



Дисциплина
**«Ветеринарная
радиобиология»**

**Лектор: к.б.н., доцент Рязанцева Лариса
Тихоновна**

«Ветеринарная радиобиология»

Тема лекции:

Дозиметрия ионизирующих излучений.

**Доза, виды доз, мощность дозы,
единицы измерения, расчет доз
внешнего и внутреннего облучения**



Дозиметрия ионизирующих излучений (от греч. dosis – «порция», «приём» и metreo – «измеряю») - это раздел радиологии, в котором определяют уровень радиации от различных источников, радиационный фон, дозы излучения и методы их пересчета.

Экспозиционная доза излучения - это доза гамма- и рентгеновского излучения, идущая от источника и вызывающая ионизацию воздуха.

На практике применяется внесистемная единица - **рентген**, принятая в 1928 г. II Международным конгрессом радиологов в Стокгольме.

Один рентген – это такое количество энергии рентгеновского или гамма-излучения, которая в 1 см³ воздуха при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и температуре 0°С приводит к образованию $2,08 \times 10^9$ пар ионов.

За единицу измерения экспозиционной дозы в Международной системе единиц (СИ) (от франц. Le Système International d'Unités, SI) принят **кулон на килограмм** (Кл/кг).

Это такое количество энергии рентгеновского и гамма - излучения, которое в килограмме сухого воздуха образует ионы, несущие суммарный заряд, в один кулон электричества каждого знака.

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р} \quad 1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

Экспозиционная доза

Равна заряду всех положительных ионов, образующихся под действием излучения в единице массы воздуха при нормальных условиях

$$[X] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

$$[X] = 1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Энергетический эквивалент 1 Рентгена:

$$1\text{Р} \rightarrow 88 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Поглощенная доза излучения - количество энергии любого вида излучения, поглощенное единицей массы любого облучаемого вещества и определяемое отношением поглощенной энергии ИИ к массе вещества. Она определяется по формуле:

$$D = X \times K, \text{ где}$$

X - экспозиционная доза излучения;

K - коэффициент поглощения.

В качестве единицы поглощенной дозы излучения в системе СИ принят **грей** (Гр) в честь английского ученого Льюиса Грэя (L.H. Gray, 1905-1965), известного своими трудами в области радиационной дозиметрии.

1 Гр равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой в 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж, т. е. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж} / \text{кг}$.

В практической системе используется **рад** или радиационно абсорбционная доза (от англ. radiation absorbed dose). Это такая доза, при которой одним граммом облучаемого вещества поглощается 100 эргов энергии любого вида ИИ, т. е. $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг} / \text{г}$.

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} \quad 1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$$

$$D = f \cdot X$$

$$D = fX$$

$D = fX$	
Вещество	$f, \text{рад}/P$
Воздух при нормальных условиях	0,88
Вода и мягкие ткани	≈ 1
Костная ткань (величина f растет при увеличении длины волны)	1 – 4,5

Эквивалентная доза – это производная поглощенной дозы с учетом ионизирующей способности излучения.

Она рассчитывается путем умножения величины поглощенной дозы на коэффициент относительной биологической эффективности (КОБЭ) или коэффициент качества:

$H = D \times \text{КОБЭ}$, где

D - поглощенная доза излучения;

КОБЭ - коэффициент относительной биологической эффективности, который сравнивает от любого вида излучения с биологическим эффектом от гамма-лучей.

Единицей эквивалентной дозы в системе СИ является **зиверт** (Зв), названный в честь известного шведского физика *Рольфа Зиверта* (R.M. Sievert, 1896-1966) – одного из родоначальников радиобиологии, основателя и первого председателя Международного комитета по радиологической защите (МКРЗ, ICRP).

В качестве практической (внесистемной) единицы используется **бэр** (биологический эквивалент рентгена).

Один бэр – это такая доза любого вида ИИ, при которой в любом живом организме создается такой же биологический эффект, как при поглощенной дозе рентгеновского или гамма-излучения в один рад. Зиверт и бэр имеют дольные и кратные величины измерения.

1 Зв = 100 бэр 1 бэр = 0,01 Зв

Таблица – Значения КОБЭ для разных видов излучений

Вид излучения	Коэффициент ОБЭ
γ -излучение и рентгеновские лучи	1
β -лучи	2
α -лучи	10 - 20
Нейтроны до 10 кэВ (тепловые, медленные)	3
Нейтроны от 10 кэВ до 100 кэВ	10
Нейтроны от 100 кэВ до 2 МэВ (быстрые)	20
Нейтроны от 2 МэВ до 20 МэВ	10
Нейтроны более 20 МэВ	5
Протоны от 5 до 10 МэВ	10

Эффективной дозы излучения - величины, используемой в качестве меры риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела. Эта доза представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах (тканях) на соответствующие **взвешивающие коэффициенты** (WT). Их устанавливают эмпирически и рассчитывают таким образом, чтобы их сумма для всего организма составляла единицу.

Таблица - Значения коэффициента W_T для разных органов и тканей

Орган, ткань	Значение коэффициента W_T	Орган, ткань	Значение коэффициента W_T
Гонады	0,20 - 0,25	Печень	0,05
Красный кост- ный мозг	0,12	Пищевод	0,05
Толстый кишеч- ник	0,12	Щитовидная железа	0,03 - 0,05
Легкие	0,12	Кожа	0,01
Желудок	0,12	Клетки костной ткани	0,01 - 0,03
Мочевой пузырь	0,05	Остальные	0,025
Молочная желе- за	0,05 - 0,15	Сумма всех W_T	1,00
Головной мозг	0,025		

Основные дозовые пределы

Признание беспороговой и линейной зависимости «доза – эффект» породило проблему приемлемого риска как основы нормирования радиационных факторов в диапазоне низких уровней доз.

Риск, связанный с облучением профессиональных работников, не должен превосходить риска для персонала производств с низкой степенью опасности работ. Таковыми признаны производства, где смертность от профессиональной деятельности, включая несчастные случаи, не превышает 10^{-4} , т. е. 100 смертных случаев на 1 млн. чел. в год.

В соответствии с международной практикой уровень пренебрежительного риска принимается равным 10^{-6} в год, величина допустимого риска для персонала – 10^{-4} в год, а для населения – 10^{-5} в год. Граница индивидуального риска для облучения лиц из числа персонала принимается равной 10^{-3} в год, а для населения – $5 \cdot 10^{-5}$ в год.

Основные дозовые пределы

В соответствии с НРБУ-97, численные значения основных дозовых пределов устанавливаются на уровнях:

- исключающих возможность возникновения детерминистических эффектов облучения;**
- гарантирующих низкую вероятность возникновения стохастических эффектов облучения.**

НРБУ-97 регламентируют только годовую дозу, то есть не накладывают ограничений на уровень облучения за рабочий день, неделю, квартал.

Основные дозовые пределы

Пределы дозы суммарного внутреннего и внешнего облучения, мЗв · год⁻¹

Предел дозы	Категория облученных лиц		
	А*	Б	В
Годовая эффективная доза	20**	2	1
Годовая эквивалентная доза в:			
хрусталике глаза	150	15	15
хрусталике глаза	500	50	50
хрусталике глаза	500	50	—

Примечание:

* Мощность дозы облучения на протяжении календарного года не регламентируется. Женщины детородного возраста (до 45 лет), относящиеся к категории А, за два любых последовательных месяца не должны превышать дозу в 1мЗв.

** В среднем за любые последовательные пять лет, но не больше 50 мЗв за отдельный год.

Основные дозовые пределы

С пределом доз сравнивается сумма эффективных доз облучения от всех индустриальных источников облучения. В эту сумму не включают:

- дозу, полученную при медицинском обследовании или лечении;
- дозу облучения от природных источников облучения;
- дозу, связанную с аварийным облучением населения;
- дозу облучения от техногенно усиленных источников природного происхождения.

Основные дозовые пределы

Регламентация и контроль облучения населения осуществляется на основании расчетов годовой эффективной дозы облучения.

Ограничение облучения населения осуществляется путем регламентации и контроля:

-  **активности объектов окружающей среды (воды, воздуха и т. п.);**
-  **газо-аэрозольных выбросов и жидкостных сбросов объектов.**

Допустимые уровни

С целью обеспечения требований контроля эффективной дозы НРБУ-97 регламентируют набор допустимых уровней.

Допустимый уровень (ДУ) – производный норматив для поступления радионуклидов в организм человека за календарный год, усредненных за год мощности эквивалентной дозы, концентрации радионуклидов в воздухе, питьевой воде и рационе, плотности потока частиц и т. п., рассчитанный для референтных условий облучения из значений *пределов доз*.

Допустимые уровни

Для категорий А и Б:

-  **допустимое поступление радионуклида через органы дыхания;**
-  **допустимая концентрация радионуклида в воздухе рабочей зоны;**
-  **допустимая плотность потока частиц;**
-  **допустимая мощность дозы внешнего облучения;**
-  **допустимое радиоактивное загрязнение кожи, спецодежды и рабочих поверхностей.**

Допустимые уровни

Для категории В:

-  **допустимое поступление радионуклида в организм через органы дыхания и пищеварения;**
-  **допустимые концентрации радионуклидов в воздухе и питьевой воде;**
-  **допустимые сброс и выброс радиоактивных веществ в окружающую среду.**

Допустимые уровни

Для контроля внешнего облучения в период работы при нормальной эксплуатации, а также при проектировании биологической защиты и оценки ее эффективности введен допустимый уровень - мощность эквивалентной дозы.

Допустимая мощность дозы (ДМД) – допустимый уровень усредненной за год мощности эквивалентной дозы на все тело при внешнем облучении, численно равняется отношению предела дозы $ПД$ к времени облучения t на протяжении календарного года:

$$ДМД = ПД / t.$$

Для лиц категории А значения $t = 1700$ ч в год, для лиц категории Б в учреждении и в санитарно-защитной зоне $t = 2000$ ч, для лиц категории В $t = 8800$ ч.

Допустимые уровни

**ДМД_А и ДМД_Б при внешнем облучении
всего тела, мбэр/ч**

Назначение помещений и территорий	ДМД _А	ДМД _Б
Помещения постоянного пребывания персонала категории А	1,2	–
Помещения, в которых персонал пребывает не более половины рабочего времени	2,3	–
Любые помещения учреждения и территория санитарно-защитной зоны, где постоянно находятся лица, относящиеся к категории Б	–	0,1
Жилые помещения и территория в пределах зоны наблюдения (категория Б)	–	0,024

Допустимые уровни

Допустимое радиоактивное загрязнение поверхности (ДЗ) – допустимый уровень, установленный на уровне, не допускающем превышения предела дозы за счет радиоактивного загрязнения поверхности рабочих помещений, оборудования, индивидуальных средств защиты и кожных покровов для лиц категории А и рабочих поверхностей, одежды и кожных покровов для лиц категории Б.

Достижение уровней ДЗ говорит о необходимости проведения дезактивации и таким образом исключить распространение радиоактивных веществ за пределы зоны рабочих помещений. При этом в обычных условиях не требуется их трансформация в дозовые величины, а они просто характеризуют: надежность герметичности, санитарно-технических барьеров по ограничению распространения загрязнения, эффективности средств индивидуальной защиты и т. д.

Допустимые уровни

Допустимые уровни общего радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи (на протяжении рабочей смены), спецодежды и СИЗ, част. · мин.⁻¹ · см⁻²

Объект загрязнения	α-активные нуклиды		β-активные нуклиды
	отдельные*	другие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей СИЗ	2	2	200
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных СИЗ, внешняя поверхность спецобуви	5	20	1850

Примечание: * К отдельным относятся α-излучающие радионуклиды, среднегодовая допустимая объемная активность которых в воздухе рабочих помещений ДООА меньше 0,3 Бк · м⁻³.

Допустимые уровни

Продолжение таблицы

Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и размещенного в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и размещенного в них оборудования	50	200	10 000
Внешняя поверхность дополнительных СИЗ, которые снимаются в саншлюзах	50	200	10 000

Допустимые уровни

Допустимый сброс (ДС) – регламентированный максимальный уровень жидкостного сброса. ДС – сброс, при котором суммарная *годовая эффективная доза* представителя *критической группы населения* за счет всех радионуклидов, присутствующих в выбросе, не превышает *квоту предела дозы*.

Для радиационно-ядерных объектов устанавливается квота предела дозы облучения лиц категории В, используемые для установления уровней допустимого сброса и допустимого выброса (ДВ).

Квота предела дозы – доля ПД для категории В, выделенная для режима нормальной эксплуатации отдельного промышленного источника.

Допустимые уровни

Квоты предела дозы, используемые для установления ДС и ДВ

Радиационно-ядерный объект	Выбросы *		Сбросы **		Суммарная квота ***	
	%	мкЗв	%	мкЗв	%	мкЗв
АЭС, АТЭЦ, АСТ, и другие предприятия, использующие ядерные реакторы. Предприятия по переработке РАО	4	40	1	10	8	80
Пункты захоронения радиоактивных отходов	2	20	1	10	4	40

Примечание:

* Квота за счет всех путей формирования дозы.

** Квота за счет критического вида водопользования

*** Квота за счет воздушного и водных путей формирования дозы

Допустимые уровни

Продолжение таблицы

Урановые шахты, гидрометаллургические заводы по переработке урановых руд	12	120	5	50	20	200
Заводы РТ	10	100	5	50	20	200
Другие источники. Референтный радиационно- ядерный объект	4	40	1	10	8	80

Допустимые уровни

Системы безопасности АЭС, обеспечивающие защиту населения при авариях, должны быть спроектированы так, чтобы значения эквивалентных индивидуальных доз, рассчитанных при наихудших погодных условиях на территории АЭС, на границе санитарно-защитной зоны и за ее пределами не превышали

- 0,3 Зв/год (30 бэр/год) на щитовидную железу детей за счет ингаляций;**
- и 0,1 Зв/год (10 бэр/год) на все тело за счет внешнего облучения.**

Допустимые уровни

На основании опыта эксплуатации АЭС регламентируются среднесуточный и среднемесячный допустимые выбросы (ДВ) газов и аэрозолей в атмосферу.

Допустимые выбросы атомными станциями радиоактивных газов и аэрозолей в атмосферу.

Допустимый суточный выброс

Радионуклиды	N = 1000–6000 МВт (э)	N ≥ 6000 МВт (э)
	Ки/сут. 1000 МВт (э)	Ки/сут. АЭС
Инертные радиоактивные газы	500	3000
I (газовая + аэрозольная фазы)	0,01	0,06
Смесь долгоживущих нуклидов	0,015	0,09

Допустимые уровни

Под термином смесь долгоживущих нуклидов (ДЖН) условно понимается любая смесь средне- и долгоживущих радиоактивных аэрозолей, экспонированных на фильтре в течение одних суток и измеренных через одни сутки после снятия пробы.

В исключительных случаях допускается, в отдельные дни или несколько дней, выброс радионуклидов, превышающий до пяти раз установленную величину ДВ, при условии, что суммарный выброс за один квартал (или три последних месяца) не превысит соответствующего значения.

Указанное превышение среднесуточного выброса при условии компенсации за один квартал (или три последних месяца) не требует согласования с регулирующими органами.

Допустимые уровни

Среднемесечный допустимый выброс (ДВ) радиоактивных аэрозолей

Выброс	Радионуклид					
	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	⁵¹ Cr
N = 1000–6000 МВт (э) мКи/мес. 1000 МВт (э)	1,5	15	15	15	15	15
N ≥ 6000 МВт (э) мКи/мес. АЭС	9	90	90	90	90	90

Допустимый выброс относится не к сумме, а к каждому радионуклиду в отдельности. В исключительных случаях допускается пятикратное превышение среднемесечного допустимого выброса, при условии, что не будет превышен годовой предел выбросов.

Контрольные уровни

Контрольные уровни (КУ) – радиационно-гигиенические регламенты первой группы, численные значения которых устанавливаются исходя из фактически достигнутого на данном объекте или территории уровня радиационного благополучия.

Контрольные уровни устанавливают с целью фиксации достигнутого уровня радиационной безопасности на данном радиационном объекте, в населенном пункте и окружающей среде.

При превышении КУ администрацией радиационно опасного производства проводится расследование с целью определения и устранения причин, приведших к превышению.

Превышение контрольного уровня еще не представляет непосредственной опасности для здоровья людей, а является лишь сигналом об ухудшении радиационной обстановки и необходимости принятия мер по ее улучшению.

Контрольные уровни

Значения контрольных уровней устанавливаются меньшими соответствующих дозовых пределов и допустимых уровней.

Можно устанавливать контрольные уровни для отдельного радионуклида и (или) пути его поступления, включая введение контрольных уровней на содержание радионуклида в отдельном продукте питания или на отдельной территории.

Контрольные уровни могут устанавливаться для отдельных технологических операций, режимов эксплуатации и отдельных подразделений.

Проблемные вопросы нормирования

Большинство специалистов считают, что допустимые дозы для населения должны быть связаны со средним природным уровнем радиации.

Согласно этой концепции естественного фона, дополнительное облучение будет приемлемо в том случае, если облучение будет сравнимо с естественным фоном.

Значения естественного радиационного фона находятся в широком диапазоне в пределах от 0,001 до 1,0 Зв/год.

При мощности дозы излучения менее 0,001 Зв/год наблюдается угнетение жизнедеятельности организмов, а при мощности более 1,0 Зв/год появляются существенные вредные физиологические и генетические эффекты.

Проблемные вопросы нормирования

**Постулаты для обоснования нормирования
радиационных величин:**

-  в современных штатных условиях практически никто из персонала и населения не подвергается техногенному облучению, которое превышало бы 0,1 Зв;
-  подавляющее большинство жителей на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, имеют дозы облучения в пределах малых доз;
-  население Земли получает от природного радиационного фона облучение в пределах малых доз;

Проблемные вопросы нормирования

Постулаты для обоснования нормирования радиационных величин:

- в диапазоне малых доз нет доказательств проявления вредных эффектов;
- существует ряд свидетельств по результатам продолжительных наблюдений за людьми, что в пределах малых доз имеют место эффекты, относящиеся к благоприятным;
- наблюдаются дозовые пороги, значительно выше области малых доз;
- эффекты, наблюдаемые в диапазоне малых доз на молекулярном, биофизическом и биохимическом уровнях, не передаются на уровень организма в целом и не приводят к вредным последствиям для здоровья человека.

Проблемные вопросы нормирования

На основании вышеизложенного установление стандартов регламентации облучения будущего необходимо основывать на следующих принципах:

- доза излучения меньше установленного порога при малой мощности дозы не является опасной;
- необходимо стараться избегать превышения предела пожизненной индивидуальной дозы;
- в зависимости от возраста разумно считать ничтожным риск смерти от облучения для представителей критической группы людей меньше 10^{-5} – 10^{-3} год или в среднем 10^{-4} , а предел дозы установить по меньшему порогу дозы для лейкозов на уровне $5 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$ выше фонового облучения.

Проблемные вопросы нормирования

Поскольку наименьший порог равен $0,3 \text{ Зв}$, то стохастических последствий не появится, пока накопленный эквивалент дозы остается во всех органах ниже этого порога.

Если $0,3 < D \leq 1 \text{ Зв}$, то могут возникать только лейкозы и раки щитовидной железы.

При $D > 1 \text{ Зв}$ во всех значимых органах и тканях могут появляться лучевые раки. Вредные клинические проявления действия ионизирующих излучений на человека имеют место при дозе более 1 Зв при кратковременном облучении и мощности дозы более 1 Зв/год при хроническом облучении.

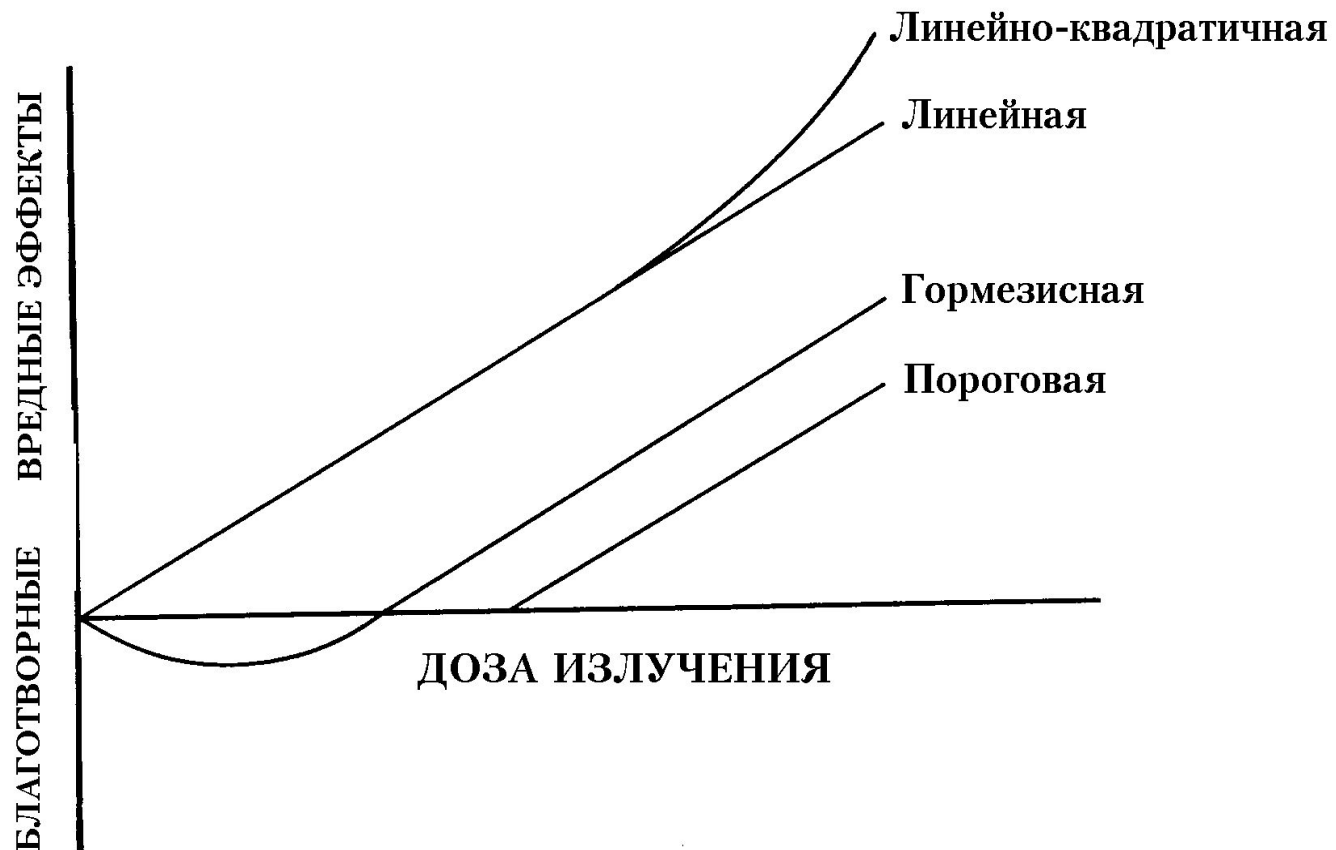
Проблемные вопросы нормирования

На данном уровне современных знаний вполне разумно и достаточно обоснованно принять для персонала предел пожизненной индивидуальной дозы на уровне 3,0 Зв в течение жизни, а мощность дозы излучения 0,1 Зв/год за дозовый предел при нормальных условиях работы.

Учитывая фактор предосторожности, можно предложить для использования в стандартах радиационной защиты дозовый предел для персонала в $50 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$.

Предел пожизненной индивидуальной дозы для населения предлагается установить на уровне 0,5 Зв за жизнь, а дозовый предел для населения в $5 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$.

Проблемные вопросы нормирования



**Кривые, характеризующие различные теории
радиационного воздействия**