



**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 см<sup>3</sup> 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.  $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг} / \text{г}$ .

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

$$D = f \cdot X$$

$$D = fX$$

Вещество	$f, \text{рад/Р}$
Воздух при нормальных условиях	0,88
Вода и мягкие ткани	$\approx 1$
Костная ткань (величина $\Gamma$ 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:

$$H = D \times \text{КОБЭ}, \text{ где}$$

**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.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр} \quad 1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$$



Таблица – Значения КОБЭ для разных видов излучений

Вид излучения	Коэффициент ОБЭ
$\gamma$ -излучение и рентгеновские лучи	1
$\beta$ -лучи	2
$\alpha$ -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 костный мозг	0,12	Пищевод	0,05
Толстый кишечник	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 железа	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<sup>-1</sup>

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 1 мЗв.

\*\* 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<sub>А</sub> и ДМД<sub>Б</sub> при внешнем облучении  
всего тела, мбэр/ч**

<b>Назначение помещений и территорий</b>	<b>ДМД<sub>А</sub></b>	<b>ДМД<sub>Б</sub></b>
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.<sup>-1</sup> · см<sup>-2</sup>

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<sup>-3</sup>.

# 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 <b>РТ</b>	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

Среднемесячный допустимый выброс (ДВ)  
радиоактивных аэрозолей

Выброс	Радионуклид					
	<sup>90</sup> Sr	<sup>89</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	<sup>54</sup> Mn	<sup>51</sup> 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 среднемесячного 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 устанавливаются 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 Зв, то стохастических последствий не появится, пока накопленный эквивалент дозы остается во всех органах ниже этого порога.

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

При  $D > 1$  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.

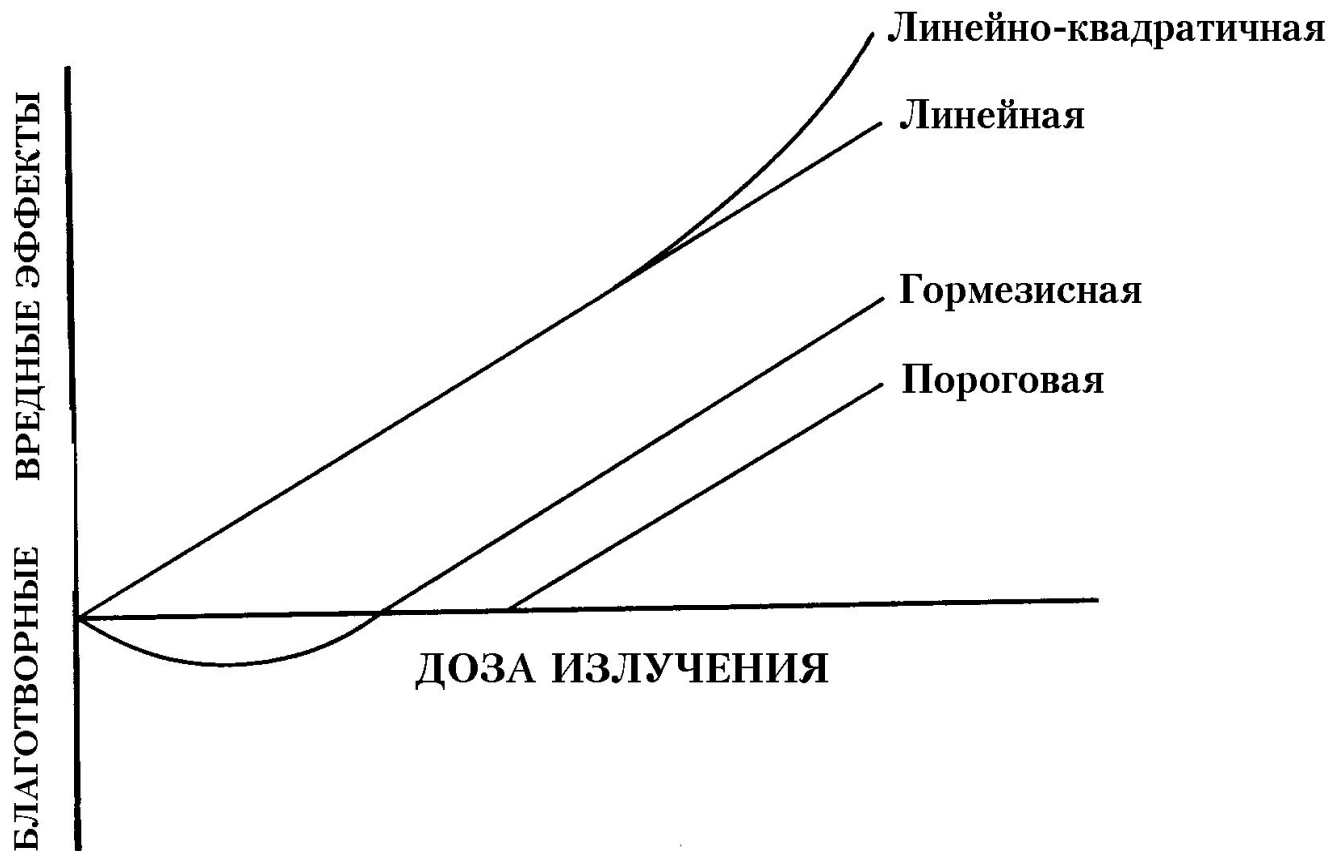
# Проблемные вопросы нормирования

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