



ФМБЦ им. А.И. Бурназяна



ФМБА РОССИИ

«Виды ионизирующих излучений и их воздействие на организм. Дозиметрия при радиационных авариях»

Владимир Наумович Яценко
зав. лаб. СИЧ ФГБУ ГНЦ
ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
ФМБА России
тел 8 (499) 190 85 44
8 (903) 759 98 64
mail:vlad-yatsenko@mail.ru



ФМБЦ им. А.И. Бурназяна



ФМБА РОССИИ

**Опасное
для здоровья человека
облучение в настоящее время
возможно только в результате
аварийных инцидентов с
радионуклидными
источниками или в результате
радиационных аварий**



ФМБЦ им. А.И. Бурназяна



ФМБА РОССИИ

Радиационная авария-потеря управления ИИИ, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению

Цель моего сообщения поделиться, а может быть обменяться опытом практических применяемых мер при оказании помощи пострадавшим при радиационных авариях.

О видах излучения и их воздействии в реальных аварийных случаях.

Вид излучения	Область энергий, МэВ	Частица, ионизирующая в ткани	Пробег в биологической ткани, г/см ²	Пробег в воздухе, см
β-Лучи Пучки электронов	0,015—5 2—20	электрон »	10 ⁻⁴ —3 1 — 10	0,1 — 1900 800—8000
γ-Лучи	0,05—2,9	электрон	5.10 ⁻⁴ —0,6	0,4—450м
Рентгеновские лучи	0,01—0,4	»	10 ⁻⁴ —5.10 ⁻³	30—1000
Рентгеновские лучи	1 — 10	»	5.10 ⁻² —1,2	1000—2700
Рентгеновские лучи	10—30	»	1,2—3,5	
Быстрые нейтроны	0,1—10	протон	10 ⁻⁴ —6.10 ⁻²	0,1—45
Пучки протонов	5-400	протон	3.10 ⁻² —10 ²	23—8.10 ⁴
α-Частицы	5-10	α –частица	3.10 ⁻³ —10 ⁻²	2—8

Большинство острых лучевых поражений вызвано внешним фотонным (гамма-) излучением

- Для гамма-излучения. Если внешнее облучение происходит с больших расстояний или при загрязнении поверхности тела радионуклидами, испускающими гамма-кванты, то внутреннее облучение происходит при излучении небольшого количества радионуклидов после их поступления в организм
- Для бета и альфа-излучения — с небольших расстояний и с поверхности тела.

Участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС

I ФМБЦ (Клиническая больница №6)(май 1986г) –

Среди более ста пострадавших при аварии на ЧАЭС, поступивших в клинику ФМБЦ им.А.И. Бурназяна, только два пациента имели дозу внешнего облучения, равную дозе внутреннего облучения, у всех остальных доза внутреннего облучения составляла менее 20%.

Для ускорения приема в связи с большим количеством поступавших дозиметристы и врачи спец.приемного отделения проводили измерения только по мощности дозы гамма-излучения и санитарную обработку без повторного контроля и в результате в течение двух недель выявляли р/а загрязнения на теле и личные вещи, которые не были сданы в грязное белье;



Казалось бы вымытые волосы с использованием шампуня при измерении содержали радионуклиды, которые создавали мощность дозы на расстоянии 20 см 0,1 мЗв/ч (10 мР/ч). Как правило короткоживущие радионуклиды-инертные радиоактивные газы хорошо сорбируются в волосах человека. Пациент, который не отмыл волосы стиральным порошком или специальной пастой «Защита» считает, что будет перхоть от порошка.

Это еще раз нам напоминает, что санитарная обработка должна проводиться под контролем дозиметриста!.



Только два упомянутых выше пациента были с термическими ожогами паром теплоносителя с равными дозами внешнего и внутреннего облучения. Вся активность, которая находилась в ожоговой ране, попадала во внутрь и формировала дозу внутреннего облучения. Мощность дозы гамма-излучения на 20 см от поверхности груди составляла от одного пациента – 0,03 Зв/ч (3 Р/ч), от второго - 0,05 Зв/ч (5 Р/ч), удалить радиоактивные вещества из раны было невозможно.

Врачи за время работы с этими пациентами получили индивидуальную дозу, равную 0,02–0,03 Гр. При подходе к больному в виде (справа) большая вероятность потерять его, в виде (слева) нормальный подход- марлевая повязка для защиты больного от возможной инфекции.



II В зоне аварии вблизи 4 аварийного блока ЧАЭС (вначале июня 1986 г) - Оценка радиационной обстановки и организация индивидуальной дозиметрии ликвидаторов

До июня 1986 г. один индивидуальный дозиметр выдавался на группу 6 чел.

Приходилось: первое-оценивать радиационную обстановку во всех местах работы ликвидаторов, чтобы затем можно было восстановить индивидуальную дозу каждого работника. И второе-обеспечить всех ликвидаторов индивидуальными дозиметрами, что мы и пытались делать. Необходимо было заставить все организации, сотрудники которых были командированы в зону Чернобыля для ликвидации последствий аварии, направить своих людей в дозиметрический пункт контроля.



Как вы поняли, индивидуальные дозы, о которых я говорил, являются дозами внешнего гамма-излучения. Что же можно сказать о дозах внутреннего облучения в зоне Чернобыля? Ингаляционное поступление радионуклидов в организм в зоне Чернобыля (не считая АБК) не являлось определяющим и составляло не более 10% от внешнего. Данные по содержанию радионуклидов, определенное с помощью измерений передвижными СИЧ (разработчик Пелерен) у жителей загрязненных районов Беларуси, которые пили загрязненное молоко и ели загрязненные пищевые продукты, увы имели очень большие неопределенности. Детекторы оказались незащищенными от фотонного излучения на местности (уже при 0,4 мкЗв/ч (40 мкР/ч) фона)



Аварийные инциденты с
радионуклидными источниками
(гамма-дефектоскопия,
плотномеры и др.)

Промышленная гамма-
дефектоскопия.

Неопределенность
оценки дозы в большой
степени зависит от
точности показаний
пострадавшего для
установления места и
времени его нахождения
в период облучения.

FMBC

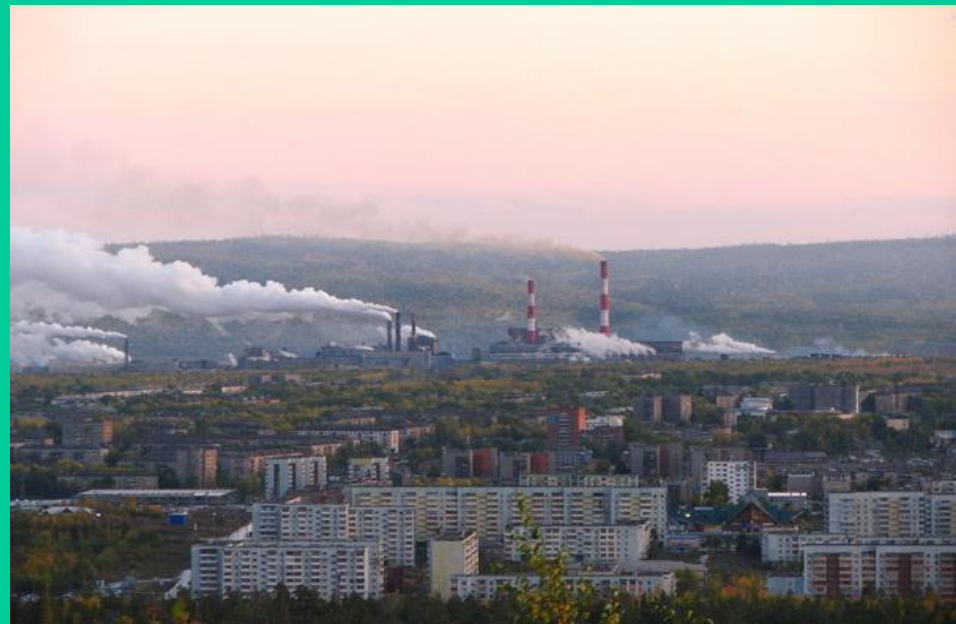


Неисправности аппаратуры или нарушение правил техники безопасности при работе с (^{137}Cs , ^{192}Ir и др. активностью порядка десятков, сотен GBq) в строительстве трубопроводов и других промышленных объектов часто оказываются причиной радиационных инцидентов. Пострадавшие, в основном лица из персонала, подвергаются *внешнему*, преимущественно *локализованному* (руки, отдельные участки тела) воздействию гамма-излучения.

При аварии с радионуклидными источниками: оценка дозы , в основном, производится расчетным способом. На каждого пострадавшего составляется его маршрутная карта, в которой указывается место и продолжительность нахождения пострадавшего в данном месте, мощность дозы гамма-излучения.



Аварии на
предприятиях, не
относящихся к атомной
промышленности-
Авария на Братском
лесоперерабатывающем
комплексе



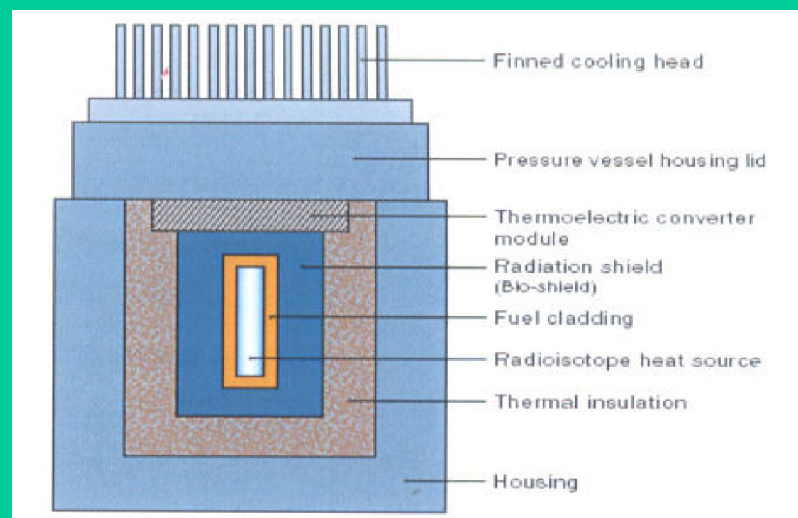
FMBC

- Эта авария является примером случая с неиспользуемым длительное время оборудованием. На БЛПК два молодых рабочих сняли р/и цезий-137 с уровнемера, достали ампулу металлическую, закрепили ее в тисках на рабочем столе, распилили, отсыпали в стеклянную колбочку цезиевого порошка, а остатки выбросили в цех, где хранились древесно-стружечные плиты.
- Заметили это через неделю. Бригада, которой поручили ликвидацию последствий, была составлена из рабочих предприятия. Они готовились смывать загрязненность струей воды, что в таких случаях делать не рекомендуется. Прибывший на место специалист заставил приостановить ликвидацию и измерить поверхностное загрязнение, выделить локальные загрязнения, залить их клеем, выдолбить вместе с половым покрытием и удалить таким образом радиоактивность.

- Второй пример на этом инциденте - это подведение баланса активности (была просуммирована активность на полу и рабочем столе, с активностью, оставшейся в ампуле), выяснилось, что это только одна треть паспортной активности. Следовательно две трети радиоактивного порошка исчезли. Потом они были найдены у молодого рабочего.
- Третий назидательный пример этого инцидента: выяснилось, что значительное количество активности цезия содержалось не в легких и мышцах, а в порах кожи на руках. (Рабочие на рабочем столе, где был рассыпан порошок, играли в домино).



- Аварии с радиоизотопными источниками электрического тока (РИТЭГ).



FMBC



РИТЭГ

В таком виде в
реальности



FMBC

В различных труднодоступных местах страны были установлены радиомаячки с блоками (РИТЭГ), которые служат более 30 лет. В последние годы они остались без контроля. Попытка использовать их в личном подсобном хозяйстве в качестве нагревателей воды (температура на поверхности источника 500 град. Цельсия), привела к серьезным медицинским последствиям (два жителя Грузии с тяжелыми радиационными ожогами были госпитализированы, один в Париже, другой в Москве в ФМБЦ). Они облучились при транспортировке двух РИТЭГов, несли на одной палке. Поочередно, один пациент шел впереди, другой сзади, затем менялись местами. Источники сползали по палке то одному на спину, то другому. Дозы были почти летальными. Излучатель бета-источник стронций-90 + иттрий-90 (тормозное гамма-излучение), мощность дозы на 20 см от поверхности больше 10.00 Гр/ч. Опять же оценить дозы бета-излучения на поверхность кожи можно было только по поражающим эффектам, дозы гамма-излучения на легкие и поверхность кожи можно только расчетным путем с большими неопределенностями.

Спина одного из
пациентов,
несших 2 РИТЭГа.



Измерение поверхностного загрязнения по альфа-излучению

- При попадании жидких р/а отходов с америцием-241 на спину максимальная активность распределена вдоль позвоночника в его поясничной области. При таком обозначении активности на спине удобно удалять р/а вещества (дезактивировать)



Итог:

Большинство острых лучевых поражений вызвано внешним фотонным (гамма-) излучением – при действиях в зоне аварии ликвидаторы должны ориентироваться по мощности дозы гамма-излучения

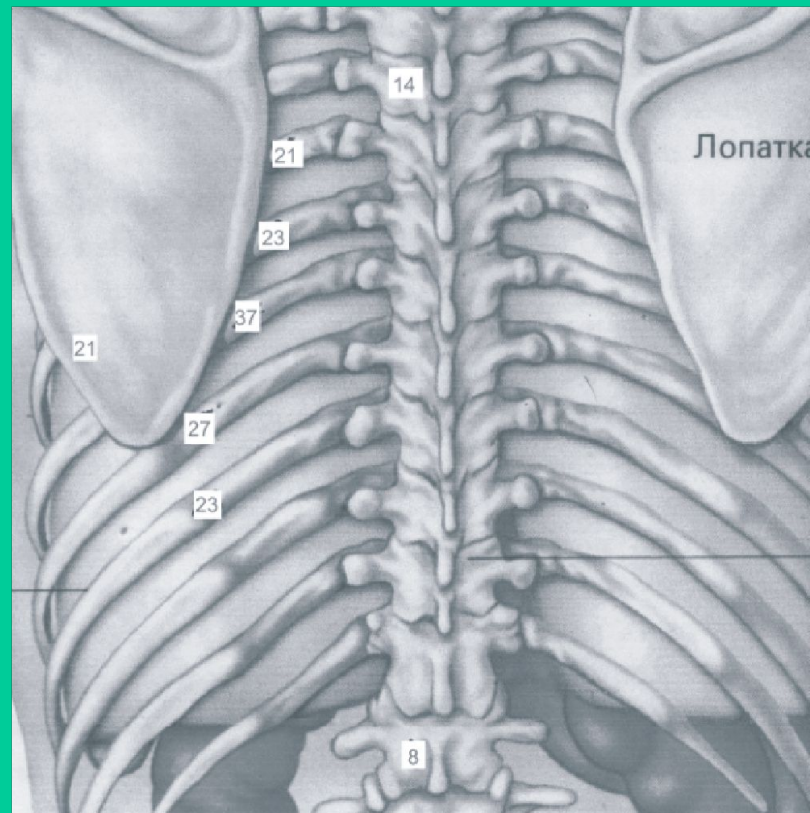
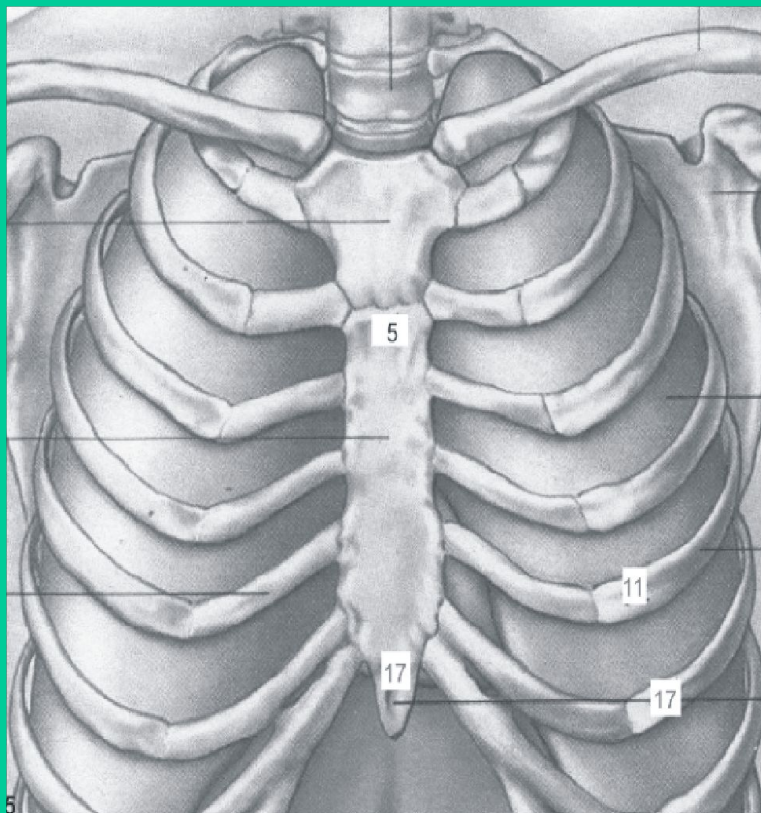
Работа с пациентом должна проводиться с минимальной защитой, не шокирующей пациента

При измерении содержания радионуклидов в организме человека в зоне радиоактивных загрязнений надо использовать переносные установки СИЧ и укрытия для их размещения

Для удаления радиоактивных загрязнений нужно их зафиксировать и механически удалить в контейнер

При разгерметизации источника и его разбрасывании в разных местах необходимо всегда найти баланс (соответствие суммируемой (собранной) активности исходной активности, определяемой с помощью паспорта)

Распределение доз по груди и спине пациента Дзамаия, полученное методом ЭПР-дозиметрии



- Наиболее значимы для внутреннего облучения профессионалов актиноиды, которые могут поступать внутрь как в результате штатных (преимущественно ингаляционным путем), так и в результате нештатных (преимущественно раневым путем) ситуаций на производстве. Будучи, как правило, α -излучателями, актиноиды могут создавать значительную дозовую нагрузку на те органы, в которых они депонируются. Биокинетические характеристики актиноидов при разных путях поступления в организм сильно варьируют от пациента к пациенту, поэтому применение усредненных значений этих характеристик, к тому же полученных, как правило, в опытах на животных, не всегда оправдано.
- Для обследования работников-носителей актиноидов, оценки содержания инкорпорированных радионуклидов, а также дозы, обусловленной излучением этих радионуклидов, применяются методы как косвенной (анализы проб естественных выделений), так и прямой радиометрии (с помощью спектрометров излучения человека). Применение спектрометров излучения человека, регистрирующих γ -излучение инкорпорированных радионуклидов, требует пересчета интенсивности счета импульсов в детекторе в активность нуклида.
- Учесть особенности индивидуальной анатомии пациента, влияющие на эффективность регистрации импульсов в детекторе, представляется возможным только расчетным путем. Для этого анатомию пациента описывают с помощью вокселей (ячеек малого размера). Воксельные фантомы могут быть построены на основе томографических изображений пациента. Расчет переноса излучения в геометрии воксельного фантома целесообразно производить методом Монте-Карло.

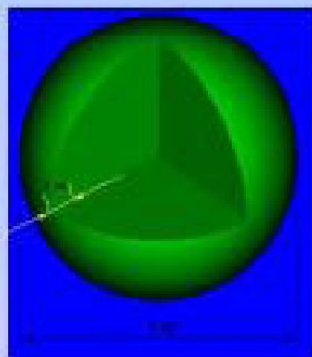
Спектрометр энергии излучения digi DART SMART «ОРТЕК»



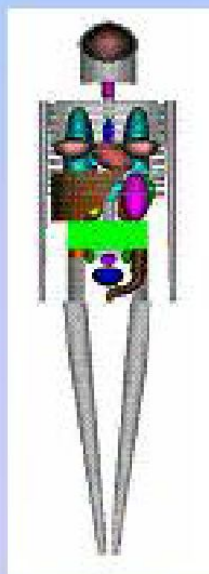
Низкофоновый спектрометр



Эволюция способа задания математических фантомов тела человека, по Xu et al. [14]: панель «а» - примитивные фантомы, 1950-е-начало 1960-х г. г.; панель «б» - стилизованные фантомы, конец 1960-х-1980-е г. г.; панель «в» - воксельные фантомы, 1990-е-2000-е г. г.



а



б



в

Пути поступления и биокинетика радионуклидов в организме человека по 30-й Публикации МКРЗ



Формула Гайтлера (Heitler W. “Quantum Theory of radiation” Oxford University Press, 1954.)

Он получил следующее выражение:

$$K\sigma_{PE} = \frac{8\pi r_0^2}{3} \frac{Z^5}{137^4} 4\sqrt{2} \left(\frac{mc^2}{h\nu} \right)^{7/2}, \quad (2)$$

где r_0 — классический радиус электрона, равный $2,82 \cdot 10^{-13}$ см, и mc^2 — энергия покоя электрона, равная 0,51 Мэв. Если энергию γ -кванта E_0 выразить в мегаэлектроновольтах, а $K\sigma_{PE}$ — в барнах, выражение упрощается

$$K\sigma_{PE} = 1,0 \cdot 10^{-9} Z^5 E_0^{-7/2}. \quad (2a)$$

Поскольку ионизация K -оболочки составляет 80% от всех случаев ионизации, грубо величину атомного сечения можно получить умножением $K\sigma_{PE}$ на $5/4$. Более тщательные расчеты были произведены Холлом [2], Хулме с сотрудниками [3, 4], Зотером [5] и Стоббом [6]. В результате этих

$$\sigma \sim Z^n / E_\gamma^3, \text{ где}$$

$$3,94 < n < 4,4,$$

$$Z =$$

Таблица 3.1. Годовые тканевые поглощенные дозы фонового облучения человека от природных (естественных) источников излучения (среднемировые уровни) в области нормального фонового облучения [37].

Источник излучения	Поглощенные дозы, 10^{-2} мГр/год [мрад/год]			
	Гонады	Легкие	Костные клетки	Красный костный мозг
<i>Внешнее облучение</i>				
Космические лучи (на уровне моря, средние широты):				
а) ионизирующая компонента	28	28	28	28
б) нейтронная компонента	0,35	0,35	0,35	0,35
в) γ -излучение воздуха и почвы	32	32	32	32
<i>Внутреннее облучение</i>				
Космогенные радионуклиды*1				
а) ^3H (β)	0,001	0,001	0,001	0,001
б) ^7Be (γ)	—	0,002	—	—
в) ^{14}C (β)	0,5	0,6	2,0	2,2
г) ^{22}Na ($\beta + \gamma$)	0,02	0,02	0,02	0,02
„Земные“ радионуклиды*2				
а) ^{40}K ($\beta + \gamma$)	15	17	15	27
б) ^{87}Rb (β)	0,8	0,4	0,9	0,4
в) $^{238}\text{U} - ^{234}\text{U}$ (α)	0,04	0,04	0,3	0,07
г) ^{230}Th (α)	0,004	0,04	0,8	0,05
д) $^{226}\text{Ra} - ^{214}\text{Po}$ (α)	0,03	0,03	0,7	0,1
е) $^{210}\text{Pb} - ^{210}\text{Po}$ ($\alpha + \beta$)	0,6	0,3	3,4	0,9
ж) $^{222}\text{Rn} - ^{214}\text{Po}$ (α), вдыхание	0,2	30	0,3	0,3
з) ^{232}Th (α)	0,004	0,04	0,7	0,04
и) $^{228}\text{Ra} - ^{208}\text{Tl}$ (α)	0,06	0,06	1,1	0,2
к) $^{226}\text{Rn} - ^{208}\text{Tl}$ (α), вдыхание	0,008	4	0,1	0,1
Полная сумма (округленно)	78	112	86	92
Доля поглощенной дозы, обусловленная α -частицами или нейтронами, %	1,2	31	8,5	2,1

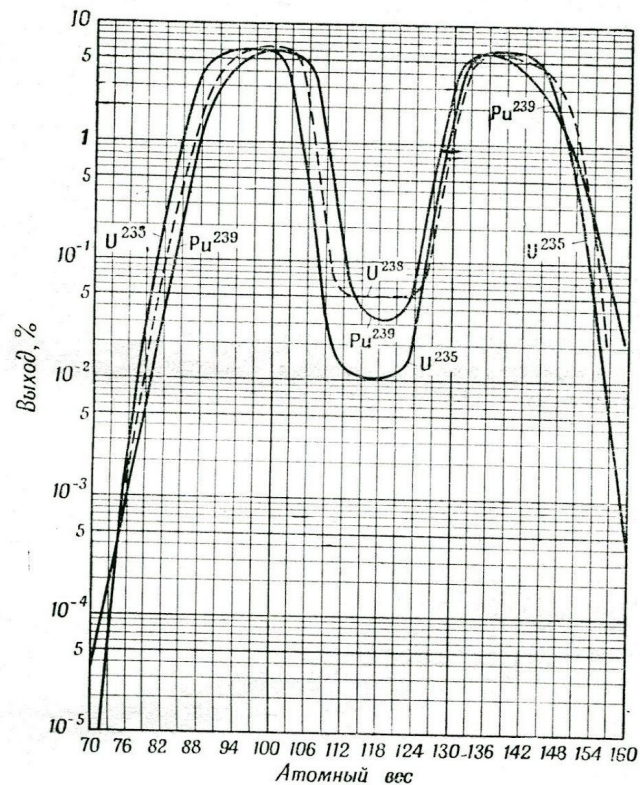
*1 Радионуклиды, образующиеся в результате взаимодействия космического излучения с ядрами стабильных атомов.

*2 Радионуклиды и их дочерние продукты, содержащиеся в земной коре и различных объектах внешней среды, начиная с момента образования Земли.

Таблица 3.2. Средний вклад различных искусственных источников в дозу облучения населения, % дозы за счет естественных источников облучения [38]

Источник облучения	Вклад	Источник облучения	Вклад
Медицинское облучение	20—50	Облучение от ядерных энергетических установок (к 2000 г.)	2
Облучение от ядерных взрывов (осуществленных до 1970 г.)	3—6	Профессиональное облучение	<1
		Облучение от других источников	$<0,1$

массами около 96 и 136. Вероятность того, что осколок с данной атомной массой образуется при делении, называется



Фиг. 24. Кривые выходов осколков деления U^{233} , U^{235} и Pu^{239} тепловыми нейтронами и U^{238} быстрыми нейтронами [52].

Выходы осколков, определенные из этих кривых, являются приближительными; в действительности наблюдается разброс точек выше и ниже этих кривых [53].

выходом осколка деления и приведена в виде кривой на фиг. 24. Поскольку при делении образуется два осколка, площадь под кривой равна 200%. Необходимо отметить, что кривые выходов при делении



ФМБЦ им. А.И. Бурназяна



ФМБА РОССИИ

Спасибо за внимание!

ФМБЦ им А.И. Бурназяна