, печени, почках. Период полувыведения из скелета – до 30 лет, из печени – до 5 лет.

9. Миграция радионуклидов в природе, факторы, её определяющие

Радиоактивные вещества, прежде чем попасть в организм человека, проходят по сложным маршрутам в окружающей среде.

Радиоактивные вещества, если они заброшены в верхние слои атмосферы (стратосферу), многократно огибают землю, постепенно концентрируясь между тридцатым и пятидесятым градусами широты в северном и южном полушариях, независимо от географического положения места их истечения. Чем выше заброшены радионуклиды, тем дольше они находятся в атмосфере – один-два года и более. Большинство радионуклидов поступает в нижние слои атмосферы (тропосферу), находясь там в аэрозольном и газообразном состоянии.

Очищение атмосферы протекает длительно, но достаточно интенсивно. Радионуклиды, поступившие в атмосферу, под влиянием гравитационных сил (сил всемирного тяготения), а также под воздействием ряда метеорологических факторов (дождя, тумана, снега, града) оседают на поверхность Земли, в основном на почвенный покров. Решающую роль в очищении тропосферы выполняют осадки (захват частиц падающими каплями). Оседание радионуклидов на растительный покров происходит и без осадков, в результате турбулентного движения воздушных потоков в атмосфере. Возможно поступление радионуклидов в почву после их сброса в гидрографическую сеть с паводковыми водами, при орошении полей и т.д.

Оседая на земную поверхность – почвенно-растительный покров, радиоактивные изотопы (как естественные, так и искусственные) включаются в биологический круговорот в системе почва – растения – животные – человек.

Попадая в почву, радионуклиды мигрируют в ней. Под миграцией радионуклидов в почве понимается совокупность процессов, приводящих к перемещению радионуклидов в почве и перераспределению их по глубине и в горизонтальном направлении.

Миграция радиоактивных веществ при их попадании в почву зависит от ряда условий: физико-химических свойств изотопов; физико-химических свойств почвы (типа почвы); характера движения грунтовых вод; кислотности среды;

климатических условий; времени нахождения радионуклидов в почве и т.д. К движущим силам, приводящим к миграции радионуклидов в почвах, относятся:

- конвективный перенос (фильтрация атмосферных осадков в глубь почвы, капиллярный подток влаги к поверхности в результате испарения, термоперенос влаги под действием градиента температуры);
- диффузия свободных и адсорбированных ионов;
- перенос по корневым системам растений;
- перенос на мигрирующих коллоидных частицах (лессиваж);
- роющая деятельность почвенных животных;
- хозяйственная деятельность человека;
- ветровая эрозия почвы.

Различные почвы обладают разной емкостью поглощения радионуклидов. Высокой емкостью поглощения обладают черноземы, глинистые почвы, сорбционная способность которых обусловлена наличием гумуса. Поглотительная способность дерново-подзолистых, песчаных почв значительно меньшая. Некоторые изотопы, например, стронций и цезий могут переходить из обменной формы в необменную благодаря включению их в кристаллическую решетку почвенных минералов и солей: фосфатов, сульфатов и других малорастворимых соединений.

Миграция радионуклидов вглубь почвы протекает крайне медленно. Основная масса радионуклидов до сих пор распределена в 10 сантиметровом слое почвы, а на пашне – в пахотном горизонте. В ближайшие 20-25 лет самоочищения почв в результате миграции радионуклидов в нижележащие горизонты не произойдет.

10. Радионуклиды и растительный мир

В растительные организмы радионуклиды попадают во время атмосферных осадков, при фотосинтезе (углерод и тритий участвуют в образовании углеводов, белков и других компонентов растительной ткани) и из почвы. В общем цикле круговорота радионуклидов в наземной среде важным является звено почва – растения. В результате загрязнения почвы радиоактивными веществами отмечается их поступление в наземную растительность. Для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения используют различные показатели. Одним из наиболее широко применяемых является коэффициент накопления (КН) – отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно.

Накопление радионуклидов растениями из почвы зависит от комплекса факторов: физико-химических свойств радионуклидов; агрохимической характеристики почвы; биологических особенностей растений; агротехники возделывания культур; климатических условий.

Радиоактивные изотопы, находящиеся в почве, как правило, переходят в корневую систему растений, аналогично стабильным изотопам тех же элементов. Из песчаных легких почв радионуклиды поступают в растения значительно легче, чем из тяжелых глинистых почв. Чем сильнее радиоизотоп фиксируется в почве, тем меньшее его количество попадает в растения. Так, например, овес, выращенный на песке, накапливает стронция-90 в несколько раз больше, чем

овес, выращенный на суглинке. При этом из глинистого песка поступает 8-10%, а из тяжелых суглинков – всего 1% от всего стронция-90, попавшего в почву. Относительное накопление растениями различных изотопов из почв следующее: стронций > йод > барий > цезий > рубидий > церий > цирконий > плутоний. При одинаковой плотности загрязнения почвы стронцием и цезием, концентрация стронция в грубых кормах в 40-50 раз выше, чем цезия.

Такие изотопы, как стронций и цезий легко проникают через корневую систему во все органы растений. Другие же радионуклиды – церий, цирконий, плутоний – накапливаются в основном в корневой системе растений.

Многолетние луговые травы могут накапливать большое количество радиоактивных веществ, что превышает накопление однолетними сельскохозяйственными культурами. В лесной зоне наибольшей способностью задерживать радиоактивные вещества обладают хвойные породы деревьев, что связано с медленной сменой игл. Имеются там называемые растения – концентраторы, которые способны жадно захватывать радиоактивные вещества, усваивая их с большой площади. Это лишайники, мхи, грибы, бобовые, злаки. Стронций-90 в 2-6 раз интенсивнее поглощается бобовыми культурами, чем злаковыми. Наиболее интенсивно идет накопление радионуклидов в листьях и стеблях. Так, в созревших растениях фасоли стронций-90 распределяется следующим образом: в листьях 53-68%, в стеблях 15-28%, створках бобов 12-15%, в зерне 7-14%. Озимые культуры накапливают радионуклиды в меньших количествах, чем яровые. По количеству цезия-137 от меньшего к большему растения можно расположить в ряд: пшеница < ячмень < горох < гречка < овес < фасоль < картофель < морковь < свекла < бобы. Грибы накапливают радионуклиды на 1-2 порядка больше, чем их концентрация в почве. По накоплению цезия-137 в плодовых телах грибы делятся на 4 группы:

- слабонакапливающие (опенок осенний, строчок);
- средненакапливающие (подберезовик, белый гриб, лисичка, шампиньон, рядовка);
- сильнонакапливающие (груздь черный, рыжик, сыроежки всех видов);
- аккумуляторы (гриб польский, масленок, волнушка, козляк, моховик).

В шляпках накапливается цезия-137 в 1,5-3 раза больше, чем в ножках.

Из дикорастущих ягод сильнее всего концентрируют радионуклиды клюква, малина, черника, земляника (самая «чистая»). По накоплению цезия-137 ягоды располагаются в убывающем порядке: черника, голубика, брусника, клюква, земляника. Содержание радионуклидов на приусадебном участке в ягодах меньше, чем в лесу. Смородина (красная и черная) накапливает радионуклиды, крыжовник является наиболее «чистым».

Повышенное содержание стронция и цезия характерно для ароматической столовой зелени: в укропе, петрушке, шпинате, и особенно в щавеле. Лук, капуста, свекла накапливают радионуклидов меньше, чем огурцы, томаты, морковь.

По накоплению стронция-90 древесными растениями установлен следующий убывающий ряд: осина, береза, ольха, ель, сосна, дуб. Береза поглощает из почвы цезия-137 в 2-18 раз, а стронция-90 – в 13 раз больше, чем сосна.

При отмирании травянистой и древесной растительности, а также с пожнивными остатками радионуклиды возвращаются в процессы миграции.

11. Поступление радионуклидов в организм гидробионтов

Загрязнение рек, озер и других водоемов происходит в результате оседания радионуклидов на их поверхности из атмосферы, а также путем смыва их дождевыми водами с загрязненных участков почвенно-растительного покрова. Будучи хорошо растворимыми в воде, некоторые радиоактивные вещества (стронций-90, цезий-137 и др.) могут накапливаться в водоемах. При поступлении радиоактивных веществ в воду открытых водоёмов, в первую очередь отмечается их разбавление, поглощение дном и тканями гидробионтов. Эффективность процесса разбавления в реках и закрытых водоемах неодинаковая (в реках большая).

Накопление радионуклидов гидробионтами происходит в результате адсорбции и диффузии; поступления радионуклидов через органы дыхания и пищеварения. Среди обитателей водоемов существуют организмы-концентраторы, которые активно поглощают радионуклиды. Некоторые гидробионты концентрируют их в десятки тысяч раз больше в сравнении с содержанием радионуклидов в воде. Это водоросли, планктон, моллюски, ракообразные и другие донные организмы. Большая удельная поверхность тела у планктона, губок и некоторых других гидробионтов создает условия для адсорбции ими значительного количества радионуклидов. Так, коэффициент накопления стронция-90 в водорослях достигает 100, в мышцах рыб – только 0,1. При этом скорость накопления радионуклидов довольно значительная. Так, дафния накапливает 50-60% от предельного накопления радиоактивного стронция за 5 мин. В последующем накоплении принимают участие и обменные процессы. Время, необходимое для максимального накопления радиоактивных веществ зоопланктоном, составляет несколько часов. У водных растений процесс накопления более медленный. Предельное накопление в водорослях происходит в течение 7-30 суток.

У рыб основным путем поступления радионуклидов является поступление через органы пищеварения. Поэтому в данном случае существенное значение имеют уровни загрязнения низших организмов, являющихся кормом для рыб. Радиоактивные изотопы проникают в организм рыб также через жабры. Время предельного накопления радиоизотопов в теле рыб колеблется от 10 до 120 дней. У хищных рыб накапливается радионуклидов меньше, чем у планктонофагов. В порядке убывания содержания радионуклидов в тканях рыб их можно распределить следующим образом: судак > щука > окунь > плотва > лещ > карп.

При снижении удельной активности воды имеет место выведение накопленных радионуклидов из организма гидробионтов. В среднем на протяжении 10 дней нахождения в чистой воде планктон и водоросли теряют 95-97% от общего количества накопленных радионуклидов. Выведение радионуклидов из тканей рыб происходит с меньшей скоростью. Так, стронций-90 даже через 3 месяца пребывания рыбы в чистой воде находится в ее мышцах до 10% накопленного количества, а в костях – до 50% первоначального уровня. Так, в мыш-

цах рыбы даже через 3 месяца её пребывания в чистой воде, содержится до 10% накопленного количества стронция-90, а в костях – до 50% первоначального уровня.

12. Действие излучений на организм растений и животных

Первичные реакции в сложном растительном организме начинаются с действия радиации на биологически активные молекулы, входящие в состав практически всех компонентов живой клетки. Биологические процессы, вызванные облучением растений, связаны с множеством обменных реакций в клетках. В зависимости от дозы облучения и фазы развития растений в момент воздействия излучений у вегетирующих растений наблюдается значительная вариабельность изменений обменных процессов. Реакция растительных объектов на действие гамма- и рентгеновского излучения проявляется в виде активации или подавления ростовых процессов, что вызывает изменение темпов клеточного деления.

При действии повреждающих доз излучений в растениях возникают различные морфологические аномалии. Так в листьях происходит увеличение или уменьшение количества и размеров, изменение формы, скручиваемость, асимметричность расположения листьев, утолщение листовой пластинки, опухоли, появление некротических пятен. При поражении стеблей наблюдается угнетение или ускорение их роста, нарушается порядок расположения листьев, изменяется цвет, появляются опухоли и аэральные корни. Наблюдается также угнетение или ускорение роста корня, расщепление главного корня, отсутствие боковых корней, появление вторичного главного корня, опухолей. Происходит также изменение цветков, плодов, семян – ускорение или задержка цветения, увеличение или уменьшение количества цветков, изменение цвета, размеров и формы цветков; увеличение или уменьшение количества плодов и семян, изменение их цвета и формы и т.д.

В ряде случаев действие больших доз облучения на растения повышает темпы развития их вследствие активации процессов старения – растение быстрее зацветает и созревает. Разнообразны и генетические повреждения. В результате мутаций, например, у пшеницы встречаются высокорослые, низкорослые, карликовые формы, растения с ветвящимися или стелющимися стеблями. При больших дозах возможна гибель растений.

При действии излучений в невысоких дозах (5-10 Гр для семян и 1-5 Гр для вегетирующих растений) наблюдается так называемая радиостимуляция – ускорение темпов роста и развития растений. Стимуляция наблюдается при действии гамма-, бета- и рентгеновских излучений (при действии альфа-излучений стимуляции не наблюдается).

При действии больших доз уменьшается не только количество зерна в урожае, но заметно изменяется и его качество – обычно зерно оказывается щуплым.

Таким образом, реакция растений на действие излучений сложна и разнообразна. Процессы, происходящие на молекулярном и клеточном уровне, в целом сходны у всех живых организмов. На более высоких уровнях организации проявляются только характерные для растений изменения, зависящие от осо-

бенностей структуры и функций различных тканей и органов растительного организма.

С травой и другими растениями радионуклиды попадают в организм животных, т.е. основным источником радиации является корм. Поступление через органы дыхания и через кожу играет незначительную роль. Попавшие в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) радионуклиды вступают в процессы метаболизма, включающие всасывание, перемещение по отдельным органам и тканям, депонирование и выведение. От интенсивности этих процессов зависит, в конечном счете, накопление радионуклидов в продукции животноводства.

Интенсивность и величина всасывания радионуклидов в ЖКТ зависят от химической формы соединения, в которое включен радионуклид и его физико-химических свойств. Коэффициент всасывания различных радионуклидов различен у разных животных. Такие радионуклиды как йод-131, цезий-137, тритий всасываются в ЖКТ полностью, а стронций-90 – 6-16%. Всасывание зависит от возраста животных (у молодых особей всасывание в несколько раз больше).

Биологические эффекты действия радиации на животный мир изучены недостаточно. Известно, что очень высокие дозы приводят к гибели млекопитающих, меньшие – к заболеваниям, генетическим изменениям, половым расстройствам, неспособности к воспроизведению, выкидышам. Биологические эффекты, происходящие в клетках подразделяются на 2 группы: стохастические и нестохастические.

Стохастические эффекты признаются беспороговыми и могут наблюдаться в клетках животных после минимальных доз облучения. К ним относятся: 1) репродуктивная гибель клетки; 2) возникновение генных мутаций; 3) появление хромосомных aberrаций; 4) злокачественная трансформация клетки.

Нестохастические эффекты имеют пороговую дозу, ниже которой изменения отсутствуют. К нестохастическим реакциям относятся: 1) радиационная задержка и стимуляция деления клеток; 2) угнетение синтеза ряда веществ; 3) пострadiационное разрушение ДНК; 4) изменение проницаемости биологических мембран; 5) нарушение обмена кальция и функционирования ферментативных систем.

При действии радиационных излучений наблюдаются радиационные эффекты в тканях и органах животных. Прежде всего, наблюдается патология кроветворения и связанная с ней депрессия клеточных элементов крови (эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов). Эти изменения характерны для клинического синдрома острой лучевой болезни. Под действием излучений меняется весь комплекс защитных механизмов и реакций организма (клеточных и гуморальных факторов иммунитета). При радиационных поражениях меняется естественная устойчивость к эндогенным (внутреннего происхождения) инфекциям. Негативное влияние гамма-излучений на воспроизводительную функцию сельскохозяйственных животных и качество потомства определяется в основном поражением эмбриона в период дифференцировки органов, а также семяродного эпителия яичек и яичников родителей.

По клиническому проявлению, характеру течения и исходу заболевания при общем облучении у животных различают острую и хроническую лучевую болезнь.

Из местных поражений возможно радиоактивное загрязнение кожных покровов с развитием бета-ожогов кожи, по тяжести поражения различают четыре степени: легкую, среднюю, тяжелую и крайне тяжелую.

ЛЕКЦИЯ № 3.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

1. Внешнее и внутреннее облучение. Опасность внутреннего облучения

Существует два различных пути, при помощи которых излучение достигает ткани организма и воздействует на них.

Первый путь – **внешнее облучение** от источника, расположенного вне организма. Оно вызывается гамма-излучением, рентгеновским излучением, нейтронами, которые глубоко проникают в организм, а также бета-лучами с высокой энергией, способными проникать в поверхностные слои кожи. Источниками фоновое внешнего облучения являются космические излучения, гамма-излучающие нуклиды, которые содержатся в породах, почве, строительных материалах (бета-лучи в этом случае можно не учитывать в связи с низкой ионизацией воздуха, большим поглощением бета-активных частиц минералами и строительными конструкциями).

Значительная часть суммарной дозы внешнего облучения обусловлена естественными источниками радиации, она образуется за счёт гамма-

излучающих веществ, содержащихся в поверхностном слое пород и почв. Годовая эквивалентная доза, обусловленная гамма-излучением естественных радионуклидов, содержащихся в почве, оценивается путём умножения средней мощности поглощённой дозы в воздухе на относительное время нахождения человека на открытой местности (равное 0,2) и на коэффициент, равный 0,7 (отношение мощности эквивалентной дозы к поглощённой дозе в воздухе для средних значений гамма-излучения).

$$D=50 \text{ нГр/час} \times 0,7 \text{ Зв/Гр} \times 8760 \text{ часов в год} \times 0,2=61 \text{ мкЗв/год}$$

Доза внешнего облучения, которая обусловлена бета-частицами естественных радионуклидов, содержащихся в почве и воздухе, составляет 7 мкЗв/год=0,007 мЗв/год.

Второй путь – **внутреннее облучение** от ионизирующих излучений радиоактивных веществ, находящихся внутри организма (поступивших при вдыхании, приёме пищи и воды, проникновении через кожу). В организм попадают как естественные, так и искусственные радиоизотопы. Подвергаясь в тканях тела радиоактивному распаду, эти изотопы излучают альфа-, бета-частицы, гамма-лучи.

Существует ряд особенностей, которые делают внутреннее облучение во много раз более опасным, чем внешнее (при одних и тех же количествах радионуклидов):

1. При внутреннем облучении увеличивается время облучения тканей организма, так как при этом время облучения совпадает со временем нахождения РВ в организме (при внешнем облучении доза определяется временем нахождения в зоне радиационного воздействия).

2. Доза внутреннего облучения резко возрастает из-за практически бесконечно малого расстояния до тканей, которые подвергаются ионизирующему воздействию (так называемое контактное облучение).

3. При внутреннем облучении исключается поглощение альфа-частиц роговым слоем кожи (альфа-активные вещества становятся наиболее опасными).

4. За небольшим исключением РВ распределяются в тканях организма неравномерно, а выборочно концентрируются в отдельных органах, ещё более усиливая их облучение.

5. В случае внутреннего облучения нет возможности использовать методы защиты, которые разработаны для внешнего облучения (экранирование, сокращение времени нахождения в поле действия РВ, удаление от источника облучения).

За счёт естественной радиоактивности (фона природных изотопов и космических излучений) индивидуальная эквивалентная доза составляет 2,4 мЗв/год, в т.ч. за счёт внешнего облучения 0,8 мЗв/год, за счёт внутреннего облучения 1,6 мЗв/год.

2. Пищевые цепочки

Радионуклиды в организм человека поступают через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (с водой и пищей) и через кожу. Большинство радионуклидов поступает с продуктами растениеводства и животноводства. Пути

миграции радионуклидов в организм человека различны и осуществляются в основном по следующим пищевым цепочкам.

1. Атмосфера – почва – растения – человек (так поступают в организм человека радионуклиды с овощами, ягодами, злаками, грибами и т.д.).
2. Атмосфера – почва – растения – травоядные животные – молоко и мясные продукты – человек (из почвы радионуклиды поступают в корневую систему растений, а затем в вегетативные органы). Имеет место и поступление радионуклидов в организм животных с пищей, так корова слизывает за год до 600 кг земли, в т.ч. и загрязненной радионуклидами.
3. Атмосфера – растения – животные – молоко и мясные продукты – человек (в этом случае радионуклиды в растения поступают аэральным путем, а затем уже в организм животных).
4. Атмосфера – вода открытых водоемов – фито- и зоопланктон и другие обитатели водоемов – рыбы – человек. Ракообразные, моллюски, водоросли и вообще придонные животные загрязняются более сильно из-за сорбции радиоактивных веществ. В организм рыб радионуклиды поступают с пищей и через жабры.
5. Атмосфера – вода – человек (с водой поступает до 5% активности). Питьевая вода очищается довольно быстро, так как радиоактивные частицы оседают на дно водоемов.

Мясомолочные продукты – основные поставщики радиоактивности в организм человека. Если до аварии на ЧАЭС активность цезия-137 в молоке не превышала 0,3 Бк/л, то в мае 1986 г. на юге Гомельской области она составляла 330000 Бк/л. Загрязнение молока осенью 1986 г. в Гомельской области составило 3577 Бк/кг (по РДУ-96 уровень содержания цезия-137 в молоке не должен превышать 114 Бк/л, в мясе – 600 Бк/кг). Из-за глобальных выпадений при испытаниях ядерного оружия на Новой Земле оленеводы приполярной тундры получили дозы в 100-1000 раз большие, чем остальное население (ягель, которым питаются олени, является концентратом радиоактивных веществ).

3. Пути поступления радионуклидов в организм человека

Радиоактивные вещества могут попадать в организм человека тремя путями: через органы дыхания (при вдыхании загрязненного радиоактивными аэрозолями воздуха), через желудочно-кишечный тракт (с продуктами питания и водой), через кожу (резорбция через кожу). С воздухом в организм человека поступает несколько более 1% радиоактивности. Примерно 5% попадает с питьевой водой. Основную опасность представляет поступление радионуклидов с пищей.

Наиболее важным и потенциально опасным является **ингаляционное поступление** радионуклидов. Этому содействует большая дыхательная поверхность альвеол, площадь которой достигает 100 м^2 и более (более чем в 50 раз превышает площадь кожи). Кроме того, этот путь опасен и из-за более высокого коэффициента захвата и усвоения изотопов из воздуха.

Радиоактивность воздуха может быть обусловлена содержанием в нем радиоактивных газов или аэрозолей в виде пыли, тумана, дыма. Доля радио-

нуклидов, которые задерживаются в дыхательной системе, зависит от размера частиц, минутного объема легких и частоты дыхания.

При вдыхании воздуха радиоактивные вещества, содержащиеся в нем (частицы радиоактивной пыли), задерживаются на всем протяжении дыхательного тракта от преддверия носа, носоглотки, полости рта до глубоких альвеолярных отделов легких. При этом между размером частицы и глубиной ее проникновения имеется зависимость. Чем меньший диаметр частиц, тем относительно меньше их задерживается в верхних дыхательных путях, бронхах и тем больше их проникает в альвеолярные отделы легких, т.е. в те области, где отсутствуют механизмы, которые способны выводить попавшие частицы в бронхи и трахею (т.е. наружу).

Дальнейшая судьба радионуклидов, отложившихся в дыхательных путях, также связана с размерами радиоактивных частиц, их физико-химическими свойствами и транспортабельностью в организме. Вещества, хорошо растворяющиеся, в основном быстро (за несколько десятков минут) всасываются в кровеносное русло. Этому содействует широкое развитие сети капилляров, через которые и происходит обмен газов в легких. Затем эти вещества в процессе обмена веществ откладываются в определенных органах и системах или выводятся из организма.

Вещества, слабо растворяющиеся или не растворяющиеся, оседают в верхних дыхательных путях и выделяются вместе со слизью, после чего с большой вероятностью попадают в ЖКТ, где всасываются кишечной стенкой.

Частицы, которые осели в альвеолярной части легочной ткани, или захватываются фагоцитами и удаляются, либо мигрируют в лимфатические узлы легких, трахеи, удаляясь из них в течение нескольких месяцев и даже лет.

Второй по значимости путь – **поступление радионуклидов с пищей и водой**. Питательные вещества вместе с фоновыми концентрациями естественных радиоактивных веществ могут быть загрязнены искусственными радионуклидами, которые из внешней среды по биологическим пищевым цепочкам попадают в растения, организмы животных и, наконец, в продукты питания.

Дальнейшая судьба радиоактивных веществ зависит от их растворимости в кислой среде желудка. Многие растворимые соединения, а именно редкоземельные и трансурановые элементы, в частности соединения плутония, при щелочной среде кишечного сока превращаются в нерастворимые соединения. Возможно и обратное, когда плохо растворимые в воде вещества в жидкой среде ЖКТ превращаются в растворимые компоненты, которые хорошо всасываются в кровь через эпителий кишечника.

В организм поступает только некоторая часть радионуклидов, попавших в кишечник, большая часть их проходит «транзитом» и удаляется из кишечника. Коэффициент всасывания (резорбции) – это доля вещества, которая поступает из ЖКТ в кровь. Он равен для трития, натрия, криптона, йода, цезия, ксенона – 1,0; стронция – 0,3; теллура – 0,25; урана, радия – 0,2; бария, полония – 0,1; церия, висмута – 0,05; плутония – 0,0005. Радиоактивные вещества, которые в ЖКТ всасываются в количестве менее 1% (коэффициент всасывания менее 0,01) очень быстро удаляются с калом (в течение 1-4 суток).

Таким образом, в случае поступления радионуклидов в организм с продуктами питания и водой, когда отдельные участки кишечника поглощают значительную часть энергии излучаемых частиц, ЖКТ становится критическим органом.

Поступление радионуклидов через кожу. До недавнего времени считали, что неповрежденная кожа является эффективным барьером для радионуклидов. Резорбция через неповрежденную кожу в 200-300 раз меньшая, чем из ЖКТ. Сейчас известен целый ряд радионуклидов, которые проникают через кожу в составе жидких или газообразных соединений (особенно через порезы, царапины, ссадины). Так, скорость проникновения паров оксида трития и газообразного йода через неповрежденную кожу сравнивается со скоростью проникновения этих веществ через дыхательные пути, а количество плутония, проникающего через кожу в виде водорастворимых соединений, не меньше, чем при поступлении через ЖКТ. При приеме радоновой ванны на протяжении 20 минут в организм проникает через кожу до 4% радона, содержащегося в воде. Хорошо проникает через кожу молибден, церий, иттрий. Стронций, цезий, теллур через кожу всасывается медленно.

4. Типы распределение радионуклидов в организме

Судьба радионуклидов, попавших в организм, зависит от их свойств и химической природы. Различные вещества по разному накапливаются и выводятся из организма. Одни из них в виде растворов выводятся с мочой, другие могут задерживаться в организме на различные сроки.

Существуют три основные типы распределения радионуклидов в организме: скелетный, ретикулоэндотелиальный, диффузный (равномерный).

Наиболее важным и потенциально опасным является **скелетный тип** (остеотропные вещества). Он характерен для щелочноземельных металлов – кальция, стронция, бария, радия, а также иттрия, циркония, цитратов плутония. Эти радионуклиды накапливаются в минеральной части скелета, т.е. в костной ткани. Они концентрируются по соседству с красным костным мозгом, самым радиочувствительным органом человеческого тела. При этом поражается система кроветворения, страдает иммунитет и могут развиваться злокачественные переорождения крови – лейкозы.

Ретикулоэндотелиальный тип распределения характерен для радионуклидов редкоземельных элементов – лантана, церия, празеодима, прометия, а также цинка, америция, тория, плутония, калифорния и др. Все они концентрируются в селезенке, лимфатических узлах, где образуются лейкоциты (лимфоциты). В результате уменьшения количества лимфоцитов снижается иммунитет.

Равномерное (диффузное) распределение характерно для щелочных элементов – лития, калия, натрия, цезия, рубидия, а также для трития, азота, углерода, полония и некоторых других элементов. Цезий, калий, рубидий накапливаются в основном в мышечной ткани.

Для изотопов германия, висмута, урана, кадмия, мышьяка, платины, рутения и других характерен **почечный тип** распределения радионуклидов. В

почках откладывается до 5% от общего количества радионуклидов, поступивших в организм человека.

По **печеночному** типу распределяются такие радионуклиды, как лантан, церий, прометий, нитраты плутония и др. В печени накапливается до 60% этих радионуклидов.

Известны случаи высокой избирательности накопления радионуклидов. Так по **тиреотропному** (щитовидному) типу накапливается йод, астат, рений, теллур, технеций. Йод избирательно накапливается в щитовидной железе, концентрация его в железе в 100-200 раз больше, чем в других тканях. При облучении в больших дозах происходит дегенерация, потеря функции щитовидной железы и склероз сосудов ее. В дальнейшем увеличивается частота доброкачественных и злокачественных опухолей железы.

Следствием большой неоднородности накопления радионуклидов в тканях являются специфически формирующиеся патологические процессы, например, цирроз печени, очаги склероза в легких и изменения в костной ткани, в том числе образование остеосарком.

5. Выведение радионуклидов из организма

Попавшие в организм радионуклиды участвуют в обмене веществ по принципу, аналогичному тому, как это происходит для их стабильных изотопов. Выводятся они из организма через те же самые выделительные системы, что и их стабильные носители.

Основное количество радиоактивных веществ выводится через желудочно-кишечный тракт и почки, в меньшей степени – через легкие и кожу. У кормящих матерей часть радионуклидов выделяется с молоком (йод-131). Скорость выведения радионуклидов зависит от их природы, возраста, функционального состояния организма, особенностей поступления и распределения в организме радионуклидов и от других факторов. Наиболее быстро выводятся радионуклиды, депонирующиеся в тканях, где скорость обмена веществ высокая. Так, остеотропные радионуклиды выводятся медленнее, потому что в костной ткани обмен веществ ниже, чем в мягких тканях. Кроме того, они способны включаться непосредственно в костную ткань, замещая там кальций (к ним относятся стронций-90, барий-140). Свободные радионуклиды быстрее выводятся из организма (йод-131, рутений-106, цезий-137). Связанные с тканевыми структурами (белком) и находящиеся в коллоидном состоянии радионуклиды выводятся медленнее (лантан-140, церий-144, прометий-147). Цезий-137 выводится из организма быстрее, чем стронций-90, а йод-131 быстрее, чем цезий-137.

Различны также пути выведения. При хроническом поступлении большая часть йода-131 и цезия-137 выводится через почки, тогда как стронций-90, барий-140, кобальт-60, рутений-106 выводятся в основном через желудочно-кишечный тракт.

Поскольку различные ткани по-разному связывают один и тот же радионуклид, то и скорость выведения из этих тканей различна. Скорость выведения характеризуется биологическим периодом полувыведения. Биологический пе-

риод полувыведения – это время, за которое из организма выводится половина радионуклидов, поступивших в организм.

Биологический период полувыведения йода-131 из целостного организма 138 суток, щитовидной железы – 138, печени – 7, селезенки – 7, скелета – 12 суток. Биологический период полувыведения для цезия-137 из организма равен 70 суткам, из мышц, легких и скелета – 140 суток. Биологический период полувыведения стронция-90 из мягких тканей – 5-8 суток, из костей – до 150 суток (16% выводится с периодом полувыведения равным 3360 суток). Радий-226 выводится из скелета человека с периодом полувыведения 17 лет, из легких – 180 суток.

6. Этапы действия ионизирующих излучений на человека

Под биологическим действием ионизирующих излучений понимают связанную с облучением совокупность морфологических и функциональных изменений в живом организме.

Ионизирующие излучения обладают высокой биологической активностью. Они способны вызывать ионизацию любых химических соединений биосубстратов, образование активных радикалов и этим индуцировать длительно протекающие реакции в живых тканях. Воздействуя на живой организм, ионизирующее излучение вызывает в нем цепочку обратимых и необратимых изменений в клетках, тканях, органах и организме в целом. Результатом биологического действия радиации является нарушение нормальных биохимических процессов с последующими функциональными и морфологическими изменениями в клетках и тканях организма, вплоть до его гибели.

Влияние радиации на вещество – это серия актов взаимодействия фотонов или частиц высокой энергии с атомами (молекулами) вещества.

Воздействие ионизирующих излучений на биологические объекты подразделяют на 5 этапов:

1. Физический этап. Первичным пусковым моментом, инициирующим многообразные процессы, происходящие в организме, является ионизация и возбуждения атомов и молекул. Физический этап заключается в передаче энергии фотона или частицы одному из электронов атома. Для ионизации большинства элементов, входящих в состав биологического субстрата необходимо поглощение энергии в 10-12 эВ. Ионам и возбужденным атомам свойственна повышенная химическая реактивность, они способны вступать в такие реакции, которые невозможны для обычных атомов. Длительность этапа 10^{-12} - 10^{-8} с.

2. Физико-химический этап взаимодействия излучения с веществом протекает в зависимости от состава и строения облучаемого вещества. Принципиальное значение имеет наличие в облучаемой ткани воды и кислорода. В основе первичных радиационно-химических изменений молекул лежат 2 механизма, обозначаемые как прямое и косвенное действие радиации.

Под прямым действием радиации понимают непосредственное взаимодействие образовавшихся при ионизации электронов с биомолекулами, передача последним части энергии.

Под косвенным действием понимают изменения, вызванные продуктами радиационного разложения (радиолиза) воды. Свободные радикалы и окисли-

тели, образующиеся при этом, обладают высокой химической реактивностью, что и приводит к изменениям в клетках и тканях.

3. Этап биомолекулярных повреждений. В результате прямого и косвенного действия излучений происходят изменения белков, липидов и углеводов. Поражаются липиды клеточных мембран, нарушая проницаемость их. Повреждаются микромолекулы ферментов, нарушается синтез РНК, тормозится синтез ДНК, наблюдаются однонитчатые и двунитчатые разрывы нитей ДНК, приводящие к хромосомным aberrациям. Имеют место генные мутации, их появление в клетках означает, что клетка содержит генетический материал, отличный от генетического материала, содержащегося в исходных (нормальных) клетках. Повреждаются структурные элементы клетки – ядра, хромосомы, митохондрии, лизосомы, нарушается синтез АТФ (аденозинтрифосфата). Поражение ядра приводит к синтезу изменённых белков (в результате нарушения РНК), которые впоследствии приводят к образованию злокачественных опухолей, вторичных радиотоксинов, вызывающих старение организма и лучевую болезнь. Повреждение лизосом приводит к цитолизу, высвобождению ферментов, способных вызывать изменения нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов. Нарушение структуры и функций митохондрий снижает уровень энергических процессов клетки. К числу наиболее радиочувствительных процессов в клетке относится окислительное фосфорилирование, которое ведёт к нарушению системы генерирования АТФ, что в дальнейшем ведёт к нарушению энергетики клетки и лучевой болезни.

4. Этап ранних биологических и физиологических эффектов. На процесс радиационного поражения влияет ряд факторов: доза и вид облучения, время экспозиции, мощность поглощённой дозы и др. Очень большие дозы вызывают гибель клеток, в результате огромных нарушений всех субклеточных структур и невозможности их восстановления. При маленьких дозах цитолиз не происходит, но снижается репродуктивная способность. Клетка, утратившая способность делиться, не всегда имеет признаки повреждений, она может ещё долго жить и после облучения. Различные клетки обладают разной радиочувствительностью. Наибольшей радиочувствительностью обладают делящиеся клетки. Это кроветворные клетки костного мозга, зародышевые клетки семенников и яичников, клетки эпителия тонкого кишечника. Сюда же относят и лимфоциты, которые, несмотря на их дифференциацию и неспособность к делению, обладают высокой радиочувствительностью.

Группы клеток образуют ткани, из которых состоят органы и системы органов. Ткань – это не просто сумма клеток, это уже система, имеющая свои функции, не сводимые к функции отдельных клеток. Более подвержены радиации ткани, клетки которых активно делятся. Поэтому быстрее повреждается красный костный мозг, желудочно-кишечный тракт. Хотя нервная ткань принадлежит к достаточно устойчивым структурам, в функциональном отношении ЦНС радиочувствительна, так как самые ранние реакции организма на общее облучение проявляются в расстройстве подвижности и уравновешенности процессов возбуждения и торможения нервной системы. Половые железы очень чувствительны к радиации. Яичники взрослых женщин содержат большое число незаменимых яйцеклеток, находящихся на разных стадиях развития. В ре-

зультате репродуктивной гибели яйцеклеток может наступить стойкое бесплодие.

Гибель отдельных органов может наступить в результате развития злокачественных новообразований (опухолей) – рака щитовидной железы, молочной железы, лёгких и т.д.

5. Этап отдалённых биологических эффектов. К ним относятся стойкие нарушения функций отдельных органов и систем, сокращение продолжительности жизни, соматические эффекты (лейкозы, злокачественные новообразования, катаракта и др.), изменения генетической характеристики в результате мутаций. Особенно опасно накопление мутаций в генофонде, в результате чего генофонд будет не в состоянии обеспечить воспроизводство нации.

7. Прямое и косвенное действие радиации

Под прямым действием радиации понимают передачу энергии излучения непосредственно молекуле, которая испытывает превращения. Ионизирующие излучения (точнее – электроны, образовавшиеся в момент облучения) взаимодействуют непосредственно с биомолекулами, в результате чего происходит перенос части кинетической энергии на биомолекулы. Это приводит их в ионизованное или возбужденное состояние. При ионизации и возбуждении сложных молекул происходит их диссоциация (распад) в результате разрыва их химических связей. Прямое воздействие радиации может вызвать расщепление молекулы белка, разрыв наименее прочных связей, отрыв радикалов и другие денатурирующие явления. В первую очередь разрушаются ферменты и гормоны.

Под косвенным действием понимают изменения молекул клеток и тканей, обусловленные продуктами радиационного разложения (радиолиза) воды и растворенных в ней веществ, а не энергией излучения, поглощенной самими молекулами. В организме косвенное действие осуществляется через продукты радиолиза воды, которая в живой клетке составляет 60-70 и даже 90% её массы. Именно в воде растворены белки, нуклеиновые кислоты, ферменты, гормоны и другие жизненно важные вещества, являющимися основными компонентами клетки, которым легко может быть передана энергия, первоначально поглощённая водой.

При взаимодействии ионизирующих излучений (гамма-квантов, заряженных частиц) с атомами происходит ионизация и возбуждение атомов. При радиолизе воды под действием излучения из молекулы воды выбивается электрон и образуется положительно заряженный ион воды. «Вырванный» электрон присоединяется к нейтральной молекуле воды, образуя отрицательный ион воды. Ионы воды, которые при этом образовались, в свою очередь распадаются (диссоциируют), с образованием свободных радикалов водорода и гидроксида. Обладая большой химической активностью, свободные радикалы взаимодействуют друг с другом (происходит рекомбинация, восстановление воды, образуются молекулы водорода и молекулы воды, выделяется кислород, являющийся сильным окислителем, и пероксид водорода). При наличии в среде растворенного кислорода возможна реакция образования гидропероксидного радикала.

Пероксидные вещества обладают сильными окислительными и токсическими свойствами. Вступая в соединения с органическими веществами и преж-

де всего с молекулами, получившими высокую химическую активность в результате ионизации или возбуждения, они вызывают значительные химические изменения в клетках и тканях (деполимеризацию нуклеиновых кислот, нарушение проницаемости клеточных мембран, повышение проницаемости стенок кровеносных сосудов, сопровождающееся кровотечениями и кровоизлияниями в ткани и органы).

Свободные радикалы вступают также в реакции с органическими молекулами, что приводит к образованию новых радикалов, которые могут вступать в реакцию с биологическими молекулами и приводить впоследствии к радиобиологическому поражению клеточных структур.

Таким образом, при радиолизе воды образуются ионы, свободные радикалы, окислители (перекись водорода – H_2O_2 , атомарный кислород и др.). Свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, окисляя и разрушая их, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, подавляется активность ферментных систем, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму – токсины. Это приводит к нарушению жизнедеятельности отдельных функций или систем и организма в целом.

Индукцированные свободными радикалами химические реакции развиваются с вовлечением многих сотен и тысяч молекул, не затронутых непосредственно излучением. В этом и заключается специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты, которая заключается в том, что вызываемый ими эффект обусловлен не столько количеством поглощаемой энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которую эта энергия передаётся. Именно ионизация и возбуждение атомов и молекул обуславливают специфику действия ионизирующего излучения

8. Радиационные повреждения на различных уровнях биологической организации организма

Различают следующие радиационные повреждения:

- на молекулярном уровне: повреждаются микромолекулы ферментов, нарушается синтез РНК, тормозится синтез ДНК, возникают однонитчатые и двунитчатые разрывы нитей ДНК, нарушается обмен веществ;
- на субклеточном уровне: повреждаются клеточные мембраны, что приводит к нарушению функционирования клеток; повреждаются все структурные элементы клеток – ядра, хромосомы, лизосомы, митохондрии, нарушается синтез АТФ (что ведёт к нарушению энергетики клетки);
- на клеточном уровне происходит остановка деления и гибель клеток, трансформация клеток в злокачественные;
- на тканевом и органном уровне: происходит повреждение красного костного мозга, желудочно-кишечного тракта, центральной нервной системы. В результате нарушения кроветворения (особенно образования лейкоцитов), снижается иммунная защита, падает сопротивляемость организма к различным инфекциям. Возникают анемии различного типа, атрофиче-

ские и гипопластические состояния ЖКТ, стерильность (полная или частичная). Усиливаются склеротические процессы (циррозы печени, нефросклерозы, пневмосклерозы, атеросклероз и т.д.). Возникают различные дисгормональные состояния. Причиной гибели могут быть злокачественные опухоли, дисгормональные опухоли (матки, яичников, предстательной железы, половых органов и т.д.).

- на организменном и популяционном уровнях: сокращение продолжительности жизни или смерти; изменение генетической характеристики в результате мутаций. Сюда же можно отнести и лейкозы. Эта болезнь характеризуется избыточным содержанием в крови неполноценных белых кровяных клеток. Белые клетки, циркулирующие в крови, сами по себе не делятся, образуются они в результате активного деления стволовых клеток костного мозга и лимфатических узлов. Изменение в одной или более стволовых клетках буквально наводняет неполноценными белыми клетками весь организм, что собственно и представляет собой лейкоз (белокровие), или рак крови.

ЛЕКЦИЯ № 4

КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЧЕЛОВЕКА

1. Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых поражений

Действие ионизирующих излучений на организм человека зависит от следующих факторов:

Величина дозы. Предельно допустимой дозой при однократном облучении (в течение 3-4 суток) является 0,5 Гр, а при многократном (за 10-30 суток) – до 1 Гр. При больших дозах возникает острое лучевое поражение, степень тяжести которого увеличивается с увеличением дозы.

Время облучения. Чем больше продолжительность времени, в течение которого получена одна и та же доза облучения, тем легче протекает лучевое поражение. Экспериментально подтверждено, что в облучённом организме ежедневно восстанавливается 1,5-3%, в течение месяца – около 50%, в течение 2-х месяцев – 85% лучевого повреждения. Необратимая часть лучевого повреждения составляет 15% от полученной дозы. Это значит, что повторная доза может быть получена через каждые 2 месяца.

Возраст облучаемых. Наиболее чувствительны к облучению дети и старики, более устойчивы – люди среднего возраста. У детей ещё не выработались защитные механизмы против неблагоприятных факторов внешней среды, в том числе и радиации; у стариков они уже истощились. Как уже отмечалось, наиболее подвержены действию радиации клетки, которые активно делятся. А наибольшее деление клеток происходит в растущем организме, поэтому воздействие радиации на детский организм особенно опасно. Большую опасность у женщин представляет 8-15 неделя беременности, когда происходит закладка органов плода.

Вид ионизирующих излучений. Биологическое действие излучений в основном определяется их ионизирующей способностью. Для сравнения биологического действия разных видов ионизирующих излучений в радиобиологии введено понятие «относительной биологической эффективности».

Состояние организма в момент облучения. Перегревание, острая кровопотеря, шок, беременность у женщин содействуют более тяжёлому течению лучевых поражений.

Состояние организма в момент облучения. Перегревание, острая кровопотеря, шок, беременность у женщин содействуют более тяжёлому течению лучевых поражений.

Индивидуальная радиочувствительность. Разные люди обладают различной индивидуальной чувствительностью к неблагоприятным факторам внешней среды, в том числе и к радиационным воздействиям.

Половые различия. Замечено, что женщины более устойчивы к радиационному воздействию, чем мужчины (это относится и к животным, самцы более чувствительны к действию радиации).

Распределение поглощённой дозы в организме. Поступая в организм человека радионуклиды накапливаются в определённых органах. Так иод-131, являясь тиреотропным элементом, (концентрация его в щитовидной железе в 200 раз выше, чем в других тканях), даёт большую дозу внутреннего облучения. Происходит дегенерация, нарушение функций щитовидной железы (гипер- и гипофункции), склероз сосудов, а в дальнейшем увеличивается частота доброкачественных и злокачественных опухолей железы, происходит нарушение её функций.

Радиочувствительность тканей, органов и систем организма. Радиочувствительность различных органов и систем организма разная. Основные проявления лучевого поражения связаны с поглощённой дозой в критических органах. Критические органы – органы, ткани, части тела, облучение которых причиняет наибольший ущерб здоровью человека, т.е. первыми выходящие из строя.

Наиболее чувствительным к действию радиации является система кроветворения, а именно красный костный мозг, основным предназначением которого является выработка зрелых клеток крови. В результате облучения происходит быстрое опустошение костного мозга, так как происходит резкое торможение клеточного деления. Уменьшается количество форменных элементов в периферической крови. В результате снижения количества эритроцитов развивается анемия (малокровие), замедляются процессы репарации (восстановления) и наблюдается дефицит кислорода. Уменьшается количество лейкоцитов, развивается лейкопения, что приводит к подавлению иммунологических реакций. Снижение количества тромбоцитов ведёт к развитию геморрагического синдрома (кровотечений, кровоизлияний).

Другой системой с высокой степенью самовосстановления, а значит и высокой радиочувствительностью является тонкий кишечник и желудок. В результате облучения происходит опустошение ворсинок и крипт кишечника, оголение ворсинок.

Поражение красного костного мозга и тонкого кишечника является важным само по себе. Но оно сопровождается и общими нарушениями: в большей или меньшей степени нарушается согласованность структур и деятельность всех частей тела. Так, поражение костного мозга ведёт к уменьшению количества циркулирующих в крови лейкоцитов, а это в свою очередь ослабляет систему защиты от микробов, в том числе и от нормальных обитателей кожи и слизистых оболочек. Поражение слизистой оболочки кишечника приводит к увеличению её проницаемости, потере белков, солей, жидкости (нарушению баланса жидкости и электролитов), проникновению микробов в кровь, развитию воспалительных процессов (вплоть до общего заражения крови – сепсиса). Микробы и их токсины ещё более ослабляют организм, усиливают результаты лучевого поражения.

2. Острая лучевая болезнь, формы, степени тяжести, периоды

Острая лучевая болезнь (ОЛБ) – это общее нарушение жизнедеятельности организма, характеризующееся глубокими функциональными и морфологическими изменениями всех его систем и органов в результате поражающего действия различными видами ионизирующих излучений при превышении допустимой дозы (или – комплексная реакция организма на воздействие больших доз ионизирующих излучений).

Развёрнутый симптомокомплекс ОЛБ человека возникает при облучении его в дозах, превышающих 1 Гр. Как уже отмечалось, тяжесть заболевания зависит от дозы облучения, её мощности, вида излучения и особенностей организма.

Формы ОЛБ. В зависимости от тяжести клинических проявлений (а это значит, в зависимости от величины поглощенной дозы излучения) различаются следующие формы ОЛБ: костно-мозговая, переходная, кишечная, токсическая, мозговая.

Костно-мозговая форма ОЛБ возникает при облучении дозами в 1-6 Зв. Ведущую роль в клинической картине играет поражение кроветворной функции костного мозга. Эта форма по тяжести течения подразделяется на степени:

- 1 степень (лёгкая) возникает при дозе 1-2 Зв (100-200 Р);
- II степень (средняя) – 2-4 Зв (200-400 Р);
- III степень (тяжёлая) – 4-6 Зв (400-600 Р).

Переходная форма ОЛБ возникает при дозе облучения в 6-10 Зв. Для неё характерны поражения кроветворной системы и кишечника. Её оценивают по тяжести течения как IV степень (крайне тяжёлую).

Кишечная форма ОЛБ развивается при облучении в дозе 10-20 Зв (1000-2000 Р). Преобладает поражение тонкого кишечника. Наблюдается денатурация слизистой оболочки тонкого кишечника, потеря жидкости, белков, солей. Картина осложняется микробной инвазией. Желудок, толстый кишечник, прямая кишка подвергается таким же изменениям, но в меньшей степени. Как правило, исход смертельный (через 8-16 суток).

Токсическая (токсемическая) форма ОЛБ развивается при облучении дозой в 20-30 Зв. При этом наблюдается тяжёлая интоксикация, почечная недостаточность (азотемия, олигурия), нарушение сердечной деятельности, падение артериального давления. Смерть в первые 5-7 суток при явлениях отёка мозга.

Церебральная (нервная) форма ОЛБ наблюдается при дозе свыше 80 Зв. В результате прямого повреждающего действия облучения на ЦНС (повреждение нервных клеток и сосудов мозга), наблюдается отёк мозга, нарушение функций жизненно важных центров (дыхания и кровообращения), развивается коллапс, судороги. Смерть наступает на 1-2 сутки после облучения.

Костно-мозговая форма ОЛБ имеет явно выраженную клиническую картину, которая состоит из ряда симптомов, развивающихся последовательно и характеризующихся определённой периодичностью течения. Различают следующие четыре периода ОЛБ:

1. Период первичной общей реакции на облучение (начальный). Начинается в ближайшие часы после облучения. Длится от нескольких часов (при лёгкой степени) до нескольких суток. Происходят нарушения нервно-рефлекторной регуляции со стороны ЦНС и появляются симптомы прямого повреждающего действия излучения на лимфоидную ткань и костный мозг. Характерными клиническими симптомами являются: тошнота, рвота, головная боль, головокружение, потеря аппетита, слабость, сонливость, шаткая неуверенная походка, повышение температуры, покраснение лица, потливость. Со стороны сердечно-сосудистой системы: тахикардия, аритмия, лабильность артериального давления (АД) с тенденцией к снижению (вплоть до коллапса). В тяжёлых случаях – понос, что является признаком повреждающего лучевого действия на эпителий кишечника. Со стороны почек – полиурия, белок и глюкоза в моче. В крови – лимфопения.

2. Скрытый период, или период мнимого благополучия. Длится от 10-15 дней (при тяжёлой форме) до 4-5 недель. При больших дозах может отсутствовать. Симптомы первичной реакции, обусловленные нервно-регуляторными нарушениями, ослабевают и даже исчезают. Может оставаться лабильность пульса и АД, утомляемость, потливость. В это же время нарушения в организме нарастают: опустошается костный мозг, повреждается эпителий кишечника, подавляется сперматогенез, развиваются поражения кожи (отёчность, краснота, иногда пузыри), начинается выпадение волос. Прогрессирует лимфопения. Развивается тромбоцитопения.

3. Период разгара болезни, или выраженных клинических проявлений. Продолжительность от одной (при лёгкой степени) до 2-3 недель. Ухудшается самочувствие, повышается температура, появляются головные боли, головокружение, бессонница, развивается резкая слабость. Расстройство функции кишечника - рвота, исчезает аппетит, развивается понос с кровянистыми выделениями, масса тела снижается на 25-30%. Нарушается проницаемость сосудов и свёртываемость крови, что сопровождается кровотечениями и кровоизлияниями в кожу, слизистые оболочки, в жизненно-важные органы. Продолжается выпадение волос, наступает облысение. Количество лимфоцитов и тромбоцитов в крови снижается (до их полного исчезновения из русла крови), уменьшается количество лейкоцитов. Глубокое поражение кроветворной и иммунной систем приводит к развитию инфекционных осложнений (некротические пневмонии и др.), которые могут привести к гибели организма.

4. Период восстановления. При благоприятном исходе начинается на 2-5 месяце после облучения и длится от 3-6 месяцев (при лёгкой степени) до 1-3 лет. Самочувствие улучшается, падает температура. Отступают нарушения нервно-регуляторного порядка, уменьшаются головные боли, улучшается сон. Восстанавливается функция ЖКТ, прекращается рвота и понос, заживают изъязвленные участки слизистых, исчезают геморрагические признаки, медленно восстанавливаются функции кроветворения. На местах облысения через 2-6 месяцев после облучения начинается рост волос. Может сохраниться на длительное время нейроциркуляторная дистония гипотонического типа, нервная истощаемость, эндокринные расстройства, недостаточность функции кроветворения.

3. Хроническая лучевая болезнь, её характеристика

Хроническая лучевая болезнь (ХЛБ) – самостоятельная нозологическая (нозология – учение о болезнях) форма лучевого поражения, развивающаяся в результате продолжительного облучения организма малыми дозами в 1-5 мЗв в сутки (0,1-0,5 бэр в сутки) после достижения суммарной дозы в 0,7-1 Зв (70-100 бэр). Облучение может быть общим либо местным, внешним или внутренним. ХЛБ, как и ОЛБ, характеризуется фазностью течения, особенностями проявления, связанными с неравномерностью облучения, и также имеет отдалённые последствия.

ХЛБ при внешнем облучении представляет собой сложный клинический синдром (совокупность симптомов) с вовлечением большинства органов и систем, характеризующийся периодичностью течения. Для заболевания характерно постепенное развитие и продолжительный период нарастания нарушений функций организма. Обычно ХЛБ развивается через 2-3 года от начала лучевого действия.

Механизм развития ХЛБ приблизительно такой же, как и при ОЛБ: поражается весь организм, но прежде всего, наблюдается угнетение кроветворения. Своеобразие ХЛБ состоит в том, что в активно пролиферирующих тканях (пролиферация – разрастание ткани организма путём размножения клеток) благодаря интенсивным процессам клеточного обновления, длительное время сохраняется возможность морфологического восстановления тканевой организации. В то же время такие стабильные системы, как нервная, сердечно-сосудистая и эндокринная, отвечают на хроническое лучевое воздействие сложным комплексом функциональных реакций и крайне медленным нарастанием дистрофических изменений.

Для ХЛБ характерны: астенический синдром (вялость, потеря аппетита, быстрая утомляемость, бессонница, снижение трудоспособности); нарушение гемопоэза (умеренно выраженные лейкопения, тромбоцитопения, анемия); периодически обостряющийся геморрагический синдром; упадок питания и т.д.

В течении ХЛБ выделяют 4 нечётко разграниченных периода: начальных функциональных нарушений, собственно заболевания, восстановления и последствий. Сроки развития ХЛБ, степень её тяжести зависят от скорости накопления дозы излучения и индивидуальных особенностей организма; чем быстрее происходит накопление дозы и менее устойчив к воздействию излучения организм, тем быстрее появляется заболевание и тем тяжелее оно протекает.

Строго разграничить заболевание по степени тяжести трудно, однако условно выделяют ХЛБ лёгкой (I), средней (II), тяжёлой (III) и крайне тяжёлой (IV) степени, последние три наблюдаются крайне редко.

Лёгкая степень ХЛБ характеризуется сравнительно небольшими функциональными изменениями со стороны системы крови, а также сердечно-сосудистой системы, увеличением количества эритроцитов, гемоглобина, а затем их уменьшением. Позднее развивается лейкопения, которая носит нестойкий, умеренно выраженный характер. Уменьшается и количество тромбоцитов.

Длительное и систематическое воздействие ионизирующего излучения приводит к астенизации организма (астения – состояние бессилия, общей слабости). Появляется быстро наступающее утомление, плохое самочувствие, слабость, недомогание, головные боли, нарушение сна. Астеническое состояние, как правило, сопровождается различными вегетативными расстройствами (сосудистой дистонией, падением АД и др.). Могут наблюдаться нарушения функции анализаторов (обонятельного, вкусового, вестибулярного, слухового, зрительного, осязательного), что выражается в повышении порога ощущений.

Отмечается волнообразность симптомов, они то увеличиваются, то уменьшаются. Трудоспособность длительное время не нарушается. После дли-

тельного (7-8 недель) лечения может наступить полное выздоровление. Доза облучения не превышает 1,5 Зв.

Средняя степень ХЛБ помимо более выраженных функциональных нарушений, характерных для лёгкой степени (сильной головной боли, увеличением утомляемости и т.д.), характеризуется отчётливыми деструктивными изменениями в организме, преимущественно в органах кроветворения (снижение количества эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов, тромбоцитов, увеличение проницаемости капилляров и их хрупкости), что проявляется кровоточивостью десен, слизистой оболочки носа и т.д. Явления астенизации прогрессируют, наблюдается потеря веса, снижается аппетит, развивается потливость, акроцианоз. Нередко отмечается стойкая сосудистая гипотония, тенденция к брадикардии, циркуляторные нарушения. Иногда появляются трофические изменения кожных покровов и ногтей. Снижается сопротивляемость инфекциям (грипп, ангина и т.д.). Наступает длительная полная потеря трудоспособности. Доза облучения в пределах 2-2,5 Зв.

Тяжёлая степень ХЛБ характеризуется тяжёлым состоянием больных. Отмечаются выраженные деструктивные изменения. Дистрофические изменения наблюдаются и в таких радиорезистентных тканях, как соединительная, мышечная. У больных ухудшается самочувствие, развивается резкая слабость, стойкое понижение АД, им нужен постельный режим. Ткани утрачивают способность к нормальной регенерации, выявляются глубокие обменно-трофические нарушения в различных органах, в частности, глубокое подавление гемопоэза. Вследствие ослабления иммунологической реактивности организма возможны инфекционно-септические осложнения. Температура тела повышается, усиливаются кровотечения (носовые, кишечные, из полости рта). Заболевание может закончиться смертью по причине гематологических или инфекционных осложнений. Доза облучения превышает 2,5 Зв.

Крайне тяжёлая степень ХЛБ характеризуется более глубоким характером всех изменений в организме. Заболевание, как правило, оканчивается смертью. Для терминального периода характерны глубокие деструктивные изменения в кроветворной системе, ЖКТ и общее истощение (кахексия).

4. Ближайшие и отдаленные последствия облучения

Ближайшие последствия – это первичная реакция и поражение организма, наступающее в течение нескольких недель после острого облучения (однократного кратковременного облучения). Они могут быть общими и местными. К общим относится, например, острая лучевая болезнь. Локальные (местные) лучевые поражения включают лучевые ожоги кожи, помутнение хрусталика (лучевую катаракту), выпадение волос (эпиляцию), стерилизацию и др.

Кожа отличается относительно высокой радиопоражаемостью. Наибольшей чувствительностью к радиационному воздействию обладают клетки волосяных фолликулов, в результате чего происходит выпадение волос. Лучевые ожоги включает субэритематозную, эритематозную, буллезную и язвенно-некротическую формы.

Хрусталик является наиболее уязвимой для радиации частью глаза, особенно чувствительна его периферическая часть.

Клетки половых желез высокочувствительны к ионизирующему излучению. Яичники женщин содержат овоциты, которые гибнут при дозе в 4 Гр, что вызывает стойкое бесплодие. У мужчин постоянная стерильность наступает при дозе в 4-6 Гр.

Отдаленные последствия – изменения в организме, возникающие в отдаленные сроки (через годы) после облучения. Они могут быть соматическими, когда изменения возникают в самом облучаемом организме, и генетическими, которые наблюдаются в организме потомков облученного человека.

Различают неопухолевые и опухолевые формы отдалённых последствий.

Неопухолевые формы включают три вида патологических процессов:

1. *Гипопластические состояния* – развиваются главным образом в кроветворной ткани, слизистых оболочках органов пищеварения, дыхательных путей, в коже и других органах. Основными нарушениями являются: гипо- или гиперхромные анемии, лейкопения, атрофия слизистой оболочки желудка, кишечника, гипо- или анацидный гастрит, атрофия половых желез и бесплодие (стерильность).

2. *Склеротические процессы*. Происходит обширное и раннее повреждение сосудистой сети облучённых органов, развитие очаговых или диффузных разрастаний соединительной ткани на месте погибших паренхиматозных клеток. Основные нарушения: цирроз печени, нефросклероз, пневмосклероз, атеросклероз, лучевые дерматиты, лучевые катаракты, некрозы костной ткани, поражения нервной системы.

3. *Дисгормональные состояния* развиваются без видимой дозовой зависимости. К проявлениям дисгормональных состояний относятся ожирение, гипофизарная кахексия, несахарный диабет, кистозные изменения яичников, патологические сдвиги в половых циклах, гиперплазия слизистой оболочки матки, паренхимы молочных желез (что может привести к развитию опухолей), поражения щитовидной железы (гипотиреодизм, новообразования), сахарный диабет и др.

Опухолевые формы. К ним относятся опухоли костей, печени, почек, лёгких, кожи, матки, яичников, предстательной железы, желез внутренней секреции. И, наконец, имеются опухоли сложного генеза, – лейкозы, опухоль молочных желез.

Наиболее часто наблюдаются **лейкозы**, развитие которых происходит через 5-25 лет после облучения. Частота лейкозов у облучённых по сравнению с необлучёнными возрастает в 5-10 раз.

Позже возникают другие раковые заболевания (рак щитовидной железы, молочной железы, яичников, желудка и лёгких), главным образом в результате общего лучевого воздействия. Опухоли кожи и костей являются результатом местного облучения – внешнего (кожа) или внутреннего (кости). При хрониче-

ском облучении малыми дозами развитие злокачественных опухолей в 3-10 раз ниже, чем при однократном воздействии той же дозы. Детский организм в силу анатомо-физиологических особенностей и большой чувствительности к действию ионизирующего излучения в большей степени подвергается риску (что видно на примере рака щитовидной железы у детей). Сокращается и время появления раковых новообразований у детей по сравнению со взрослыми.

Возникновение **катаракты (помутнения) хрусталика** – типичное отдалённое последствие тотального облучения организма или местного облучения глаза и хрусталика.

К отдалённым последствиям облучения относится также **нефросклероз**, развивающийся в результате повреждения почечной ткани и замещения её соединительной тканью. Стойкое повышение АД, характерное для лучевого поражения, в значительной степени зависит от развития нефросклероза.

Радиобиологические эффекты облучения живого организма делятся на пороговые (нестохастические) и беспороговые (стохастические). Радиационными эффектами нестохастического характера следует считать, прежде всего, острую лучевую болезнь, местные повреждения кожи (ожоги), лучевую катаракту, стерилизацию, дистрофические повреждения различных тканей. При этом имеется определённое пороговое значение дозы облучения (например, при одноразовом воздействии радиации в 100 рад), ниже которого видимого действия радиации не наблюдается.

Такие нарушения, как опухоли различной локализации, лейкозы, генетические эффекты, умственная отсталость, уродства носят стохастический беспороговый характер. Вероятность возникновения этих поражений существует при самых минимальных дозах облучения.

5. Генетические повреждения, вызываемые при облучении ионизирующими излучениями

Генетические повреждения – это передаваемые по наследству повреждения генетического кода в половых клетках. Известно, что элементарной единицей наследственности является ген, который имеет строго определённую структуру и функцию. Все гены клеток организма создают общий генотип индивидуума и этим обеспечивают жизнедеятельность организма как целого.

Мутацией называют изменения в гене или хромосоме. Перед последующим делением клетки измененная хромосома воспроизводит копию самой себя, т.е. происшедшие в ней изменения передаются хромосомам последующих поколений клетки. Таким путём наследуется мутированный ген; он приобретает постоянный характер. Организм, в котором проявляются признаки мутированного гена, принято называть мутантом. Если же мутация произошла в половой клетке, то развивающийся организм будет иметь новые наследственные признаки.

Различают генные, хромосомные и геномные мутации. Генные мутации – это мутации, возникающие в результате изменения лишь одного гена (их называют ещё точковыми). Хромосомные мутации – это изменения в структуре хромосом. Все виды хромосомных мутаций, связанных с нарушением структуры хромосом, называют хромосомными абберациями (отклонениями). Геномные мутации, или мутации кариотипа, это мутации, связанные с изменением числа хромосом.

Появление мутаций в соматических клетках ведёт к возникновению соматических эффектов радиации. Одно из проявлений соматических мутаций – злокачественный рост клеток. Мутации соматических клеток по наследству не передаются. Мутации в соматических клетках под действием радиации приводят к нарушениям иммуногенеза. В лимфоидной ткани после облучения могут появляться клетки с хромосомными абберациями, т.е. они уже являются мутантами и могут вырабатывать антитела против нормальных антигенов хозяина.

Генетические последствия облучения могут наблюдаться при любой дозе. Не установлен дозовый порог, ниже которого излучение не вызывает мутаций.

Мутации приводят к наследственным заболеваниям. Около 10% новорожденных имеют те или иные наследственные нарушения. Среди аутосомных доминантных генных мутаций известны: аниридия, нейрофиброматоз, мышечная дистрофия, поликистоз почек и др. Среди аутосомных рецессивных генных мутаций наиболее часто встречаются микроцефалия, гидроцефалия, идиотия, ихтиоз, миопатия, гемофилия. Мутации могут привести к различным порокам развития и уродствам: гетерохромии (разной окраски радужной оболочки глаз), порокам сердца, дальтонизму, многопалости, «заячьей губе», «волчьей пасти». Мутации могут быть причиной задержки физического и умственного развития. Некоторые относят болезнь Дауна к заболеваниям, вызванным радиацией.

Генные мутации и хромосомные абберации могут привести к самопроизводным выкидышам. Но даже если дети с наследственными дефектами рождаются живыми, вероятность дожить до года в пять раз меньше, чем для нормальных детей.

Риск генетических повреждений в первых двух поколениях (уродства, умственная неполноценность) составляет 40% от риска рака (рак со смертельным исходом составляет 4,5-7,1% на каждый Зв дозы). По мнению специалистов хроническое облучение при дозе в 1 Гр приводит к появлению 2000 случаев серьёзных генетических заболеваний на миллион новорожденных.

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ № 1

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННОЙ

БЕЗОПАСНОСТИ

1. Радиационная безопасность, ее принципы и мероприятия

Радиационная безопасность – это комплекс мероприятий (административных, технических, санитарно-гигиенических и др.), ограничивающих облучение и радиоактивное загрязнение лиц из персонала и населения, а также окружающей среды до наиболее низких значений, достигаемых средствами, приемлемыми для общества. Радиационная безопасность населения – состояние защищенности настоящего и будущих поколений людей от вредного воздействия ионизирующих излучений.

Основными принципами обеспечения радиационной безопасности при практической деятельности являются:

- принцип нормирования – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;
- принцип обоснования – запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза превышает риск возможного вреда, причиненного превышающим естественный радиационный фон облучением;
- принцип оптимизации – поддержание на достижимо низком уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

Радиационная безопасность обеспечивается:

- проведением комплекса мероприятий, организационного, инженерно-технического, медико-профилактического, агротехнического, воспитательного и образовательного характера;
- осуществлением органами государственной власти и управления, общественными объединениями, другими юридическими лицами и гражданами мероприятий по соблюдению правил, норм и нормативов в области радиационной безопасности;
- информированием населения о радиационной обстановке и мерах по обеспечению радиационной безопасности;
- обучением населения в области обеспечения радиационной безопасности.

Безопасного облучения, как мы уже выяснили не бывает. Если бы радиобиология имела доказательства о существовании некоторого порога, ниже которого облучение безопасно, необходимо было бы просто всеми допустимыми средствами защиты этого порога придерживаться.

К мероприятиям радиационной безопасности относятся:

- 1) меры по минимизации внешнего облучения;
- 2) меры по уменьшению поступления радионуклидов в организм человека;

- 3) меры по усилению выведения радионуклидов из организма;
- 4) меры по уменьшению радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды.

2. Нормы радиационной безопасности

Для того, чтобы предупредить соматические и свести к минимуму генетические последствия облучения, необходимо ограничивать дозы внешнего и внутреннего облучения населения при добыче, транспортировке, хранении, применении радиоактивных веществ, при использовании ядерных реакторов, ускорителей заряженных частиц, рентгеновских аппаратов и других источников ионизирующих излучений. Нормирование или регламентация ионизирующих излучений – задача радиационной гигиены, изучающей влияние радиоактивного излучения на здоровье человека с целью выработки противорадиационной защиты. Правомерно ли говорить о нормировании ионизирующих излучений, если общеизвестно их вредное биологическое действие? Ответ конечно утвердительный, ибо всё живое постоянно подвергается воздействию «радиационного фона» и, кроме того, в связи с бурным техническим прогрессом расширяются радиационные контакты человека. Ионизирующие излучения должны быть разумно нормированы и иметь узаконенную систему регламентации, т.е. должны быть обеспечены необходимые меры радиационной безопасности для лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений, для всего населения и объектов окружающей среды

Вопросам гигиенического нормирования (регламентации) ионизирующих излучений в нашей стране занимается НКРЗ – Национальная комиссия по радиационной защите, действующая в качестве консультативного органа при Министерстве здравоохранения. В её функции входит обобщение и анализ отечественных и зарубежных исследований по вопросам обеспечения радиационной безопасности в различных отраслях народного хозяйства, а также систематическое совершенствование законодательных актов, регламентирующих радиационное воздействие на человека и окружающую среду.

Основными документами, регламентирующими действие ионизирующих излучений являются: Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» от 5.01.1998 г.; «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-2000), принятые 25.01.2000 г.; «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП 72/87). В этих документах представлены санитарно-гигиенические нормативы, регламентирующие радиационную безопасность человека. В них излагаются основные требования по обеспечению радиационной безопасности, которые распространяются на все предприятия, учреждения и другие организации, которые производят, обрабатывают, применяют, хранят или транспортируют естественные и искусственные радиоактивные вещества, а также перерабатывают или обезвреживают радиоактивные отходы.

Закон «О радиационной безопасности населения» определяет основы правового регулирования в области обеспечения радиационной безопасности

населения, направлен на создание условий, обеспечивающих охрану жизни и здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения. Рассмотрим основные положения этого Закона.

Устанавливаются следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории Республики Беларусь в результате воздействия источников ионизирующего излучения:

- для населения средняя годовая эффективная доза равна 0,001 зиверта (0,1 бэра) или эффективная доза за период жизни (70 лет) равна 0,07 зиверта (7 бэр); в отдельные годы допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,001 зиверт (0,1 бэра);
- для работников средняя годовая эффективная доза равна 0,02 зиверта (2 бэра) или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 зиверту (100 бэр); допустимо облучение в размере годовой эффективной дозы до 0,05 зиверта (5 бэр) при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,02 зиверта (2 бэра).

Регламентируемое значение основных пределов доз облучения не включают в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами (пациентами) при медицинском облучении (дозы при медицинском обследовании и лечении). Указанные значения пределов доз облучения являются исходными при установлении допустимых уровней облучения организма человека и отдельных его органов.

НРБ-2000 применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения. Требования и нормативы, установленные НРБ-2000, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а также для местных распорядительных и исполнительных органов, граждан, проживающих на территории Республики Беларусь

НРБ-2000 устанавливает следующие две категории облучаемых лиц:

- персонал (профессиональные работники), непосредственно работающие с источниками ионизирующих излучений, или лица, которые по роду своей деятельности могут подвергаться облучению;
- население – всё население страны, включая лиц из персонала вне сферы и условий их деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД)
- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения, являющие-

ся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объёмные активности (ДОА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.

- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.).

Предел дозы (ПД) – величина эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Основные пределы доз облучения (эффективная доза): для персонала 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год; для населения – 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

Предел годового поступления (ПГП) – допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при мономорфном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

3. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами

Санитарные правила работы с радиоактивными веществами изложены в «Основных санитарных правилах работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП 72/87), которые регламентируют основные требования по обеспечению радиационной безопасности. В этих правилах содержатся требования по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения, а также по охране окружающей среды от загрязнения радиоактивными веществами.

ОСП 72/87 содержат требования к размещению учреждений и предприятий для работы с радиоактивными источниками, к организации работы с ними, к вентиляции, водоснабжению и канализации, к обезвреживанию радиоактивных отходов и дезактивации, к радиационному контролю и др.

В ОСП-72/87 изложены санитарно-законодательные положения, регулирующие обеспечение радиационной безопасности с учётом следующих правил:

1. Распространение государственного санитарного надзора на все виды работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.
2. Обеспечение их учёта и сохранности.
3. Ответственность администрации за обеспечение радиационной безопасности на объекте.
4. Обязательное оповещение о радиационной опасности.
5. Обязательное применение средств защиты от лучевого воздействия.
6. Изолированное расположение радиоактивных объектов.

7. Ограничения при доступе к работе с радиоактивными веществами.
8. Обязательное осуществление радиационного контроля.
9. Строгое соблюдение требований и правил по охране труда, технике безопасности, пожарной безопасности, производственной санитарии.

В случае аварии на АЭС может произойти выброс радионуклидов в атмосферу, и поэтому возможны следующие виды радиационного воздействия на население:

- а) внешнее облучение при прохождении радиоактивного облака;
- б) внутреннее облучение при вдыхании радиоактивных продуктов деления;
- в) контактное облучение из-за радиоактивного загрязнения кожи;
- г) внешнее облучение, обусловленное радиоактивным загрязнением поверхности земли, зданий и т.д.
- д) внутреннее облучение при употреблении загрязнённых продуктов и воды.

В зависимости от обстановки для защиты населения могут быть приняты следующие меры: ограничение пребывания на открытой местности, герметизация жилых и служебных помещений на время формирования радиоактивного загрязнения территории, применение лекарственных препаратов, препятствующих накоплению радионуклидов в организме, временная эвакуация населения, санитарная обработка кожных покровов и одежды, простейшая обработка продуктов питания (обмыв, удаление поверхностного слоя и др.), исключение или ограничение употребления в пищу загрязнённых продуктов.

4. Классификация зон радиоактивного загрязнения

В 1991 г. принят Закон «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС». Этот закон устанавливает правовой режим территорий Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и направлен на снижение радиоактивного воздействия на население и экологические системы, на проведение природновосстановительных и защитных мероприятий, на рациональное использование природного, хозяйственного и научного потенциала этих территорий. Закон регулирует режим территорий радиоактивного загрязнения, условия проживания, осуществление хозяйственной деятельности на этих территориях.

При классификации территорий и зон радиоактивного загрязнения приняты следующие критерии:

1. возможность проживания населения (величина эффективной эквивалентной дозы облучения);
2. уровень загрязнения территории и отдельных экологических систем;
3. возможность получения экологически чистой продукции и сырья.

Территории радиоактивного загрязнения – это часть земель, на которых в результате катастрофы возникло продолжительное загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами с плотностью загрязнения радионуклидами цезия-137, стронция-90, плутония-241 соответственно 1,0 – 0,15 – 0,01 Ки/км² и

более, а также другие территории, на которых средняя эффективная эквивалентная доза облучения населения может превышать 1 мЗв/год и земли, на которых невозможно получение чистой продукции.

Территория в зависимости от плотности загрязнения почв радионуклидами и степени воздействия на человека (величины эффективной эквивалентной дозы) радиации относятся к следующим зонам:

1. Зона эвакуации (отчуждения) – территории вокруг ЧАЭС, из которой было эвакуировано население (30-ти км зона).
2. Зона первоочередного отселения – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 40 Ки/км² и выше.
3. Зона дальнейшего отселения – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 15 до 40 Ки/км², на которой среднегодовая эффективная доза облучения человека может превысить 5 мЗв/год (0,5 бэр в год).
4. Зона с правом на отселение – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 5 до 15 Ки/км², на которой среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения 1 мЗв/год (0,1 бэр в год).
5. Зона проживания с периодическим радиационным контролем – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 1 до 5 Ки/км², где среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения не превышает 1 мЗв/год (0,1 бэр в год).

В других разделах и статьях Закона дан правовой режим территорий радиоактивного загрязнения, изложены требования по использованию территорий радиоактивного загрязнения (перечислены виды деятельности в каждой из зон), установлены регламенты захоронения радиоактивных отходов (порядок приёма их, выбора места расположения могильников радиоактивных отходов, контроль за захоронением и т.д.), определён порядок радиационного контроля на территориях радиоактивного загрязнения.

5. Пути снижения внешнего облучения

Внешнее облучение – облучение от источника радиоактивного облучения, находящегося вне организма. Внешнее облучение обычно наблюдается при прохождении радиоактивного облака, а также обусловлено радиоактивным загрязнением поверхности земли, зданий, сооружений и т.д.

Для снижения внешнего облучения используются различные физические и химические методы. Основными способами защиты от внешнего облучения являются: 1) защита временем; 2) защита расстоянием; 3) применение защитных экранов; 4) фармакохимическая защита.

Защита временем – это ограничение времени пребывания в зоне повышенной радиации, тем самым ограничение получаемой дозы. Так, при дезактивации крыши машинного участка Чернобыльской АЭС продолжительность работы в поле излучения ограничивалась 60-90 с (уровень радиации на крыше превышал 170 Р/час). Учитывая то, что доза накапливается со временем, необ-

ходимо так организовать работу, чтобы время контакта с источником облучения было бы минимальным.

Защита расстоянием предполагает увеличение расстояния до источника радиации. Излучение точечного источника распространяется во все стороны. Интенсивность облучения снижается с увеличением расстояния до источника по закону обратных квадратов, т.е. интенсивность облучения убывает пропорционально квадрату расстояния до источника. При увеличении расстояния до источника в 2 или 3 раза интенсивность излучения уменьшается соответственно в 4 и 9 раз. Для увеличения расстояния от источника до оператора на атомных предприятиях широко используют дистанционные манипуляторы.

Следующим способом защиты является **экранирование**. Использование защитных экранов позволяет человеку находиться и даже длительно работать вблизи источника радиации, оставаясь в безопасности. Для защиты от радиации используют поглотители такой толщины, которые позволяют ослабить излучение до безопасного уровня. Защитные свойства материалов определяются коэффициентом ослабления. Слой половинного ослабления (т.е. толщина вещества, которое ослабляет радиацию в 2 раза) для фотонов с энергией 1 МэВ составляет для свинца 1,3 см, для бетона – 13 см. Активная зона ядерного реактора на АЭС для защиты от гамма-излучения окружена бетонной стеной такой толщины, чтобы в рабочих помещениях радиация не превышала допустимую величину. Ведь в конце работы реактора РБМК-1000 в нем содержится 1500 МКи продуктов распада ядерного горючего. Источник радиации активностью в 1 Ки на расстоянии в 1 м создает мощность дозы в 1 Р/час. Для защиты от радиоактивного облака нужно было использовать защитные свойства зданий. Внешнее гамма-излучение в первом этаже каменного дома снижается в 10 раз, в подвале 2-х этажного каменного дома – в 100 раз, в подвале многоэтажного каменного дома – в 400 раз.

Ни свинец, ни бетон, ни барит (сернокислый барий) не могут полностью поглотить жесткие гамма- и рентгеновские лучи. Серьезные трудности существуют в защите от потока нейтронов (бетонная и свинцовая защита в этом случае мало эффективна). Наиболее целесообразно использовать в этом случае богатые водородом материалы – воду, парафин, пластики.

6. Фармакохимическая защита от ионизирующего излучения

Фармакохимическая противолучевая защита – способ защиты от ионизирующего излучения с помощью введения в организм незадолго до начала лучевого воздействия химических (лекарственных) препаратов синтетического, животного или растительного происхождения или комплексов, ослабляющих повреждающее действие на организм ионизирующего излучения. Химические вещества «вмешиваются» в ту последовательность реакций, которая разворачивается в облучаемом организме, прерывают эти реакции либо ослабляют их. Они повышают радиорезистентность или снижают чувствительность организма к поражающему действию ионизирующего излучения.

Вещества, обладающие радиозащитным эффектом, называются радиопротекторами. Фармакохимические противолучевые средства принадлежат к различным классам химических соединений. Наиболее часто применяются биогенные амины, в частности аминотиолы (гистамин, ацетилхолин, цистамин, цистафос). Биогенные амины оказывают противолучевое действие как на клеточном и субклеточном уровнях, так и при облучении всего организма.

Реакция организма на облучение очень сложная и универсального механизма защиты не существует. Концентрация серотонина и мексалина не должна превышать 10-60 мг/кг, цистамина – 120-180 мг/кг, цистафоса – 300-400 мг/кг и т.д. Количественным показателем эффективности радиопротекторов является так называемый фактор изменения дозы (ФИД), который определяется отношение равноэффективных доз: в числителе – дозы излучения при использовании радиопротектора, в знаменателе – дозы излучения без использования радиопротектора. Величина ФИД для отдельных радиопротекторов составляет 1,5-2,0, а при использовании многокомпонентных радиопротекторов достигает 3-4.

Защита от внутреннего облучения очень сложная. Радионуклиды, накапливаясь в отдельных органах, длительно (иногда годами и десятилетиями) излучают фотоны и частицы. Поэтому предварительное применение радиопротекторов, даже наиболее длительно действующих, бессмысленно. Химическая профилактика в этих условиях преследует цель не допущения всасывания радионуклида внутрь организма. Так, при йодной профилактике насыщают организм стабильным йодом (или в виде йодистого калия или 5% йодной настойки – по 5 капель на стакан молока), пока существует опасность проникновения в организм радиоактивного йода.

Ряд веществ содействует мобилизации защитных функций организма в отношении неблагоприятных факторов внешней среды (так называемые вещества – адаптогены). К ним относятся препараты элеутерококка, женьшеня, китайского лимонника, аралии маньчжурской, родиолы розовой и других растений. Они эффективны как при остром, так и при пролонгированном и фракционированном облучении, хотя и при дозах радиации ниже абсолютно смертельных.

К группе веществ природного происхождения, обладающих противолучевой активностью, относятся многие продукты нормального обмена веществ: витамины и их биологически активные формы – коферменты, нуклеиновые кислоты и их производные, многие растительные фенольные соединения, аминокислоты, некоторые углеводы и липиды. Хорошие результаты даёт использование аминокислотных комплексов, АТФ, меллитин-полипептида из пчелиного яда, состоящего из 26 аминокислотных остатков.

Довольно часто говорят о защитном действии алкоголя. Действительно, молекулы спирта легко окисляются и способны эффективно захватывать свободные радикалы, которые образуются при радиолизе воды, но защитное действие не проявляется при хроническом облучении организма. То есть, в данном случае алкоголь может принести только вред. Определённое защитное действие оказывает красное вино, в котором присутствуют фенольные соединения (анто-

цианы, катехины). Они обладают антиокислительной активностью и могут создавать нерастворимые комплексы с ионами металлов, в том числе и радиоактивными (стронцием-90, цезием-137 и др.). Связывание металлов в комплексы предотвращает проникновение радионуклидов из пищевода в кровь и ускоряет их выведение вместе с экскрементами. Однако такой эффект может наблюдаться при однократном поступлении радионуклидов и при условии приёма вина не позднее 1-1,5 часа после поступления радионуклидов в организм.

7. Пути снижения внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радионуклидов

Внутреннее облучение – облучение организма, происходящее от источника радиоактивного излучения (радиоактивного вещества), находящегося внутри организма. Оно продолжается непрерывно до тех пор, пока находящееся в организме радиоактивное вещество не распадется или же не будет выведено из организма.

В условиях проживания на загрязнённой радионуклидами территории следует учитывать основные принципы снижения внутреннего облучения:

- уменьшение поступления радионуклидов в организм;
- усиление выведения радионуклидов из организма;
- использование радиопротекторных свойств пищи;
- обогащение рациона минеральными солями с целью замещения радионуклидов в организме и восполнения дефицита микроэлементов.

Поступление радионуклидов в организм происходит через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (с водой и пищей) и через кожу.

Для защиты от внутреннего облучения **при вдыхании радиоактивных аэрозолей** применяются следующие мероприятия:

- сократить до минимума пребывание на загрязнённой радионуклидами (аэрозолями) территории;
- обязательно защищать органы дыхания, для чего использовать респираторы, противогазы, ватно-марлевые повязки;
- защищать кожу и волосяные покровы от попадания радиоактивной пыли (использовать головные уборы, косынки);
- укрыться в жилых домах во время рассеивания радиоактивных веществ;
- принять меры защиты от проникновения радионуклидов в дом с воздухом (закрыть форточки, уплотнить рамы и дверные приёмы);
- систематически проветривать помещение (в основном с целью снижения концентрации радона);
- поддерживать чистоту помещения, ежедневно производить влажную уборку;
- следить за чистотой одежды и обуви, чаще стирать бельё, верхнюю одежду хранить отдельно от домашней;
- обувь регулярно мыть, входя в помещение менять обувь;

- строго соблюдать правила личной гигиены (ежедневно принимать душ, еженедельно мыться в бане);

Для защиты органов дыхания можно использовать подручные средства. Так, мужской платок, сложенный в 16 слоёв защищает органы дыхания от аэрозолей в 17 раз; женский платок в 4 слоя защищает в 3 раза; два слоя туалетной бумаги снижают поступление аэрозолей в 12 раз.

8. Пути снижения внутреннего облучения при поступлении радионуклидов с пищей

Для уменьшения поступления радионуклидов **с пищей** следует соблюдать следующие гигиенические требования:

- не пить воду из открытых источников, воду хранить в закрытых ёмкостях;
- пищу принимать в закрытых помещениях, а хранить её в герметической таре;
- ограничить употребление «местных» продуктов, особенно содержащих большое количество радионуклидов – продукты «концентраторы»: грибы (особенно маслята, моховики, говорушки, горькушки), бобовые (фасоль, горох);
- не употреблять овощи, которые росли в открытом грунте и собраны после поступления радионуклидов в окружающую среду;
- не пить молоко от коров, которые продолжают пастись на загрязнённых пастбищах;
- полнее очищать корнеплоды (овощи) от частиц земли, тщательно их мыть;
- снимать кожуру овощей и фруктов, не употреблять «кочерыжки» от капусты;
- овощи предварительно замачивать в воде на несколько часов;
- приготавливать «вторичные» бульоны: мясо вымачивают в течение 2-4 часов в холодной воде (10% растворе поваренной соли); воду сливают, заливают новую порцию и доводят до кипения, после чего воду опять сливают и варку ведут в третьей порции воды;
- широко использовать засолку и маринование овощей, фруктов, грибов (рассол и маринад в пищу не употреблять). Содержание радионуклидов снижается при этом в 1,5-2 раза;
- исключить из меню мясокостные бульоны, особенно кислые, так как стронций преимущественно переходит в бульон в кислой среде; исключить из меню холодец;
- проводить рациональную кулинарную обработку пищевых продуктов (приготавливать отварные, а не жареные или тушёные продукты);
- удалять внутренности, сухожилия, головы рыбы и птицы;

- употреблять общеукрепляющие средства, витамины (как в виде натуральных продуктов – овощей, фруктов, ягод, так и в виде аптечных препаратов);
- увеличить употребление таких минеральных веществ, как калий, кальций, фосфор (наличие их в достаточном количестве в продуктах приводит к уменьшению накопления в организме человека радионуклидов: цезия, стронция и др.). Богаты калием фасоль, горох, картофель, щавель, томаты, крупа овсяная и пшеничная, капуста, редис, чёрная смородина. Кальций содержится в молочных продуктах, фасоли, горохе, крупе овсяной, гречневой, перловой, моркови, капусте. Фосфором богаты яйца, крупа гречневая, овсяная, перловая, горох, фасоль, хлеб ржаной;
- не рекомендуется употреблять вареные яйца, так как в скорлупе накапливается стронций-90, при варке переходящий в белок яиц;
- проводить техническую кулинарную обработку продуктов. Творог содержит цезий-137 в 4-6 раз, сыр – в 10 раз, масло – в 50 раз меньше, чем молоко, из которого они произведены. Отварная рыба содержит цезий-137 в 10 раз меньше, картофель отварной – в 1,7 раз меньше, чем до варки.

9. Мероприятия по ускорению выведения радионуклидов из организма

Время пребывания радионуклидов в организме определяется, с одной стороны, периодом полураспада, с другой – скоростью процессов их выведения из организма через кишечник, потовые железы, лёгкие, с желчью.

При отсутствии поступления извне радионуклиды удаляются из мышечной и нервной ткани за 5-30 дней, из печени, почек, селезёнки – за 1-2 месяца, из лимфатических узлов – за 2-3 года. Усилить выведение радиоактивных веществ из организма можно регулярным дополнительным введением жидкости (морсы, соки, компоты и т.д.). Рекомендуется применять настои трав и плодов, обладающих слабым мочегонным действием (ромашки, зверобоя, бессмертника, тысячелистника, мяты, шиповника, укропа, тмина, зелёного чая). Для регулярного опорожнения кишечника используют продукты, содержащие клетчатку (хлеб грубого помола, пшено, гречку, перловку, овсянку, капусту, свеклу, морковь). Можно принимать отвары льна, крапивы, ревеня.

Особенно нужно отметить роль пектинов в выведении радионуклидов. Пектины – полусахариды растительного происхождения, они способны связывать и выводить из организма металлы, в том числе стронций, цезий и др. Пектины содержатся в соках с мякотью, яблоках, персиках, крыжовнике, клюкве, абрикосах, сливе, черной смородине, вишне, черешне, клубнике, дыне, зефире, джемах, мармеладе и др. Пектиносодержащие продукты улучшают перистальтику кишечника, которая ускоряет выведение ненужных веществ из организма.

Способствуют выведению радионуклидов из организма катехины – дубильные вещества, антоцианы – красящие вещества. Их много в чае, соках. Поистине уникальными радиопротекторными свойствами обладает грецкий орех. Ядра ореха снижают пероксидное окисление липидов. В их состав входит ка-

лий, кальций, магний, фосфор, железо, марганец, медь, цинк и другие микроэлементы. Они богаты витаминами Е, В₁, В₆, дубильными веществами. Толчёные ядра с мёдом увеличивают мочеотделение и обладают желчегонным действием, способствуют выведению радионуклидов (особенно цезия).

При радиационном поражении особая роль отводится режиму питания. При избыточном потреблении пищи в организм попадает и большее количество радионуклидов. В условиях действия малых доз радиации в результате пероксидного окисления липидов в организме образуются ядовитые вещества (токсины). При действии радиации необходимо обеспечить организм достаточным количеством белков. Белки обладают радиопротекторными свойствами, они повышают устойчивость к хроническому внутреннему облучению, снижают всасывание радионуклидов, повышают устойчивость организма к инфекции. Радиозащитным действием обладают продукты, богатые полиненасыщенными жирными кислотами. Они регулируют процессы пероксидного окисления липидов (растительные масла, рыба, орехи, семена тыквы, подсолнечника).

К веществам, снижающим радиационное воздействие на организм принадлежат витамины. Особенно большая роль отводится витамину А. Недостаток его сказывается на нервной и иммунной системах. Витамин А и витамин Е способствуют нормализации метаболических процессов и уменьшению пероксидного окисления липидов, способствует стабилизации клеточных мембран. Витамин С способствует усилению окислительно-восстановительных способностей клетки, улучшает тканевое дыхание. Витамины групп В улучшают метаболизм, антитоксическую функцию печени. Недостаток витаминов и белков отражается на функции защиты организма от вредоносных факторов внешней среды.

10. Пути снижения содержания радионуклидов в продукции растениеводства

Основные дозовые нагрузки на население, связанные с аварией на ЧАЭС, обусловлены потреблением сельскохозяйственных продуктов, производимых на загрязнённых территориях. Чтобы сократить поступление радионуклидов в организм человека необходимо снижать интенсивность их поступления в растения.

Накопление радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур можно снизить путём использования различных агрохимических и агротехнических приёмов:

1. общепринятые (традиционные) мероприятия в агропромышленном производстве, направленные на сохранение и увеличение плодородия почвы, рост урожайности и одновременно способствующие уменьшению перехода радиоактивных веществ из почвы в растение.
2. специальные приёмы (уменьшающие поступление радионуклидов в растения, но уменьшающие урожайность растений и ухудшающие плодородие почвы).

I. Основным *агрохимическим способом* уменьшения поступления радионуклидов в растения является химизация земледелия. В первую очередь это внесение удобрений и различных химических мелиорантов, улучшающих физико-химические свойства почвы и увеличивающих её плодородие. Вносятся органические удобрения, минеральные удобрения, проводится известкование почвы и другие агрохимические приёмы. Фосфорные и калийные удобрения уменьшают переход радионуклидов в растения в 2 и более раз. Известкование почвы уменьшает поступление радионуклидов в продукцию растениеводства в 1,5-3 раза.

Снижение концентрации радионуклидов в урожае при внесении удобрений обусловлено рядом причин, основными из которых являются:

- улучшение условий питания растений, а отсюда и увеличение биомассы, что приводит к «разбавлению» радионуклидов в урожае;
- усиление антагонизма между ионами радионуклидов и ионами солей вносимых удобрений (цезий – калий, стронций – кальций);
- образование плохо растворимых соединений радионуклидов с удобрениями.

Снижает переход радионуклидов в растения и применение микроэлементов (бора, молибдена), сапропеля и др. Обычно используют некорневую подкормку микроэлементами.

Основным агротехническим приёмом для ограничения перехода радионуклидов в растение является пахота почв, что приводит к перераспределению радионуклидов в корнеобитаемом слое почвы. Радионуклиды перемещаются в глубину, а большинство растений обладает мелкой корневой системой.

II. К *специальным приёмам* относятся следующие:

- механическое удаление верхнего загрязнённого слоя почвы;
- глубокая вспашка с захоронением загрязненного верхнего слоя почвы;
- фитомелиорация загрязненных почв;
- внесение в почву специальных мелиораторов, связывающих радионуклиды в труднодоступные для растений формы;
- специальный подбор сельскохозяйственных растений (сельскохозяйственных культур и их сортов) для выращивания на загрязненных территориях.

Механическое удаление верхнего загрязненного слоя почвы – трудоёмкий и дорогостоящий способ, который можно использовать на ограниченных площадях.

Наиболее эффективным приёмом считается двухъярусная глубокая вспашка, когда верхний слой толщиной в 4-6 см укладывается на глубину 40-80 см, что снижает поступление радионуклидов в растения в 3-10 раз.

В результате аккумуляции радионуклидов растениями концентрация их в фитомассе может быть больше, чем в почве. Этот приём очищения почвы называется фитомелиорацией почв.

Одним из способов, ограничивающих аккумуляцию растениями радионуклидов, является перевод последних в трудноусвояемые формы путём внесения в почву химических реагентов.

Особое место отводится подбору культур. Концентрация цезия-137 в сельскохозяйственных культурах распределяется следующим образом:

- зерновые, бобовые и зернобобовые (люпин > овёс > гречка > горох > ячмень > просо > соя > фасоль);
- овощные и картофель (капуста > картофель > свекла > морковь > огурцы > томаты);
- травы (овсяница > костёр > клевер > тимopheевка).

По концентрации стронция-90 овощные культуры располагаются в следующем порядке: свекла > огурцы > морковь > капуста > томаты > картофель; травы располагаются в следующем порядке: разнотравье > осоки > ежа сборная > мятлик.

Озимые культуры накапливают радионуклидов меньше, чем яровые. По аккумуляции цезия и стронция зерновые и бобовые культуры разделяются на группы:

- 1) слабонакапливающие (ячмень > пшеница > овёс);
- 2) средненакапливающие (крупяные: просо > чумиза > гречка);
- 3) сильнонакапливающие (зернобобовые: фасоль > горох > бобы).

Из технологических приёмов следует использовать переработку растениеводческой продукции: получение растительного масла из подсолнечника и сои, крахмала и спирта из картофеля, сахара из сахарной свеклы.

Концентрация радионуклидов уменьшается при консервировании продукции, засолке и других видах обработки. При переработке зерна в муку много радионуклидов удаляется вместе с оболочками. Дезактивацию растительного сырья можно проводить путём различного рода помывок (при поверхностном загрязнении растений).

11. Пути снижения содержания радионуклидов в продукции животноводства

Мероприятия по уменьшению содержания радионуклидов в продукции животноводства можно разделить на 4 группы:

1. приёмы, используемые при содержании животных на лугах и пастбищах;
2. изменения в режиме кормления животных;
3. перепрофилирование отраслей животноводства;
4. технологическая переработка продуктов животноводства.

Корм – основной источник поступления радионуклидов в организм животных. В лугопастбищной растительности накапливается радионуклидов

больше, чем в кормах искусственных сенокосов. Поступают радионуклиды в организм животных также с почвой (в год крупный рогатый скот получает 600 кг загрязнённой почвы, овцы – 75 кг).

Для защиты организма животных используют временное прекращение выпаса животных и перевод их на стойловое содержание (этот приём эффективен в отношении короткоживущих радионуклидов – йода-131). Количество цезия-137 в молоке при этом снижается в 3-5 раз, в мясе – в 2-3 раза. При отсутствии запаса «чистых» кормов возможно 4-8-ми дневное голодание животных.

В дальнейшем можно преобразовывать естественные сенокосы в искусственные, применять подбор возделываемых трав и специальную агротехнику их воздействия, проводить мелиорацию лугов и пастбищ. Применение всех этих мер может снизить содержание радионуклидов в молоке и мясе соответственно в 10 и 20 раз.

Изменение рациона кормления животных включает переход на использование «чистых» кормов; подбор кормов с минимальным содержанием радионуклидов (злаковые); обогащение рациона кормовыми добавками, которые избирательно связывают радионуклиды цезия и способствуют их удалению из организма (аммониево-железо-гексоцианоферрат, соли лития и др.); насыщение рациона минеральными веществами, особенно с содержанием кальция и калия, микроэлементами, белково-витаминными препаратами.

Учитывая то, что наиболее «чистое» мясо производится в свиноводстве и птицеводстве необходимо перепрофилировать животноводство с крупного рогатого скота на свино- и птицеводство. При относительно высоких плотностях радиоактивного загрязнения целесообразно организовывать звероводческие хозяйства. При загрязнении почвы цезием-137 с плотностью в 15-40 Ки/км², где невозможно получение «чистого» молока проводят переспециализацию с молочного на мясное производство.

Технологические приёмы по снижению радионуклидов в животноводческой продукции делится на обычные и специальные. Технологическая переработка молока на сливки, творог, сыр, масло сопровождается переходом радионуклидов в обрат, сыворотку, пахту со снижением радионуклидов в конечном продукте в 10-50 раз. Используют также переработку молока и сливок на сгущённые и сухие. Практически не остаётся радионуклидов в топлёном масле. Для лучшей очистки молока от стронция-90 добавляют лимонную, уксусную и соляную кислоты, которые образуют со стронцием-90 растворимые в воде соли и нерастворимые, выпадающие в осадок.

Для уменьшения концентрации радионуклидов в мясе вываривают его в воде и удаляют бульон (в бульон переходит до 80% цезия-137). Мясо вымачивают также в воде с последующим посолом (содержание радионуклидов снижается на 80-90%). Перетопка сала сопровождается удалением 95% цезия-137 в шкварку.

Среди специальных приёмов очистки молока применяют ионно-обменные смолы (пирофосфат и циацит), хорошо поглощающие ионы цезия и стронция, 80-90% которых удаляется вместе со смолами при тонкой фильтра-

ции молока. Такой же эффект даёт сепарирование молока. Применяют также электродиализ.

Технологическая переработка продукции животноводства с целью уменьшения содержания радионуклидов экономически менее выгодна, чем использование приёмов по ограничению накопления радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства.

ЛИТЕРАТУРА

А. Основная

1. Бударков В.А., Киршин В.А., Антоненко А.Е. Радиобиологический справочник.
2. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі: Вучэб. дапаможнік. Мн.: Выш. Шк., 1995.
3. Галицкий Э.А., Забелин Н.Н., Переверзева Н.А. Основы радиационной безопасности. Учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2001.
4. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. Мн.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Кульменева Л.Г., Котов Н.Н. Радиобиология: Учебн. Пособие для 10-11 кл. общеобразоват. Шк. Мн.: Нар. Асвета, 1998.
6. Курс радиационной безопасности: Учеб/ Ветрова В.Т., Колесник А.В., Неманова И.Т., Чобот Г.М.; Мн., Ураджай. 1995.
7. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. Учебное пособие. – Витебск: Изд – во УО «ВГУ им. П.М. Машерова, 2003.

Б. Дополнительная

1. Аверьянова А.В., Луговский В.П., Русак И.М. Что нужно знать о радиации? Мн.: Вышш.шк., 1992.
2. Барабой В.А. Популярная радиобиология. Киев: Наукова думка, 1988.
3. Гергалаў В.І., Пятроеў Я.П. Радыяцыя, жыццё і навакольнае асяроддзе: Вучэб. дапам. для 10-11 кл. агульнаадукац. кш. Мн.: Нар. Асвета, 1994.
4. Ковалёв С.Д. Обеспечение безопасной жизнедеятельности на территориях, загрязнённых радионуклидами: Учеб. пособие для студентов высш. учеб.завед., Мн., 1997.
5. Люцко А.М., Ролевич И.В., Тернов В.И.. Выжить после Чернобыля. Мн., Вышэйшая шк. 1990.
6. Люцко А.М., Кагарская Л.В. Радыяцыйная бяспека: Вучэбны дапам. для 5-9 кл. базавай шк., Мн., Нар. асвета, 1994.
7. Люцко А.М. Радыяцыйная бяспека: Вучэбны дапамож. для 10-11-х кл. сярэдняй шк. Мн., Нар. асвета, 1994.

8. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. М.: Энергоатомиздат, 1991.
9. Радіяція, нітрати і чалавек / М.І. Федзюковіч, Ул.А. Гардзейка, П.П.Ціва, Ю.Дз. Мароз. Мн.: Ураджай, 1994.
10. Радиобиология / А.Д.Белов, Н.П. Лысенко и др.; Под ред. А.Д. Белова. М.: Колос, 1999.
11. Радиационная гигиена / Кириллов В.Ф., Книжников В.А., Коренков И.П. М., 1988.
12. Основы сельскохозяйственной экологии и радиационная безопасность: Учеб. пособие /под общ. ред.: Кильчевского А.В., Чернухи Г.А. Мн.,: Ураджай, 2001.
13. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р.М. Алексахин, А.В. Васильев и др.; Под ред. Р.М.Алексахина. М.: Экология, 1992.
14. Шеннон С. Питание в атомном веке. Как уберечь себя от малых доз радиации. Мн.: Беларусь, 1991.
15. Ярмоленко С.П. Радиобиология человека и животных.: Учеб. для биол. спец. ВУЗов. М.: Высш. шк., 1988.