

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для семинарских занятий

Утверждено Редакционно-издательским советом
Саратовского государственного университета
в качестве учебного пособия
для студентов биологического факультета
обучающихся по специальности 06.03.01 «БИОЛОГИЯ»

САРАТОВ 2015

УДК
ББК
Р

Составители:

И. К. Миронова, М. В. Каневский

Радиационная экология, Учебно-методическое пособие для семинарских занятий. Учебно-методическое пособие для студ. биол. фак., обуч. по спец. 06.03.01 «БИОЛОГИЯ» / Сост. И.К.Миронова, М.В. Каневский – 2-е издание переработанное и дополненное

В учебном пособии представлены основные сведения о радионуклидах естественного радиационного фона, видах и свойствах ионизирующего излучения и результаты мониторинга облучения населения от природных и техногенных источников. Каждый раздел содержит вопросы для самоконтроля.

Для студентов дневного отделения биологического факультета обучающихся по специальности «БИОЛОГИЯ».

Рекомендуют к печати

Кафедра биохимии и биофизики биологического факультета
Саратовского государственного университета
Кандидат химических наук, доцент *Е.И.Хомяков*
Кандидат биологических наук *М.Д. Сметанина*

Печатается по решению методической комиссии биологического факультета
Саратовского государственного университета

УДК
ББК

ISBN

И.К.Миронова, М.В. Каневский
Саратовский государственный
Университет, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее методическое пособие предназначено для проведения семинарских занятий при освоении курса «Радиационная экология».

Пособие составлено в соответствии с типовой для университета программой по предмету и новым учебным планом.

Основные цели семинара:

- 1) ознакомление студентов с основными значимыми естественными и искусственными радионуклидами и их содержанием в природных объектах;
- 2) изучение различных видов ядерного ионизирующего излучения и его действия на животный организм;
- 3) знакомство студентов с основными результатами мониторинга облучения населения от естественных и техногенных источников,
- 4) освоение норм радиационного безопасности.

Контрольные вопросы, приведенные в каждом разделе, предназначены для обобщения полученных знаний и самоконтроля.

Выполнение программы семинара поможет студентам самостоятельно ориентироваться в современной радиационной обстановке.

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Основателем радиационной экологии как науки следует признавать российского ученого Н.В. Тимофеева-Ресовского, который в 1956 г. впервые выявил воздействие радиационных факторов на расслоение эволюционно согласованных внутрибиоценозных межвидовых взаимодействий.

Однако возникновению этой науки предшествовал ряд других открытий и явлений, способствовавших возникновению и развитию ядерной физики – фундаментальной науки, и радиационной гигиены – прикладной дисциплины, направленной на защиту, прежде всего, населения от неблагоприятного воздействия радиационных факторов.

За более чем 100 лет изучения радиоактивных веществ и источников ионизирующего излучения и их влияния на живые организмы, включая человека, отдельные принципы, подходы, претерпели изменения, исключались ранее используемые и вводились новые единицы измерения радиоактивности и доз излучения.

Таблица 1

Связь между некоторыми системными (СИ) и внесистемными единицами

Характеристика излучения	Единица СИ	Внесистемная единица	Связь между единицами
Активность	Беккерель (Бк) = = 1 распад/с	Кюри (Ки)	1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк
Доза: Экспозиционная	Кулон на килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг
Поглощённая	Грей (Гр) = = 0,01 Дж/кг	рад	1 рад = 0,01 Гр
Эквивалентная	Зиверт (Зв)	бэр	1 бэр = 0,01 Зв
Эффективная			

Активность радиоактивного источника ионизирующего излучения – среднее количество распадов ядер в единицу времени.

Основная характеристика взаимодействия ионизирующего излучения и среды — это ионизационный эффект (ионизация). В начальный период раз-

вития радиационной дозиметрии чаще всего приходилось иметь дело с рентгеновским излучением, распространявшимся в воздухе. Поэтому в качестве количественной меры поля излучения использовалась степень ионизации воздуха рентгеновских трубок или аппаратов.

Экспозиционная доза — это отношение суммарного заряда всех ионов одного знака в элементарном объёме воздуха к массе воздуха в этом объёме.

При расширении круга известных видов ионизирующего излучения и сфер его приложения, оказалось, что мера воздействия ионизирующего излучения на вещество не поддается простому определению из-за сложности и многообразности протекающих при этом процессов. Важным из них, дающим начало физико-химическим изменениям в облучаемом веществе и приводящим к определенному радиационному эффекту, является поглощение энергии ионизирующего излучения веществом. В результате этого возникло понятие поглощенная доза.

Поглощенная доза показывает, какое количество энергии излучения поглощено в единице массы любого облучаемого вещества и определяется отношением поглощенной энергии ионизирующего излучения к массе вещества.

За единицу измерения поглощенной дозы в системе СИ принят грэй (Гр). 1 Гр — это такая доза, при которой массе 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж. Внесистемной единицей поглощенной дозы является рад (*Radiation absorbed dose*).

Изучение отдельных последствий облучения живых тканей показало, что при одинаковых поглощенных дозах различные виды радиации производят неодинаковое биологическое воздействие на организм. Обусловлено это тем, что более тяжелая частица (например, протон) производит на единице пути в ткани больше ионов, чем легкая (например, электрон). При одной и той же поглощенной дозе радиобиологический разрушительный эффект тем выше, чем плотнее ионизация, создаваемая излучением. Чтобы учесть этот эффект, введено понятие эквивалентной дозы.

Эквивалентная доза рассчитывается как произведение значения поглощенной дозы на коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ).

ОБЭ — это показатель, необходимый для количественной оценки качества излучения.

ОБЭ оценивают сравнением дозы стандартного излучения, вызывающего определённый биологический эффект, с дозой стандартного излучения, обуславливающий тот же эффект. Величину ОБЭ вычисляют по формуле:

$$\text{ОБЭ} = D_r/D_x,$$

где D_r — доза рентгеновского излучения, Гр; D_x — доза изучаемого излучения, Гр. Сейчас принимается, что в качестве стандартного используется гамма-излучение.

Эффективная доза — величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных

его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. Одни органы и ткани человека более чувствительны к действию радиации, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе. Поэтому дозы облучения разных органов и тканей следует учитывать с разным коэффициентом, который называется коэффициентом радиационного риска.

Таблица 2

Коэффициент радиационного риска для разных органов

Органы и ткани	Коэффициент
Половые железы	0.2
Красный, костный мозг Толстый кишечник Желудок Лёгкие	0.12
Мочевой пузырь Печень Пищевод Щитовидная железа	0.05
Головной мозг	0.025
Кожа	0.01

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

В настоящее время на Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от 10^7 лет и выше.

Естественные радионуклиды можно разделить на 2 группы:

1) тяжелые радиоактивные химические элементы, расположенные в периодической системе Менделеева с 82 атомного номера (тяжелые естественные радионуклиды), их период полураспада от долей секунды до миллиардов лет;

2) легкие естественные радиоактивные изотопы стабильных химических элементов с начала и середины периодической системы Менделеева.

К радионуклидам определяющим естественный фон Земли относятся: калий – 40 (^{40}K), уран – 238 (^{238}U), торий – 232 (^{232}Th), радон ($^{219}\text{-}^{282}\text{Rn}$), радий (^{226}Ra) и продукты их распада.

Характеристики основных естественных и антропогенных (ядерно-энергетических) радионуклидов

Радионуклид	Период полураспада	Всасываемость, %	Место наибольшего накопления в организме	Время двукратного снижения активности в организме	Средняя энергия излучателей, МэВ			Среднегодовая фоновая нагрузка, мбэр
					α	β	γ	
Калий ^{40}K	$1,3 \times 10^9$ лет	100	Все тело, головной мозг, эритроциты	58 сут	-	0,5	0,16	≤ 20 в год во всем теле
Углерод ^{14}C	5730 лет	100	Жировая и костная ткани	-	-	$4,9 \times 10^{-2}$		1,02 во всем теле; 4,2 в жировой ткани
Радон ^{222}Rn	3,8 сут	Не всасываются	Не накапливаются, облучают верхние дыхательные пути и легкие по типу внешнего излучателя	-	5,5	1×10^{-5}	1×10^{-4}	≤ 50 на легкие
Торон ^{220}Tn	54,5 сут							
Радий ^{226}Ra	1620 лет	0,5-1	До 80% в скелете	17 лет	4,7	$3,6 \times 10^{-3}$	$6,7 \times 10^{-3}$	≤ 14
Торий ^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}$ лет	1	Скелет, печень	22 года	4,07	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-3}$	0,007 – 0,7
Полоний ^{209}Po	103 года	43	Скелет, красный костный мозг, легкие	50 сут	$5,75 \times 10^2$	5,8	1,55	0,001 на скелет $\leq 0,002$ на легкие
Стронций ^{90}Sr	29 лет	5	Все тело, скелет	15 лет	-	0,2-0,9; 1,1 в скелете	-	0,045
Иттрий ^{90}Y								
Плутоний $^{238-239}\text{Pu}$	$2,4 \times 10^3$ лет	0,35	Легкие, почки, печень	87 лет	5,5	1×10^{-2}	8×10^{-4}	0,005

Радио- нуклид	Период полу- распада	Всасыва- емость, %	Место наибольшего накопления в орга- низме	Время двукрат- ного снижения активности в ор- ганизме	Средняя энергия излучателей, МэВ			Среднегодовая фоновая нагруз- ка, мбэр
					α	β	γ	
Йод ^{131}I	8 сут	100	Щитовидная железа	7 сут	-	0,2	0,4	0,003
Йод ^{129}I	$1,57 \times 10^7$ лет					$6,4 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	
Цезий ^{137}Cs	30 лет	76	Все тело, почки, пе- чень	138 сут	-	0,2	0,6	0,08
Цезий ^{134}Cs	2,6 года					0,2	1,6	

**Первичные источники основных радионуклидов
естественного радиационного фона**

Природа литосферы и тип почвы	Концентрация радионуклидов, пКи/г (Бк/г)		
	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th
Граниты	27 (0,999)	1,6 (0,054)	2,2 (0,00081)
Сланцы	19(0,703)	1,2 (0,00044)	1,2 (0,000044)
Песчаники	10 (0,57)	0,5 (0,00002)	0,3 (0,00001)
Известняки	2,4 (0,888)	0,75 (0,0028)	0,19(0,000019)
Сероземы	18 (0,66)	0,85 (0,031)	1,3 (0,048)
Черноземы	11(0,41)	0,58 (0,021)	0,97 (0,036)
Серые лесные почвы	10 (0,37)	0,48 (0,017)	0,72 (0,027)
Подзолистые почвы	4,0 (0,15)	0,24 (0,009)	0,53 (0,012)
Усредненные данные по литосфере	10(0,37)	0,7 (0,026)	0,7 (0*026)
Типичный диапазон колебаний	3-20 (0,01-0,74)	0,3-1,4 (0,007-0,054)	0,2-1,3 (0,007-0,054)

Таблица 5

Содержание ⁴⁰K и ²²⁶Ra в основных пищевых продуктах

Продукт	⁴⁰ K, пКи/г (Бк/г)	²²⁶ Ra пКи/г (Бк/г)
Хлеб:		
черный	1,8 (66,6)	2,6 (0,096)
белый	0,8 (29,6)	2,5 (0,092)
Картофель	2,9 (107,3)	9,6 (0,35)
Капуста	2,2 (81,4)	1,7 (0,06)
Молоко	1,2(44,4)	0,3 (0,01)
Говядина	2,7 (99,9)	0,1 (0,03)
Свинина	2,0 (74,0)	1,5 (0,05)
Сельдь	2Д (77,7)	3,4 (0,12)
Треска	2,8 (103,6)	4,0 (0,15)
Яйца, 10 шт.	-	1,5 (0,05)
Масло	0,1 (3,7)	0,3 (0,01)

Таблица 6

**Средняя концентрация, г/кг (числитель), и
активность, Бк/кг (знаменатель), ⁴⁰К в организме человека**

Объект исследования	Показатель	Объект исследования	Показатель
Тимус*	0,6/18	Сердце	2,1/63
Кожа	0,8/24	Печень	2,5/75
Щитовидная железа	1,2/36	Спинальный мозг	2,9/87
Толстый кишечник	1,2/36	Головной мозг	3,0/90
Тонкий кишечник	1,3/39	Скелетные мышцы	3,0/90
Кровь	1,6/48	Эритроциты	3,4/102
Легкие	1,9/57	Селезенка	3,1/93
Семенники	2,0/60	Красный костный мозг	4,0/121

* Вилочковая (зобная) железа, центральный орган иммунной системы

Таблица 7

Концентрация радона в воздушной среде, Бк/м³

Страна	Приземный слой открытого воздуха	Воздух квартир*	Накапливаемая доза, мкЗв
Франция	$22,1 \times 10^{-2}$	4,8 – 13	300
Россия	$0,2 \times 10^{-2}$	6 – 17	400-1000
США	$0,1 \times 10^{-2}$	17	Нет сведений
Аляска	$0,01 \times 10^{-2}$	Нет сведений	400
Швеция	Нет сведений	Нет сведений	3700

* Кроме первого этажа, где радиоактивность превышает приведенные значения в 15 – 20 раз.

Концентрация радона в воде, кБк/м³

Источник	Страна	Район	Концентрация
Моря и океаны	-	-	10 ⁻³
Реки	-	-	7,4 – 11,1
Питьевая вода	Австрия	Зальцбург	1,5 – 7
		Багстайн	3700
	Финляндия	Хельсинки	1200
		Другие районы	280 – 45000
	Италия	-	80
	Швеция	-	19 – 150
	США	Штат Мэн	660 – 5800
		Штат Северная Каролина	100 – 1700
Великобритания	-	7,4 – 481	
Источник и буровые скважины	Франция	-	≥3700
	Япония	-	≥25900
	США	-	≥11100

Таблица 9

Удельная активность ^{226}Ra и ^{232}Th в строительных материалах и внешние лучевые нагрузки внутри жилья (по А. М. Кузину)

Вид строительного материала	Удельная активность, Бк/кг		Внешняя лучевая нагрузка, мбэр/год
	^{226}Ra	^{232}Th	
Шлакобетон на основе кварцевых глинистых сланцев	320 – 2620	24 – 115	93 – 170
Фосфогипс	24 – 555	3 – 22	93 – 170
Летучая зола	110 – 610	74 – 320	93 – 170
Цемент	9 – 168	4 – 81	93 – 170
Легкий заполнитель	36 – 195	37 – 182	93 – 170
Наполнитель бетона (гравий, галька, щебень)	4 – 167	4 – 463	93 – 170
Кирпич	33 – 152	21 – 178	37 – 100
Шлаковый заполнитель	84 – 151	32 – 182	37 – 100
Газобетон на основе песка	7 – 130	4 – 155	37 – 100
Черепица	63 – 91	32 – 64	37 – 100
Бетон	11 – 80	9 – 105	37 – 100
Известковый кирпич	6 – 25	4 – 29	37 – 100
Изоляционный материал (каменный или стеклянный войлок)	13 – 15	4,6 – 15	37 – 100
Штукатурка из природного гипса	1 – 13	1 – 12	37 – 100
Дерево	0,3 – 0,5	0,2 – 1,2	21 – 50

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение активности радиоактивного источника.
2. Перечислите радионуклиды естественного радиационного фона. Расскажите об их происхождении, метаболических и радиационных характеристиках.
3. Назовите радионуклиды, образующиеся при взаимодействии первичного космического излучения с веществом атмосферы.
4. Как в зависимости от географического расположения изменяются естественные фоновые излучения.
5. Какие антропогенные излучатели включены в состав современной среды. Перечислите их источники.
6. Что относится к территориям с резко повышенным радиационным фоном.
7. Какой вклад ядерных взрывов в радиоактивную загрязненность среды.
8. Назовите радиационно-экологические последствия работы атомных электростанций в нормальном и аварийном режимах.
9. Как происходит загрязнение среды от военных источников.
10. Расскажите о радиоактивном загрязнении среды от аварии на Чернобыльской АЭС.

ЯВЛЕНИЕ ИЗОТОПИИ

Радиоиндикаторный метод – один из универсальных методов научного исследования, широко используемый в современной биологии. Принцип этого метода заключается в том, что после введения в изучаемую систему веществ, меченых радиоактивными изотопами, можно проследить превращение этих веществ в биологических процессах. Успешное применение радиоиндикаторного метода в биологии в большей мере зависит от учета физических характеристик используемых изотопов. Напомним необходимые сведения из атомной физики.

Атом представляет собой ядро, окруженное оболочкой, состоящей из электронов. Диаметр атома в среднем равен 10^{-8} см; ядро составляет ничтожную часть атома, его диаметр порядка 10^{-13} см.

Электрон имеет массу $9,1 \times 10^{-28}$ г и несет отрицательный заряд, условно принимаемый за единицу.

Атомное ядро состоит из нуклонов - протонов и нейтронов. Протон имеет массу – $1,6724 \times 10^{-24}$ г и положительный заряд, равный единице. Масса нейтрона близка массе протона - $1,6747 \times 10^{-24}$ г, он не имеет электрического заряда.

Так как масса электрона чрезвычайно мала (равняется 1/1840 массы протона), то масса атома практически принимается равной массе ядра (т.е. массе протонов и нейтронов). Масса атома выражается в атомных единицах масса протона равна 1,00759, а масса нейтрона – 1,00898.

Положительный заряд ядра определяется числом протонов, которое равно числу электронов оболочки атома, т.е. атом в целом электронейтрален. Число протонов определяет так же порядковый номер элемента в периодической системе.

В принятой в настоящее время транскрипции ядро любого атома (X) может быть представлено как ${}^A_Z X$, где A – массовое число, а Z – заряд ядра или порядковый номер атома. Простейшим является состоящее из одного протона ядро атома водорода – массовое число и заряд равны единицы. Массовое число ядра атома второго элемента периодической системы – гелия – равно четырем, а заряд – двум; разность между массовым числом и порядковым номером элемента равна числу нейтронов – двум.

Ядра атомов одного и того же элемента содержат одинаковое число протонов, но могут содержать разное число нейтронов, т.е. обладать различной массой, имея одинаковые химические свойства. Такие атомы называются изотопами (термин означает – «занимающие то же место»).

Явление изотопии широко распространено в природе - многие элементы имеют по несколько изотопов (например, ${}^{16}_8 O$ – 99,7%; ${}^{18}_8 O$ – 0,2%; ${}^{14}_7 N$ – 96%; ${}^{15}_7 N$ -6,4% и др.).

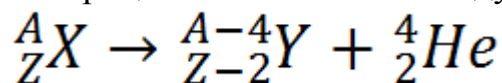
Различаются изотопы *стабильные* – атомные ядра которых устойчивы, и *радиоактивные*. Радиоактивностью называется явление спонтанной перестройки атомных ядер с образованием ядер других элементов, сопровождающееся излучением энергии в виде либо заряженных частиц, либо гамма-квантов. Оказывается, что только определенное соотношение числа протонов и нейтронов обеспечивает стабильное существование атомного ядра. Избыток или недостаток нейтронов является основной причиной неустойчивого состояния атомного ядра, приводящего к радиоактивному распаду.

В настоящее время для элементов периодической системы известно более 1500 изотопов. Из них только около 300 изотопов являются естественными. Естественные изотопы в основном стабильные и только небольшая их часть – радиоактивные. Естественные радиоактивные изотопы характерны для элементов с большим атомным номером, у которых имеет место избыток нейтронов в ядрах. Подавляющее большинство изотопов – это искусственные радиоактивные изотопы, полученные путем бомбардировки атомных ядер протонами (в циклотроне) или нейтронами (в ядерном реакторе).

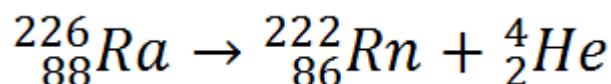
Открытие искусственной радиоактивности привело к широкому использованию радиоиндикаторного метода в биологии, так как стало возможным получать радиоактивные изотопы многих биологических элементов: ^3H , ^{14}C , ^{22}Na , ^{24}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{42}K , ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{125}I , ^{131}I .

Альфа – распад

Для радиоактивных изотопов элементов, имеющих большой атомный номер, характерен α -распад. В результате α -распада выделяется поток положительно заряженных сложных частиц, состоящих из двух протонов и двух нейтронов, т.е. α - частица – это ядра атомов гелия. При α -распаде происходит уменьшение атомного номера на две единицы, а массового числа на четыре единицы. В общем виде этот процесс записывается следующим образом:

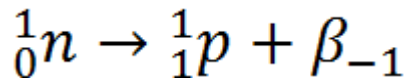


Примером может служить распад изотопа радия-226, протекающий с образованием радона-222:

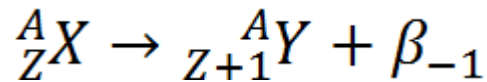


Негатронный распад (β^-)

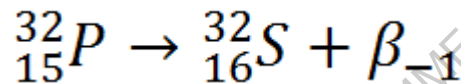
Ядра изотопов, имеющих избыток нейтронов, могут перейти в устойчивое состояние путем превращения нейтрона в протон с выбросом отрицательно заряженной β^- -частицы, которая называется негатроном:



Негатроны – это электроны, но названы они так для того, чтобы показать их ядерное происхождение в отличие от орбитальных электронов. Испускание негатрона всегда ведет к увеличению атомного номера на единицу, а массовое число при этом остается неизменным. В общем виде этот процесс записывается следующим образом:

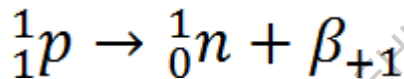


В качестве примера β -распада можно привести превращение ${}^{32}\text{P}$ и ${}^{32}\text{S}$ с испусканием негатрона:



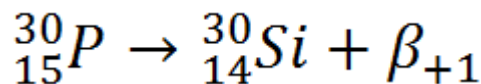
Позитронный распад (β_+)

Неустойчивость ядер радиоактивных изотопов может быть обусловлена не только избытком, но и недостатком нейтронов. В этом случае радиоактивный распад может происходить с испусканием позитрона (β^+):



Позитронный распад ведет к уменьшению атомного номера на единицу, но не меняет массовое число ядра. В общем виде этот процесс можно записать следующим образом:

Примером позитронного распада может служить превращение изотопа ${}^{30}\text{P}$ в изотоп ${}^{30}\text{Si}$:

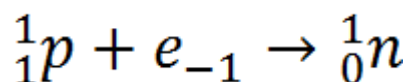


Позитроны очень нестабильные частицы с временем жизни 10^{-6} . В следствии их торможения происходит аннигиляция пар частиц с образованием двух гамма-квантов.

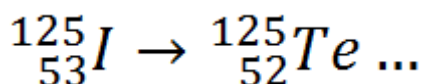
Электронный захват

Уменьшение числа протонов в ядре может происходить и при другом типе ядерной реакции, когда один из орбитальных электронов поглощается

ядром. В результате в ядре число протонов уменьшается, а число нейтронов увеличивается:



Уменьшение числа протонов в ядре означает образование элемента, предшествующего исходному. Так при превращении одного из радиоактивных изотопов йода образуется теллур:



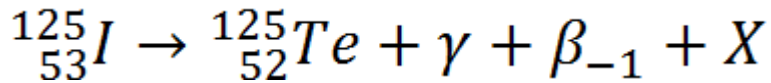
Это спонтанное превращение сопровождается испусканием избыточной энергии. Освобождение энергии ядра в этом случае связано не с выбросом каких-либо частиц, а происходит путем коротковолнового электромагнитного излучения, называемого γ -излучением (оно отличается от жесткого рентгеновского излучения только своим происхождением из ядра).

Изомерный переход

В результате α - или β -распада после испускания элементарных частиц некоторые радиоактивные ядра находятся в возбужденном состоянии. Ядро в возбужденном состоянии и ядро в основном состоянии имеют одинаковые заряд и массу, но разный период радиоактивного распада. Такие ядра называются изомерами. Избыток энергии в ядре, находящемся в возбужденном состоянии, может освобождаться путем испускания γ -квантов. При этом происходит изомерный переход ядер в основное состояние.

Переход возбужденного ядра в состояние с меньшей энергией возможен также путем внутренней конверсии, т.е. путем непосредственной передачи энергии возбуждения одному из орбитальных электронов атома. Такие электроны в отличие от электронов β -распада получили название конверсионных или электронов Оже по имени исследователя. Энергия конверсионных электронов ниже энергии γ -кванта, испускаемого при переходе в основное состояние ядра, на величину энергии связи электрона на соответствующей орбите. После вылета электрона из атома при внутренней конверсии, как и после электронного захвата, описанного выше, происходит перестройка электронной оболочки, так как ближайшая к ядру орбита не может оставаться незаполненной. Этот процесс всегда сопровождается испусканием рентгеновского излучения (X), тем более жесткого, чем больше разница энергий электронов на двух орбитах, между которыми происходит переход.

На основании сказанного можно достаточно подробно записать уравнение радиоактивного превращения биологически важного изотопа ${}^{125}\text{I}$:



Из уравнения следует, что при превращении ${}^{125}\text{I}$ в ${}^{125}\text{Te}$ испускается избыточная энергия ядра в виде γ -излучения (результат электронного захвата), выделяются конверсионные электроны и имеет место рентгеновское излучение.

Правила смещения Содди

В результате α -распада атом смещается на 2 клетки к началу таблицы Менделеева (заряд ядра уменьшается на 2).

После β -распада элемент смещается на 1 клетку к концу таблицы Менделеева (заряд ядра увеличивается на единицу).

После позитронного распада и электронного-захвата элемент смещается на 1 клетку к началу таблицы Менделеева (заряд ядра уменьшается на единицу).

ХАРАКТЕРИСТИКА ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Перечисленные выше виды ядерных излучений различаются по своим физическим свойствам и, следовательно, по взаимодействию с веществом.

Альфа – излучение

Тяжелые положительно заряженные α -частицы обладают как правило большой энергией: 4-8 МэВ (электронвольт – энергия, которую приобретает частица с зарядом в 1 электростатическую единицу в поле с разностью потенциалов в 1 В). Характерно, что α -частицы, испускаемые данным изотопом, как правило, обладают одним строго определенным уровнем энергии или, в некоторых случаях, несколькими уровнями энергии.

Движение α -частиц в веществе прямолинейное, они отклоняются только в случае непосредственного столкновения с ядром. Медленно движущаяся в веществе α -частица оказывает электростатическое воздействие на внешние орбитальные электроны атомов. В результате взаимодействия α -частицы с веществом возможно либо возбуждение, либо ионизация атомов. При возбуждении орбитальные электроны получают энергию от α -частиц, но не покидают атом, а только перемещаются на орбиты, наиболее удаленные от ядер. При возвращении в основное состояние электроны испускают избыточную энергию в виде фотонов. Если α -частица вырывает орбитальные электроны, то атом превращается в положительный ион. В результате этого процесса, называемого ионизацией, образуется пара ионов: электрон и положи-

тельно заряженный ион. Если учесть, что на образование одной пары ионов требуется примерно 34 эВ кинетической энергии, то α -частица средней энергии, например, α -частица ^{221}Ra с энергией 6,71 МэВ образует в воздухе около 2×10^5 пар ионов.

Для α -излучения характерна большая удельная ионизация (число пар ионов, образующихся на единицу пути частицы в воздухе при нормальном давлении). Удельная ионизация вдоль пробега α -частицы в воздухе изменяется. В результате большего числа столкновений и потери кинетической энергии α -частицы замедляются, а время взаимодействия α -частиц с молекулами возрастает, поэтому удельная ионизация достигает максимума, а затем, когда α -частицы потеряют всю энергию, удельная ионизация резко снижается до нуля. Так как энергия α -излучения дискретна, то α -частицы данного изотопа пролетают в воздухе строго определенное расстояние. Экспериментально установленные средние пробеги (расстояние, на котором начальная интенсивность излучения снижается вдвое) для α -частиц средней энергии равны в воздухе нескольким сантиметрам. Средние пробеги α -частиц в более плотных средах выражаются в микронах.

Для характеристики длины пробега частицы в веществе на практике чаще пользуются не линейными единицами, а другой мерой, называемой эквивалентной толщиной или поверхностной плотностью; она представляет собой толщину поглотителя (см), умноженную на плотность вещества ($\text{мг}/\text{см}^3$), и выражается в $\text{мг}/\text{см}^2$.

Малая проникающая способность α -излучения затрудняет его обнаружение. Источники излучения, как правило, необходимо помещать внутрь детектора.

Благодаря малой проникающей способности α -частицы не представляют радиационной опасности в случае внешнего облучения. Однако при попадании внутрь организма α -частицы рассеивают энергию в малом объеме ткани и могут вызвать необратимые местные повреждения.

Так как α -излучение в основном характерно для элементов, не играющих существенной роли в обменных процессах, то α -излучатели за редким исключением не используются как индикаторы в биологических исследованиях, а излучаются в связи с их биологической опасностью.

Бета – излучение

β -частицы – негatronы (электроны) и позитроны отличаются тем, что первая частица имеет один элементарный отрицательный заряд, а вторая – положительный. Масса β -частиц ничтожно мала и составляет 0,002 а.е.м. Важным свойством β -излучателей является то, что образовавшиеся при распаде частицы обладают непрерывным спектром энергии вплоть до максимального значения ($E_{\text{макс}}$), характерным для данного изотопа. Значение $E_{\text{макс}}$ сильно варьирует от нескольких КэВ (10 КэВ у ^3H) до нескольких МэВ (4,81

МэВ у ^{38}Cl).

Исключение представляет изотоп ^{12}B , у которого $E_{\text{макс}}$ β -частиц достигает 13 МэВ. Условно β -излучение делится на мягкое ($E_{\text{макс}}$ меньше 1 МэВ) и жесткое ($E_{\text{макс}}$ больше 1 МэВ). Из анализа любого β -спектра следует, что доля частиц с энергией, близкой к максимальной, очень мала, а наибольшая доля частиц испускается со средней энергией ($E_{\text{ср}}$). Для большинства β -излучателей $E_{\text{ср}}$ равняется примерно 1/3 от $E_{\text{макс}}$.

В 1932г. В. Паули постулировал, что при β -распаде освобождается энергия, равная максимальной энергии β -частиц меньше $E_{\text{макс}}$, то должна существовать еще некоторая частица – нейтрино – на долю которой приходится часть энергии, освобождающейся при β -распаде. Существование непрерывного β -распада распределяется случайным образом между β -частицей и нейтрино. Экспериментально существование нейтрино – частицы, не имеющей заряда и обладающей ничтожной массой, было доказано лишь в 1956г.

Одним из исключений является β -излучение биологически важного изотопа ^{131}I . в результате распада атомных ядер этого изотопа возникают β -частицы с энергиями 250, 330, 610, и 810 КэВ. β -частицы с энергией 610 КэВ является доминирующими (> 80%).

Результатом взаимодействия β -частиц с веществом будет, как и для α -частиц ионизация и возбуждение атомов. Однако удельная ионизация при действии β -частиц существенно меньше, чем при действии α -частиц, имеющих ту же кинетическую энергию. Это объясняется тем, что легкие β -частицы при данной кинетической энергии имеют большую скорость и заряд, вдвое меньший, чем у α -частиц. Поэтому проникающая способность и длина пробега β -частиц больше, чем α -частиц. В среднем принимается, что длина пробега β -частиц в воздухе достигает 10 м, а в тканях – до 1 см. Для легких β -частиц как в воздухе, так и в других поглотителях трудно экспериментально определить линейный пробег, поэтому чаще пробег выражают в эквивалентной толщине.

Малая проникающая способность ряда биологически важных β -излучателей затрудняет их обнаружение; при работе с этими изотопами важным становится вопрос о выборе соответствующего детектора.

Биологическая опасность в случае применения β -излучателей, также как при работе с α -излучателями, зависит от того, будет облучение наружным или внутренним. Для защиты от внешнего облучения β -излучателями необходимо пользоваться экраном или помещать излучатель в контейнер из стекла, плексигласа или металла толщиной в несколько миллиметров. Хорошей защитой будет увеличение расстояния от источника. Попадание источника β -излучения внутрь организма особенно опасно в том случае, если имеет место локальное накопление β -излучателя (например, трития в ДНК хромосом или ^{45}Ca в костях), приводящее к радиоактивному поражению.

Гамма – излучение

В ряде случаев радиоактивный распад сопровождается γ -излучением. Число γ -квантов, освобождающихся при одном радиоактивном распаде колеблется, γ -кванты не несут заряда и не имеют массы покоя, поэтому γ -излучение имеет большую проникающую способность. Энергия γ -квантов большинства смешанных радиоизотопов лежит в пределах от 10 КэВ до 3 МэВ. Реже встречаются γ -кванты с энергией 7 и более МэВ. Вследствие наличия нескольких путей переходов у некоторых изотопов испускаются γ -кванты различных энергий.

При прохождении через вещество γ -кванты, не будучи связаны с полем, непосредственно не вызывают ионизацию атомов. В результате соударения γ -квантов с атомами образуются электроны, которые в свою очередь ионизируют среду. Следует различать ядерные взаимодействия γ -квантов и взаимодействия с орбитальными электронами атома. Ядерные взаимодействия, характерные для γ -квантов с высокой энергией (> 6 МэВ), при которых γ -кванты вызывают возбуждение нуклонов, не имеют существенного значения при использовании радиоизотопов как индикаторов. Каково будет взаимодействие γ -излучения с орбитальными электронами, определяется энергией γ -квантов.

У γ -квантов с энергией ниже 0,5 МэВ наиболее выражен фотоэлектрический эффект. При этом γ -квант передает свою энергию орбитальному электрону и сам перестает существовать. Энергия выбитого электрона равна разности энергии γ -кванта и энергии связи электрона. Для γ -квантов с энергией не ниже 0,15 МэВ характерен эффект Комптона. При этом только часть энергии затрачивается на выбивание электрона и γ -квант с пониженной энергией продолжает путь в новом направлении.

Комптоновские электроны способны вызывать значительную ионизацию, а рассеянный γ -квант способен претерпеть еще ряд столкновений с атомами, пока не потеряет всю энергию. Если γ -квант обладает энергией еще большей, то происходит его взаимодействие с полем ядерных сил, энергия фотона при этом превращается в две частицы: позитрон и электрон. Этот эффект называется эффектом образования пар. Чтобы произошло образования пар, энергия γ -кванта должна быть больше $2mc^2$, т.е. 1,02 МэВ. Образовавшиеся частицы производят ионизацию. Итак, при всех трех типах взаимодействия γ -квантов с орбитальными электронами (фотоэлектрический эффект, эффект Комптона, эффект образования пар) имеет место ионизация как вторичный эффект.

В отличие от α - и β -излучения γ -излучение не имеет строго ограниченного пробега, оно непрерывно поглощается по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 l^{-kl}$$

позволяющему определить интенсивность излучения (I) после прохождения слоя вещества толщиной l при коэффициенте поглощения для данного вещества равного k . Для количественной оценки поглощения γ -излучения иногда рассчитывается линейный коэффициент поглощения (μ), выраженный в см^{-1} , величина которого определяется энергией γ -квантов и материалом поглотителя. Более удобным показателем для оценки поглощения является, однако, массовый коэффициент поглощения, который равен линейному коэффициенту, деленному на плотность поглотителя и, следовательно, не зависит от природы поглощения. Для количественной оценки поглощения γ -излучения можно использовать также толщину слоя полупоглощения, т.е. толщину слоя поглотителя, снижающего интенсивность излучения вдвое.

Вследствие большой проникающей способности γ -квантов они представляют большую опасность как внешние облучатели, при попадании γ -квантов внутрь они могут привести к общему поражению организма. Поэтому работа с γ -источниками должна проводиться с использованием средств защиты.

ЗАКОН РАДИАЦИОННОГО РАСПАДА

Закон радиоактивного распада — закон, открытый Фредериком Содди и Эрнестом Резерфордом экспериментальным путём и сформулированный в 1903 году.

При радиоактивном распаде происходит непрерывное уменьшение исходного количества изотопа. Скорость этого процесса зависит от степени нестабильности изотопа и не зависит, например, от таких факторов, как температура или давление. Самопроизвольный распад определенного атома в данный момент времени – событие случайное, поэтому при изучении скорости радиоактивного распада применяются статистические методы. Применение их показало, что радиоактивный распад подчиняется закону, который может быть сформулирован так: в единицу времени распадается строго определенная доля от исходного количества атомных ядер. Таким образом, если N – начальное число атомов и dN – число атомов, распадающихся за отрезок времени dt , то:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

и, следовательно:

$$\lambda = - \frac{dN/N}{dt}$$

где λ – постоянная распада – величина, характеризующая скорость распада данного радиоизотопа, т.е. показывающая, какая именно доля атомов распадается за единицу времени, и измеряется в обратных временных единицах. Знак минус в уравнении означает, что происходит уменьшение начального числа атомов. При этом, если N_0 - число атомов при $t = 0$, то интегрируя уравнение при $N^0 \rightarrow N$ можно написать:

$$- \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \lambda \int_{t_0}^t dt$$

откуда

$$\ln \frac{N_0}{N} = \lambda t$$

Таким образом, уравнение радиоактивного распада может быть выражено в экспоненциальной форме:

$$N = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

Радиоактивный распад удобнее представлять интервалом времени в течении которого распадается половина исходного числа атомов. Эта строго определенная для каждого радиоизотопа величина называется периодом полураспада ($T_{1/2}$).

Установить связь между величинами λ и $T_{1/2}$ легко, если решить уравнение радиоактивного распада для $t = T_{1/2}$. при этом $N = 1/2N_0$ и уравнение принимает вид:

$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 \times e^{-\lambda T_{1/2}}$$

и следовательно:

$$1/2 = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$2 = e^{\lambda T_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2} \ln e$$

$$0,693 = \lambda T_{1/2}$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

Таким образом, период полураспада обратно пропорционален константе распада.

Периоды полураспада разных изотопов сильно различаются; они могут быть равными долями секунды (например, у $^{12}\text{В}$ $T_{1/2} = 0,022\text{с}$) и миллиардам лет (например, у ^{238}U $T_{1/2} = 4,5 \times 10^9$ лет).

Если исследователь имеет дело с неизвестным радиоизотопом, для идентификации последнего необходимо определить $T_{1/2}$. Это легко сделать для короткоживущих изотопов по экспериментальной кривой, на которой в полуграфическом масштабе представлены результаты уменьшения активности проб во времени.

Для долгоживущих изотопов определить период полураспада таким образом трудно. В этом случае постоянная распада (λ , следовательно, и $T_{1/2}$) рассчитывается из абсолютной скорости распада по уравнению:

$$\lambda = - \frac{dN/N}{dt}$$

Абсолютное число атомов радиоизотопа (N) определяется из соотношения:

$N = \text{число Авогадро/атомный вес радиоизотопа} \times \text{вес радиоизотопа}$

Вес радиоизотопа известен, если установлен изотопный состав пробы. Для проведения эксперимента часто надо быть уверенным в радиохимической чистоте используемого радиоизотопа. При этом достаточно убедиться в том, что кривая распада, построенная в полуграфическом масштабе, будет прямой линией. Если же кривая распада сложная, то это свидетельствует о том, что в пробе присутствуют несколько радиоизотопов. Такую сложную кривую распада легко разложить на составляющие, если в пробе присутству-

ют не более 2–3-х радиоизотопов и если их периоды полураспада существенно различаются. В биологических исследованиях, проводимых при использовании радиоизотопов, иногда приходится иметь дело со сложным распадом. Так, в результате распада «родительского» изотопа ^{90}Sr ($T_{1/2} = 19,9$ лет) возникает дочерний изотоп ^{90}Y , который является также радиоактивным ($T_{1/2} = 2,54$ дней); при регистрации проб в этом случае определяется, в сущности, суммарная активность обоих изотопов. В случае необходимости можно использовать математические методы отдельного определения активности каждого изотопа.

С постоянной распада связана еще одна величина T_{cp} , которая характеризует среднюю продолжительность жизни изотопа. Она определяется как величина обратная постоянной распада $T_{\text{cp}} = \lambda^{-1}$, и используется для вычисления общего числа частиц, испускаемых за определенный период распада.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите виды ионизирующего излучения. В чем заключается процесс ионизации.
2. Как происходит альфа-распад радионуклидов. Назовите основные характеристики альфа излучения.
3. Дайте определение второму и третьему правилу смещения.
4. Как гамма-квант взаимодействует с веществом.
5. В каких единицах выражается активность радиоактивного изотопа.
6. Что такое период полураспада.

МОНИТОРИНГ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Наибольший вклад в дозу облучения населения вносят природные источники ионизирующего излучения (от 50 до более 90%). Крайне актуальна эта проблема для Алтайского, Ставропольского краев, Республик Алтай и Тыва, Ростовской, Челябинской, Омской областей. Например, в Республике Алтай облучение только за счет радона составляет 83,2% коллективной дозы населения от всех источников ионизирующего излучения.

Уровни облучения населения радоном, а так же γ -излучением природных радионуклидов определяются радиационной обстановкой в жилых и других зданиях, в которых люди проводят около 80% своего времени. Поэтому радиационный контроль за этими источниками ионизирующего излучения направлен на обследование жилого фонда и строительных материалов.

Массовые измерения содержания радона в воздухе жилых помещений начались с утверждения Федеральной программы «Радон» (1994). В основном, контроль за содержанием радона в воздухе помещений ведется в рамках Госсанэпиднадзора. Осуществляемый контроль за содержанием радона в воздухе помещений в 2000г. показал, что 97,3% эксплуатируемых и 97,6% строящихся исследованных зданий соответствует гигиеническим нормативам (эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона менее 200 и 100 Бк/м³ соответственно).

Для 2,1% эксплуатируемых и 2,4% строящихся исследованных зданий (г. Санкт-Петербург, Магаданская область и др.) даны рекомендации по проведению защитных мероприятий, направленных на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. В ряде случаев необходимым (два дома в с. Атаманово, Красноярский край) требованием для обеспечения радиационной безопасности населения было переселение жильцов и др. С 2000г. регламентирован новый показатель (плотность потока радона из грунта), определение которого позволит обеспечить радиационную безопасность населения уже на стадии землеотвода. Практически во всех регионах сложилась система радиационного контроля местных и ввозимых на территорию Российской Федерации строительных материалов. В 2000 г. >99,3% строительных материалов местного производства было отнесено к 1 классу, который по гигиеническим радиационным показателям допускается к использованию без ограничений; 0,6% образцов – ко 2 классу (применение только в промышленном и дорожном строительстве); 0,1 % образцов – к 3 классу (использование в дорожном строительстве вне населенных пунктов). При исследовании строительных материалов, поступивших по импорту: 97,4% – первый класс, второй класс – 1,8%, третий класс – 0,8%) проб. Третий класс исследованных строительных материалов составили гранит, мрамор, цемент, гипс, щебень.

До настоящего времени в Российской Федерации повышенное производственное облучение природными источниками практически не контролировалось. Однако по данным Научного комитета ООН по действию атомной радиации (2000г.) средние дозы облучения и количество людей, подвергающихся облучению указанной компонентой больше, чем соответствующие показатели для профессионального облучения техногенными источниками. В частности, для организаций, осуществляющих работы в подземных условиях (рудники, шахты, др.), характерны высокие уровни радона, для добывающих, перерабатывающих и использующих минеральное и органическое сырье с повышенным содержанием радионуклидов - повышенные уровни гамма - излучения, ингаляционное поступление радионуклидов с производственной пылью. Внедрение государственного статистического мониторинга за дозами облучения работников организаций и населения природными источниками ионизирующего излучения позволит оценить реальные уровни облучения природными источниками, отработать методы контроля доз, обусловленных данными источниками, и, наконец, наметить пути снижения воздействия облучения природными источниками на население.

Годовые дозы облучения большей части персонала соответствуют установленному гигиеническому нормативу (менее 20 мЗв в год). В рамках «Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕГСКИД)» с 2000г. на территории Российской Федерации введены формы федерального статистического наблюдения за индивидуальными дозами облучения персонала и населения.

С 1996 по 2000гг. значительно уменьшилось количество радиационных аварий и число пострадавших.

Таблица 10

Количество аварий и лиц, подвергшихся повышенному облучению в 1996-2000 гг.

Количество аварий	1996	1997	1998	1999	2000
Радиационные аварии	44	100	125	63	28
Количество пострадавших	20	36	26	2	3

Мониторинг медицинского облучения

По всем субъектам Российской Федерации медицинское облучение населения занимает второе место после естественных источников. По данным радиационно-гигиенической паспортизации среднее значение

вклада в коллективную дозу населения за счет медицинского облучения равно 30%, что соответствует 1,01 мЗв/чел.

По данным радиационно-гигиенической паспортизации наиболее значительный вклад в коллективную дозу населения России за счет медицинского

облучения вносит рентгеноскопия. Хотя доля таких процедур в их общем количестве в целом по России не превышает 4%. Флюорографические исследования дают 33% коллективной дозы населения России за счет медицинского облучения.

Анализ данных показывает, что медицинское облучение во многом зависит от материально-технического состояния рентген кабинетов, качества технического обслуживания аппаратуры, структуры проводимых исследований, обеспеченности средствами индивидуальной защиты персонала и пациентов.

В последние годы в России начат выпуск низко дозовых рентгенологических аппаратов, дозиметров для регистрации индивидуальных доз облучения пациентов. Внедрение в медицинских учреждениях методов контроля и учета индивидуальных эффективных доз пациентов позволит более точно проанализировать состояние радиационной безопасности пациентов при проведении рентгенорадиологических процедур и наметить пути по снижению уровней облучения населения.

Мониторинг территорий, загрязненных радионуклидами

Полномасштабное изучение радиационной обстановки в пределах России и смежных государств, проведенное в конце 80-ых и первой половине 90-ых годов прошедшего века позволило выявить основные зоны загрязнения радионуклидами - цезиевые пятна. Мониторинг загрязненных территорий в последующие годы осуществляется с преимущественным вниманием именно к этим районам.

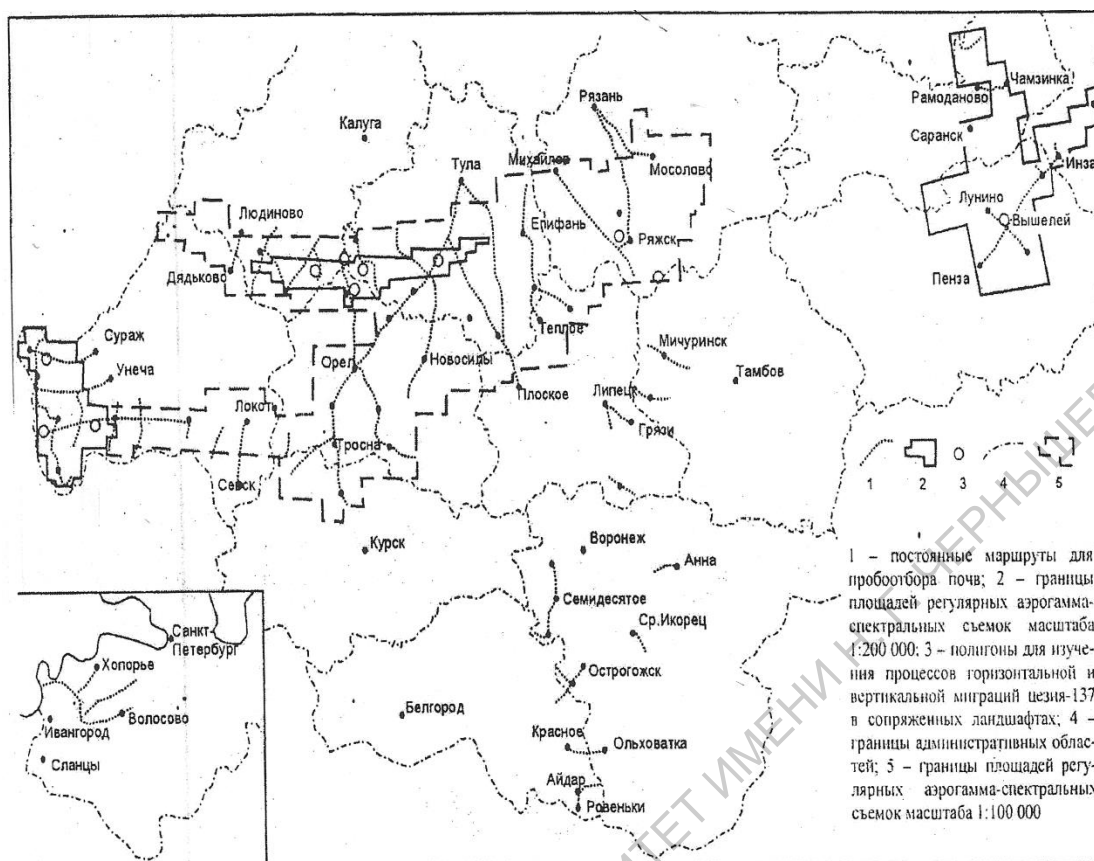


Рис 1. Схема сети радиационного мониторинга цезиевых пятен на европейской территории России

Повторные измерения изолиний уровней загрязнения цезием – 137 должны проводиться через три года (в XXI столетии в 2002, 2005, 2008гг. и т.д.) система радиационного мониторинга на территориях с уровнем загрязнения более 1 Ки/км^2 строиться по фиксированным участкам, на которых регулярно отбираются образцы проб. Пункты пробоотбора должны выбираться с учетом достаточно разнообразного ландшафта, например, включающего водораздел – склон – долину, что позволяет контролировать процессы смыва загрязнений, их зависимости от состояния почв (дерн, песок и т.д.). Пункты пробоотбора в европейской части России приведены в таблице.

**Параметры сети отбора проб почв в загрязненных зонах
европейской части России**

Субъект России (области)	Площадь загрязнения Cs ¹³⁷ выше 1 Ки/км ² тыс.км ²	Протяженность маршрутов пробо- отбора, км	Число пунктов пробоотбора почв
Брянская	11,8	750	150
Тульская	11,6	500	100
Калужская	4,9	200	40
Рязанская	5,3	300	40
Орловская	9,0	59	60
Воронежская	1,3	25	10
Тамбовская	0,5	50	5
Липецкая	0,5	50	10
Белгородская	1,6	150	10
Курская	1,6	50	10
Пензенская	4Д	50	30
Ульяновская	1Д	25	10
Ленинградская	0,9	12	5

Таким образом, сопоставление и анализ вновь получаемых наблюдательных данных с предшествующими позволяет прогнозировать дальнейшее изменение радиационной обстановки и, в частности, выявлять тенденции в изменении конфигурации цезиевых пятен.

При радиационных авариях на объектах ядерной энергетики или других ядерно-физических предприятиях и возникновении чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия методика мониторинга изменяется и строится в зависимости от конкретных радиационных условия. Согласно классификации чрезвычайных радиологических ситуаций аварии по времени разделяются на три фазы. Начало ранней фазы приходится на «момент появления потенциальной опасности значительного выброса активности за пределы установки»; эта фаза начинается за 0,5 – 30 часов до начала выброса и ее длительность может составлять от 0,5 часа до нескольких дней. Начало промежуточной фазы приходится на «первые часы после начала выброса». Продолжительность восстановительной поздней стадии может составлять от нескольких недель до нескольких лет после аварии.

Во время ранней стадии аварии принимается решение об использовании чрезвычайных мер, основываясь на предварительном анализе возможных загрязнений при проектной аварии, на данных и прогнозах о состоянии ава-

рийной установки и ряде других обстоятельств. При этом дозиметрический контроль должен быть направлен на получение данных, необходимых для принятия решения о защитных мерах. В течение промежуточной фазы оказывается возможным измерение уровней загрязнения и состава радионуклидов на загрязненной территории.

Мониторинг продовольственного сырья и пищевых продуктов

В 2000г. исследовано 217992 проб пищевых продуктов на содержание радиоактивных веществ. Из них не отвечает гигиеническим требованиям 4707 проб (2,16 %), в т.ч. по содержанию цезия 137 – 4651 проба (2,38 %); стронция 90 – 59 проб (0,05 %).

С 1996г. наблюдается тенденция увеличения процента продовольственного сырья и пищевых продуктов, превышающего гигиенические нормы. Это связано с большой долей анализов, проведенных на загрязненных территориях и увеличением процента исследований дикорастущих, а так же молока, мяса из личных подсобных хозяйств, что диктуется необходимостью усиления надзора за продуктами, потребление которых за последние годы возросло.

Таблица 12

Динамика исследований проб продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание цезия - 137 за 1996 - 2000гг.

Годы	Исследовано проб продовольственного сырья и пищевых продуктов								
	Всего			Мясо и мясные продукты			* Молоко и молокопродукты		
	Всего проб	Из них с превышением	% проб с превышением	Всего проб	Из них с превышением	% проб с превышением	Всего проб	Из них с превышением	% проб с превышением
1996	159392	958	0,6	17890	58	0,32	30940	162	0,52
1997	160174	1822	1,1	17609	57	0,32	26315	136	0,52
1998	174098	4243	2,4	19193	141	0,7	28146	2209	7,8
1999	188312	3725	1,98	19021	196	1,03	28355	2705	9,054
2000	195151	4651	2,38	18151	126	0,7	30118	2417	8,0

В 2000г. случаи превышения допустимого содержания радионуклидов в продуктах питания местного производства отмечались в двух областях - Брянской и Калужской, в молочных продуктах, мясе, на долю которых приходится 97,5% от общего числа несоответствующих нормативам проб. Преобладающий вклад в общее количество неудовлетворительных проб вносят

пробы грибов и дикорастущих ягод, для которых не обнаружено уменьшения загрязненности в течении 15 лет, прошедших после аварии на

ЧАЭС. На территории других субъектов Российской Федерации случаи превышения нормативов по содержанию радионуклидов выявлялись в основном в завозных продуктах - мясе (Вологодская, Магаданская области, г. Москва), чае (Пермская область), лекарственных травах (Челябинская область), лесных ягодах и грибах (Архангельская, Тульская, Ленинградская области, г. Москва).

Мониторинг состояния здоровья населения и ликвидаторов аварий на Чернобыльской АЭС

Российский государственный медико-дозиметрический регистр (РГМДР) содержит индивидуальные медико-дозиметрические данные на 571135 человек, подвергшихся радиационному воздействию в результате чернобыльской катастрофы. Большая часть из наблюдаемых в регистре – это ликвидаторы (184175 человек) и жители наиболее загрязненных территорий – 336309 человек.

Результаты более чем пятнадцатилетнего наблюдения в рамках Национального регистра за состоянием здоровья населения наиболее загрязненных территорий свидетельствуют:

- после аварии на ЧАЭС выявлен рост числа заболевших раком щитовидной железы в Брянской, Орловской, Калужской и Тульской областях. По данным РГМДР установлено, что группой повышенного риска являлись дети на момент аварии на ЧАЭС. Среди детей (на момент аварии на ЧАЭС) Брянской области выявлено 170 случаев рака щитовидной железы, из которых 55 с высокой вероятностью обусловлено радиационным воздействием ¹³⁵I;

- общая заболеваемость взрослого населения, проживающего на загрязненных территориях, достоверно превышает средние по стране показатели, при том, что структура заболеваемости и темпы ее роста аналогичны. Преобладают болезни органов дыхания – 20,1%, системы кровообращения — 12,1%, органов чувств – 11,0%;

- уровень смертности в Брянской, Орловской, Калужской и Тульской областях постоянно превышает уровень смертности по России в целом как до, так и после аварии.

Медицинские последствия аварии не исчерпываются чисто радиологическими. Негативно отразились на показателях здоровья многолетний стресс, которому оказались подвержены и население, и ликвидаторы, изменение образа жизни, ограничения в потреблении местных продуктов питания, снижение уровня жизни.

Радиационный мониторинг по области проводится подразделениями Саратовского ЦГМС. Наблюдения за радиационным загрязнением ведется:

- ежедневно путем определения мощности дозы гамма - излучения всеми подразделениями ЦГМС;

- ежедневно путем круглосуточного отбора проб атмосферных выпадений с помощью марлевых планшетов на 4-х метеостанциях ЦГМС (МС Балашов, МС Новоузенск, МС Пугачев и АМСГ Саратов – южный).

На 20 метеостанциях области мощность эквивалентной дозы гамма – излучения (МЭД) ежедневно определялась дозиметрическими приборами, их них 9 метеостанций ведут измерения 8 раз в сутки (100-км зона Балаковской АЭС) и 10 метеостанций – 1 раз в сутки. Измерения гамма – излучения в г. Балаково ведутся на Озерной станции 3 раза в сутки.

Лабораторный контроль окружающей среды в районе расположения Балаковской АЭС, санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения осуществляется лабораторией контроля внешней радиационной безопасности (ЛКВРБ). Для проведения оперативного контроля радиационной обстановки используется передвижная лаборатория на базе автомобиля. Для , осуществления непрерывного контроля радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения АЭС смонтирована система «Skylink», предназначенная для осуществления непрерывного контроля радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения, как при нормальной эксплуатации, так и при возникновении ЧС. В настоящее время вводится в эксплуатацию система АСКРО, предусматривающая размещение дополнительно еще 16-ти постов радиационного контроля в зоне наблюдения, из них 4 поста уже введены в работу. Радиационная разведка в режиме чрезвычайной ситуации спланирована и осуществляется:

а) в контролируемой зоне и на территории станции – силами оперативного персонала т работающей смены;

б) в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения – силами лаборатории контроля внешней радиационной безопасности.

Нормы радиационной безопасности

Нормы радиационной безопасности НРБ-99 применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Требования и нормативы, установленные НРБ, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а так же для администраций субъектов Российской Федерации, местных органов власти, граждан Российской Федерации, иностранных граждан и лиц без гражданства, проживающих на территории Российской Федерации.

Настоящие Нормы являются основополагающим документом, регламентирующим требования Федерального закона «О радиационной безопасности населения» в форме основных пределов доз, допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения и других требований по ограничению облучению человека. Никакие другие нормативные и методические документы не должны противоречить требованиям Норм.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Требования по обеспечению радиационной безопасности сформулированы для каждого вида облучения. Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий, а так же для обоснования защитных мероприятий и оценки их эффективности.

Требования Норм и Правил не распространяются на источники излучения. Создающие при любых условиях обращения с ними:

- индивидуальную годовую, эффективную дозу не более 10 мкЗв;
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике не более 15 мЗв;
- коллективную эффективную годовую дозу не более 1 Зв/чел, либо когда при коллективной дозе более 1 Зв/чел оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы.

Требования Норм и Правил не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять. Перечень и порядок освобождения источников излучения от радиационного контроля устанавливается санитарными правилами.

Общие положения норм радиационной безопасности

1. Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

2. Основу системы радиационной безопасности, сформулированной в данных НРБ, составляют современные международные научные рекомендации, опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт. Данные мировой науки показывают, что соблюдение Международных основных норм безопасности, которые легли в основу НРБ, надежно гарантирует безопасность работающих с источниками излучения и всего населения.

3. Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (зло-

качественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

4. Нормы радиационной безопасности относятся только к ионизирующему излучению. В них учтено, что ионизирующее излучение является одним из множества источников риска для здоровья, и что риски, связанные с воздействием излучения, не должны соотноситься только с выгодами от его использования, но их следует сопоставлять и с рисками нерадиационного происхождения.

5. Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);

- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);

- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

6. Ответственность за соблюдение настоящих НРБ устанавливается в соответствии со статьей 55 Закона Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

7. Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере 1 чел. - года жизни населения. Величина денежного эквивалента потери 1 чел. - года жизни населения устанавливается методическими указаниями федерального органа Госсанэпиднадзора в размере не менее 1 годового душевого национального дохода.

8. При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона (^{222}Rn) и тория (^{220}Th) в воздухе помещений $\text{Rn}_{\text{ЭКВ}} + 4,6\text{Th}_{\text{ЭКВ}}$ не превышала 100 Бк/м^3 , а мощность поглощенной дозы γ -излучения в воздухе не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ (20 мкР/ч).

9. В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона и тория в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м^3 . При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ (20 мкР/ч).

10. Требования по обеспечению радиационной безопасности населения распространяются на регулируемые природные источники излучения: изотопы радона и продукты их распада в воздухе помещений, гамма - излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных изделиях, природные радионуклиды в питьевой воде, удобрениях и полезных ископаемых.

11. Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации планируют и проводят работы по оценке и снижению уровней облучения населения природными источниками излучения. Сведения об уровнях облучения населения природными источниками излучения заносятся в радиационно-гигиенические паспорта территорий.

Относительную степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз от природных источников излучения:

- менее 2 мЗв/год (0,23 мкЗв/ч (23 мкР/ч)) – облучение не превышает средних значений доз населения от природных источников излучения;
- от 2 до 5 мЗв/год (от 0,23 мкЗв/ч (23 мкР/ч) до 0,57 мкЗв/ч (57 мкР/ч)) – повышенное облучение;
- более 5 мЗв/год (0,57 мкЗв/ч (57 мкР/ч)) – высокое облучение.

Мероприятия по снижению высоких уровней облучения должны осуществляться в первоочередном порядке.

Требования к контролю за выполнением НРБ

1. Радиационный контроль является важнейшей частью обеспечения радиационной безопасности, начиная со стадии проектирования радиационно-опасных объектов. Он имеет целью определение степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов.

2. Радиационному контролю подлежат:

- радиационные характеристики источников излучения, выбросов в атмосферу, жидких и твердых радиоактивных отходов;
- радиационные факторы, создаваемые технологическим процессом на рабочих местах и в окружающей среде;
- радиационные факторы на загрязненных территориях и в зданиях с повышенным уровнем природного облучения;
- уровни облучения персонала и населения от всех источников излучения, на которые распространяется действие настоящих Норм.

3. Основными контролируруемыми параметрами являются:

- годовая эффективная и эквивалентная дозы
- поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки годового поступления;
- объемная или удельная активность радионуклидов в воздухе, воде, продуктах питания, строительных материалах и др.;
- радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей;
- мощность дозы внешнего излучения;

- плотность потока частиц и фотонов.

Переход от измеряемых величин внешнего излучения к нормируемым определяется специальными методическими указаниями.

4. С целью оперативного контроля для всех контролируемых параметров устанавливаются контрольные уровни. Значение этих уровней устанавливается таким образом, чтобы было гарантировано не превышение основных пределов доз и реализация принципа снижения уровней облучения до возможно низкого уровня.

При этом учитывается облучение от всех подлежащих контролю источников излучения, достигнутый уровень защищенности, возможность его дальнейшего снижения с учетом требований принципа оптимизации. Обнаруженное превышения контрольных уровней является основанием для выяснения причин этого превышения.

5. Администрация организации может вводить дополнительные, более жесткие числовые значения контролируемых параметров - административные уровни.

6. Государственный надзор за выполнением Норм радиационной безопасности осуществляют органы Госсанэпиднадзора и другие органы, уполномоченные Правительством Российской Федерации в соответствии с действующими нормативными актами.

7. Контроль, за соблюдением Норм в организациях, не зависимо от форм собственности, возлагается на администрацию этой организации. Контроль, за облучением населения возлагается на органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

При возникновении радиационной аварии:

- контроль, за ее развитием, защитой персонала в организации и аварийных бригад осуществляется администрацией этой организации;

- контроль, за облучением населения осуществляется местными органами власти и государственного надзора за радиационной безопасностью.

Контроль, за медицинским облучением пациентов возлагается на администрацию органов и учреждений здравоохранения.

Вопросы для самоконтроля

1. Из чего складывается нормирование радиационных воздействий.
2. Каковы теоретические представления о пределах радиационной безопасности
3. Перечислите нормы радиационной безопасности. Расскажите об экологическом нормировании радиационных воздействий
4. Назовите меры по профилактике последствий радиационных аварий.
5. Какой комплекс мер должен производиться по полной дезактивации среды.
6. Каким образом организуется контроль за радиационной обстановкой
7. Назовите меры по профилактике последствий радиационных аварий.
8. Какой комплекс мер должен производиться по полной дезактивации среды.
9. Каким образом организуется контроль за радиационной обстановкой жилых помещений.
10. Расскажите о радиоактивном загрязнении водоемов и лесов.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	4
ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ	6
ЯВЛЕНИЕ ИЗОТОПИИ	14
Альфа – распад	15
Негатронный распад (β_-)	15
Позитронный распад (β_+)	16
Электронный захват	16
Изомерный переход	17
Правила смещения Содди	18
ХАРАКТЕРИСТИКА ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ	18
Альфа – излучение	18
Бета – излучение	19
Гамма – излучение	21
ЗАКОН РАДИАЦИОННОГО РАСПАДА	22
МОНИТОРИНГ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	26
Мониторинг медицинского облучения	27
Мониторинг территорий, загрязненных радионуклидами	28
Мониторинг продовольственного сырья и пищевых продуктов	31
Мониторинг состояния здоровья населения и ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС	32
Нормы радиационной безопасности	33
Общие положения норм радиационной безопасности	34
Требования к контролю за выполнением НРБ	36