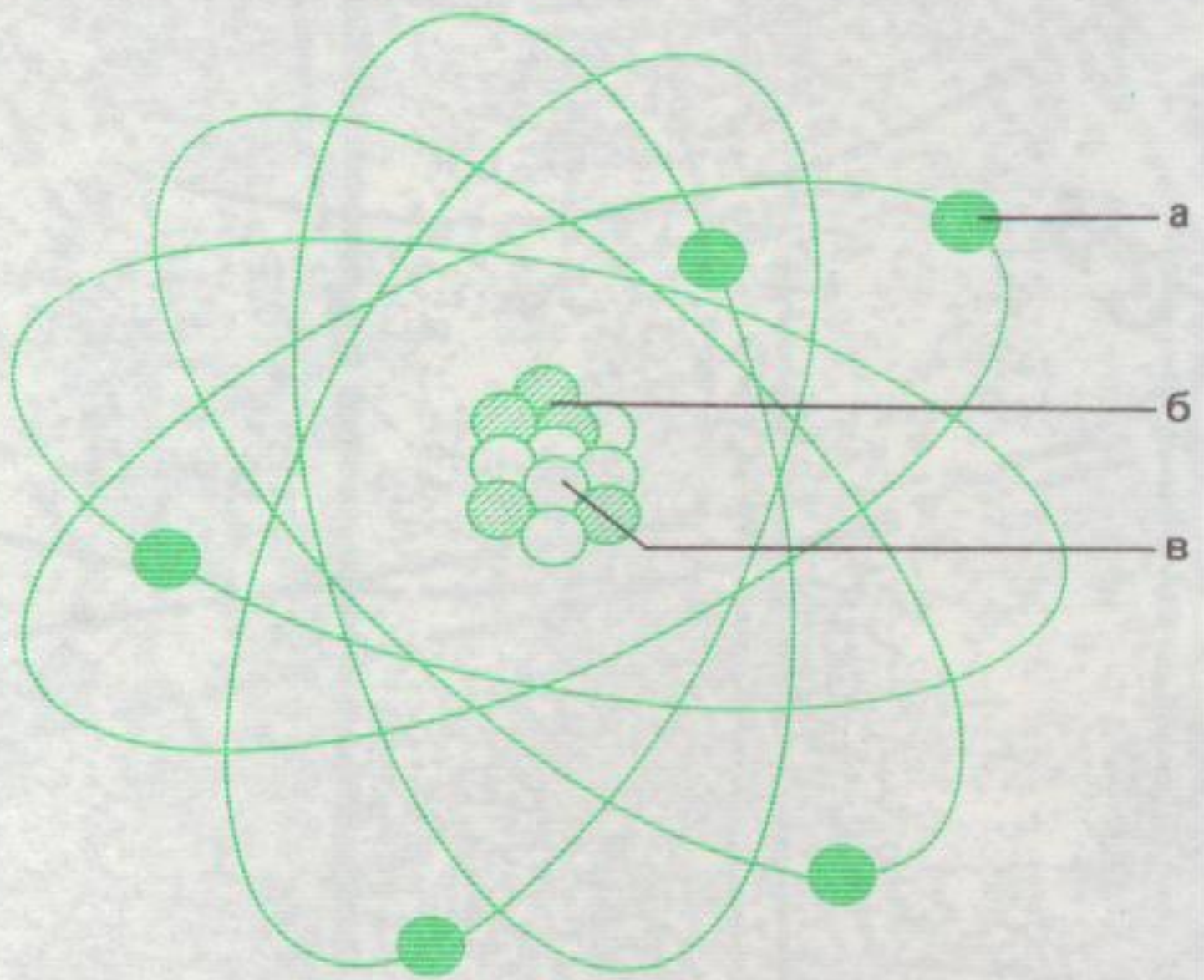


# Лекция16

## Химия окружающей среды

Радиоактивные элементы в  
окружающей среде

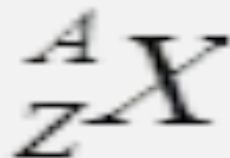
а — электрон  
б — протон  
в — нейтрон



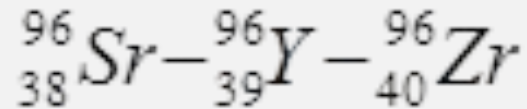
Число нуклонов или массовое число ( $A$ ) представляет собой сумму чисел протонов ( $Z$ ) и нейтронов ( $N$ ):

$$A = Z + N$$

Нуклидом ( $X$ ) называют атомы или ядра с данным числом нуклонов и данным зарядом ядра

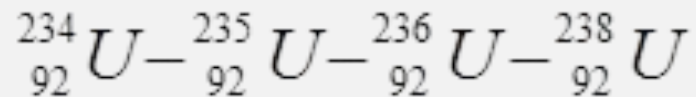


Нуклиды, имеющие **одинаковое число нуклонов** ( $A = \text{const}$ ) называются **изобарами**. Например, нуклиды

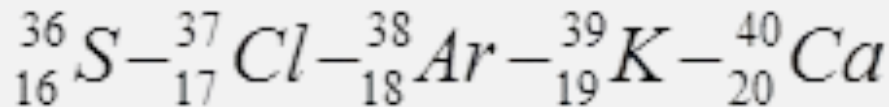


принадлежат к ряду изобар с числом нуклонов  $A=96$ .

Нуклиды, имеющие **одинаковое число протонов** ( $Z = \text{const}$ ), называются **изотопами**. Они различаются только числом нейтронов, поэтому принадлежат одному и тому же элементу:



**Изотоны** - нуклиды с **одинаковым числом нейтронов** ( $N = \text{const}$ ).

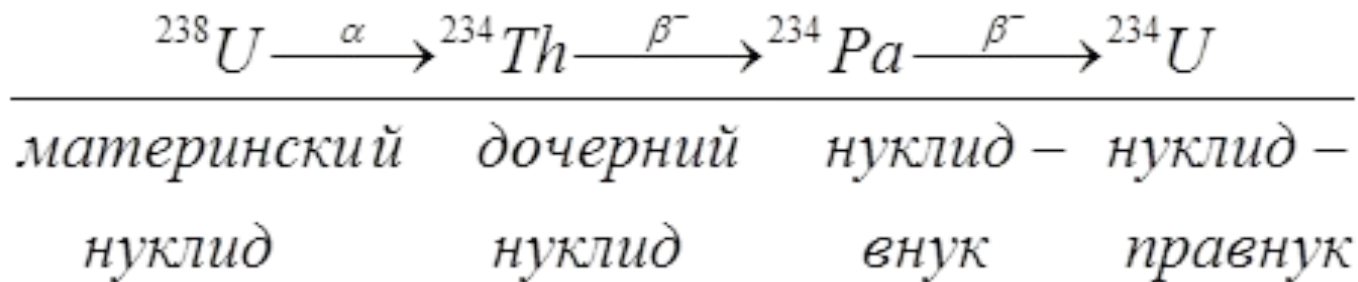


Эти нуклиды принадлежат к ряду изотонов с 20 нейтронами.

# Радиоактивность

**Из более чем 1700** нуклидов, известных в настоящее время, **стабильными** являются только **271** нуклид. Остальные нуклиды нестабильны, т.е. радиоактивны; они претерпевают превращение путем одного или нескольких последовательных распадов.

Для обозначения генетической связи между двумя или более видами ядер, следующими друг за другом в ряде распадов, используют понятия: "материнский", "дочерний", "внучатый" и т.п. Например, при распаде  $^{238}\text{U}$  образуются следующие нуклиды:



## Радиоактивный распад

**Радиоактивный распад** - это испускание, выбрасывание с огромными скоростями из ядер атомов "элементарных" (атомных, субатомных) частиц, которые принято называть радиоактивными частицами или радиоактивным излучением. При этом, в подавляющем большинстве случаев, ядро атома (а значит, и сам атом) одного химического элемента **превращается в ядро атома (в атом) другого химического элемента; или один изотоп данного химического элемента превращается в другой изотоп того же элемента.**

По типу испускаемых частиц различают следующие виды радиоактивного распада:

1.  **$\alpha$  - распад;**
2.  **$\beta$  - распад**, который подразделяется на  $\beta^-$ - распад,  $\beta^+$ - распад и электронный захват (Э.З.);
3. **Эмиссия  $\gamma$  - квантов**, электронов конверсии и электронов Оже;
4. **Нейтронный распад;**
5. **Протонный распад;**
6. **Спонтанное деление.**



## Альфа-распад

Это испускание из ядра атома альфа-частицы (альфа-частицы), которая состоит из 2 протонов и 2 нейтронов.

**Альфа-частица имеет массу 4 единицы, заряд +2 и является ядром атома гелия.**

В результате испускания альфа-частицы образуется новый элемент, который в таблице Менделеева расположен на 2 клетки левее, так как количество протонов в ядре, а значит, и заряд ядра, и номер элемента стали на две единицы меньше. А масса образовавшегося изотопа оказывается на 4 единицы меньше.

## Бета-распад

наиболее распространённый вид радиоактивного распада (и вообще радиоактивных превращений), особенно среди искусственных радионуклидов. Он наблюдается практически у всех известных на сегодня химических элементов. Это означает, что у каждого химического элемента есть, по крайней мере, один бета-активный, то есть подверженный бета-распаду изотоп. Различают бета плюс и бета минус распады.

**Бета-минус** распад (бета-) - это выбрасывание (испускание) из ядра бета-минус частицы - **электрона**, который образовался в результате самопроизвольного **превращения одного из нейтронов в протон и электрон**. При этом тяжёлый протон остаётся в ядре, а лёгкий электрон - бета-минус частица - с огромной скоростью вылетает из ядра. И так как протонов в ядре стало на один больше, то ядро данного элемента **превращается в ядро соседнего элемента справа - с большим номером**.

**Бета-плюс** распад (- это выбрасывание (испускание) из ядра бета-плюс частицы - **позитрона (положительно заряженного "электрона")**), который образовался в результате самопроизвольного превращения одного из **протонов в нейтрон и позитрон**. В результате этого (так как протонов стало меньше) данный элемент превращается в соседний слева (**с меньшим номером, предыдущий**).

**Гамма-излучение** - это **поток гамма-квантов**, это электромагнитное излучение, более "жёсткое", чем обычное медицинское рентгеновское.

Название "гамма-излучение" также сохранилось исторически. Отличие гамма-излучения от рентгеновского (как и в случае  $\beta$ -излучения и фотоэлектрона), также только в **"месте рождения"**: **ядро атома, а не электронные оболочки.**

**Нейтронный распад** - испускание из ядра атома **нейтрона** (n) - нейтральной частицы с массой 1 ед.

При испускании нейтрона один изотоп данного химического элемента **превращается в другой с меньшим весом.**

Так, например, при нейтронном распаде радиоактивный изотоп лития литий-9 превращается в литий-8, радиоактивный гелий-5 - в стабильный гелий-4. .

**Протонный распад** - крайне редкий вид распада - это **испускание из ядра атома протона** ( $p$ ) - частицы с массой 1 ед. и зарядом  $+1$ . При испускании протона данный химический элемент превращается в соседний слева (с **меньшим номером, предыдущий**), а **атомный вес уменьшается на единицу.**

**Спонтанное деление** — разновидность радиоактивного распада тяжёлых атомных ядер.

Спонтанное деление является делением ядра, происходящим без внешнего возбуждения (вынужденного деления), и даёт такие же продукты, как и вынужденное деление: **осколки (ядра более лёгких элементов) и несколько нейтронов.**



**Число распадающихся** в единицу времени атомов **пропорционально числу имеющихся атомов N :**

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

Коэффициент пропорциональности  $\lambda$  называется **постоянной распада** он имеет размерность [с<sup>-1</sup>]. Интегрирование уравнения при условии, что в начальный момент времени  $t = 0$  количество радиоактивных ядер составляет  $N_0$ , приводит к уравнению:

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

**Активность** - это количество актов распада (в общем случае актов радиоактивных, ядерных превращений) в единицу времени (как правило, в секунду). Единицами измерения активности являются беккерель и кюри.

**Беккерель (Бк)** - это один акт распада в секунду (1 расп/сек).

Единица названа в честь французского физика, лауреата Нобелевской премии Антуана Анри Беккереля.

**Кюри (Ки)** -  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк (расп/сек).

Эта единица возникла исторически: такой активностью обладает 1 грамм радия-226 в равновесии с дочерними продуктами распада.

французские учёные супруги Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри.

# АКТИВНОСТЬ

$$A = N \cdot \lambda$$

Где  $A$  – активность (Бк = 1распад/с);

$N$  – количество данных радиоактивных атомов в объекте исследования;

$\lambda$  – постоянная распада (  $\text{с}^{-1}$  ).

**Радиоактивная постоянная** (постоянная или константа распада)  $\lambda$  - это доля атомов, распадающихся в 1 секунду.

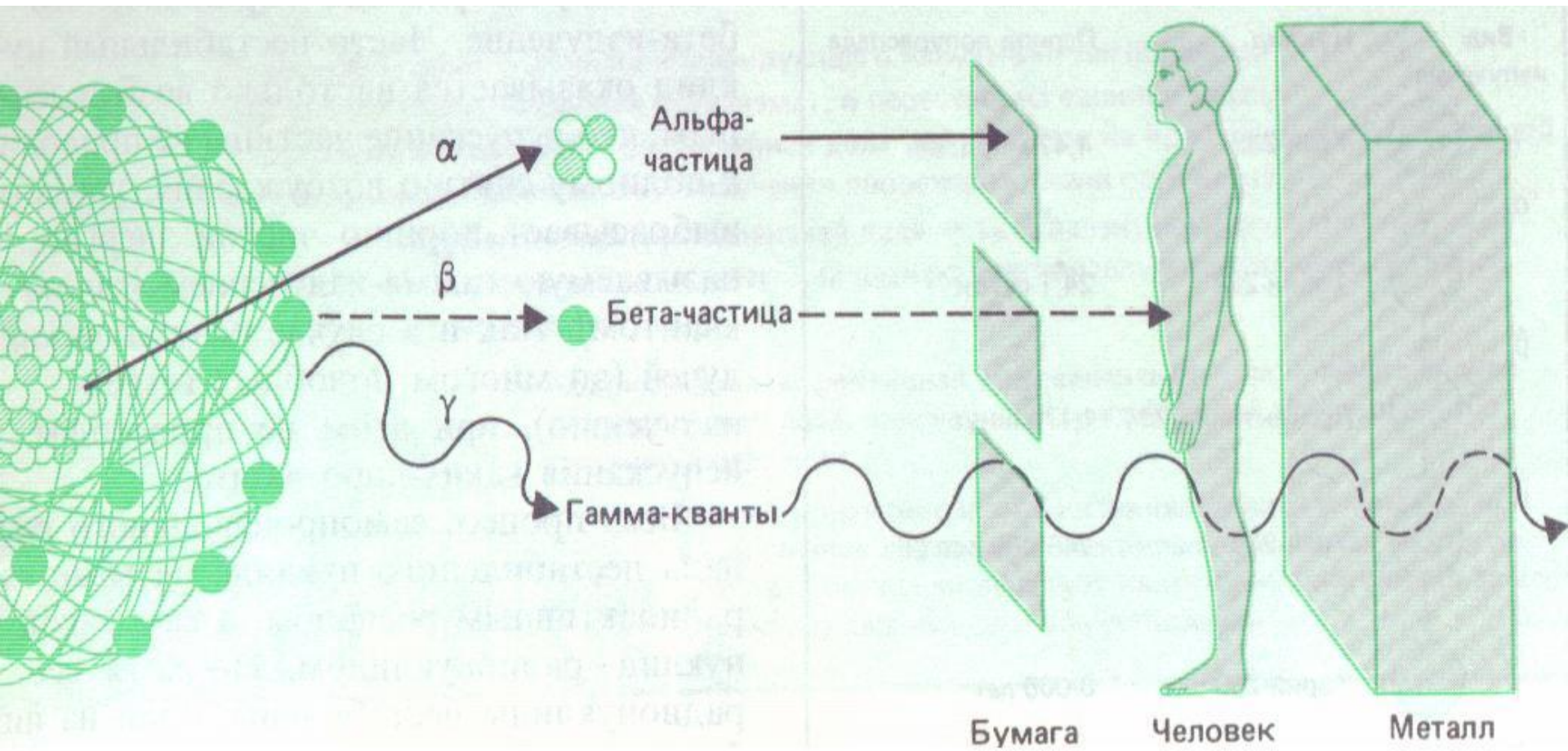
# Период полураспада

Промежуток времени, в течение которого **распадается половина данного количества радиоактивного нуклида.** называется периодом полураспада  $T_{1/2}$ .

$$\lambda = 0,693/T_{1/2} \text{ (сек-1)},$$

где 0,693 - это  $\ln 2$

Радионуклиды, известные в настоящее время характеризуются значениями  $T_{1/2}$  в диапазоне от  $10^{-7}$  с до  $10^{11}$  лет



**Поглощенная доза излучения** - это энергия ионизирующего излучения  $dE$ , поглощенная облучаемым веществом и рассчитанная на единицу его массы  $dm$ .

$$D = \frac{dE}{dm}, [Дж \cdot кг^{-1} = 1Гр(грэй); 1Гр = 100 рад = 6,241 \cdot 10^{15} эВ \cdot г^{-1}]$$

Для оценки возможного ущерба здоровью человека при хроническом облучении введено понятие **эквивалентной дозы Н**, которая равна произведению поглощенной дозы D на средний **коэффициент качества ионизирующего излучения k** в данном элементе объема биологической ткани:

$$H = Dk$$

Единица эквивалентной дозы - Зиверт (Зв), равный 1 Дж/кг (1Зв = 100 бэр)

# Коэффициент качества ионизирующего излучения $k$

Вид излучения	$k$	Вид излучения	$k$
Рентгеновское излучение и $\gamma$ -излучение	1	Нейтроны с энергией 0,1-10 МэВ	10
Электроны, позитроны, $\beta$ - излучение	1	$\alpha$ - излучение с энергией < 10 МэВ	20
Протоны с энергией < 10 МэВ	10	Тяжелые ядра отдачи	20
Нейтроны с энергией < 20 МэВ	3		



Для оценки ущерба здоровью человека при неравномерном облучении введено понятие **эффективной эквивалентной дозы Нэфф**, применяемой при оценке возможных стохастических эффектов - злокачественных образований:

$$H_{эфф} = \sum W_T H_T$$

где  $H_T$  - среднее значение эквивалентной дозы в органе или ткани,

$W_T$  - взвешенный коэффициент, равный отношению ущерба от облучения органа или ткани к ущербу от облучения всего тела при одинаковых эквивалентных дозах.

# Взвешенный коэффициент

Орган или ткань	$W_T$	Орган или ткань	$W_T$
Половые железы	0,25	Щитовидная железа	0,03
Молочные железы	0,15	Кость (поверхность)	0,03
Красный костный мозг	0,12	Остальные органы (ткани)	0,3
Легкие	0,12	Все тело	1,0

Для оценки ущерба от стохастических эффектов воздействий ионизирующих излучений на персонал или население используют коллективную эффективную эквивалентную дозу  $S$ , равную произведению индивидуальных эффективных эквивалентных доз на число лиц, подвергшихся облучению. Единица коллективной эффективной эквивалентной дозы - человеко - Зиверт (чел. • Зв).

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

РАДИОИЗМЕРЕНИЕ РАДИОПАДЕНИЯ И ДОЗА

Появление радионуклидов

Попадание в организм человека

Надземные части пищевых культур

Молоко

Трава на пастбище

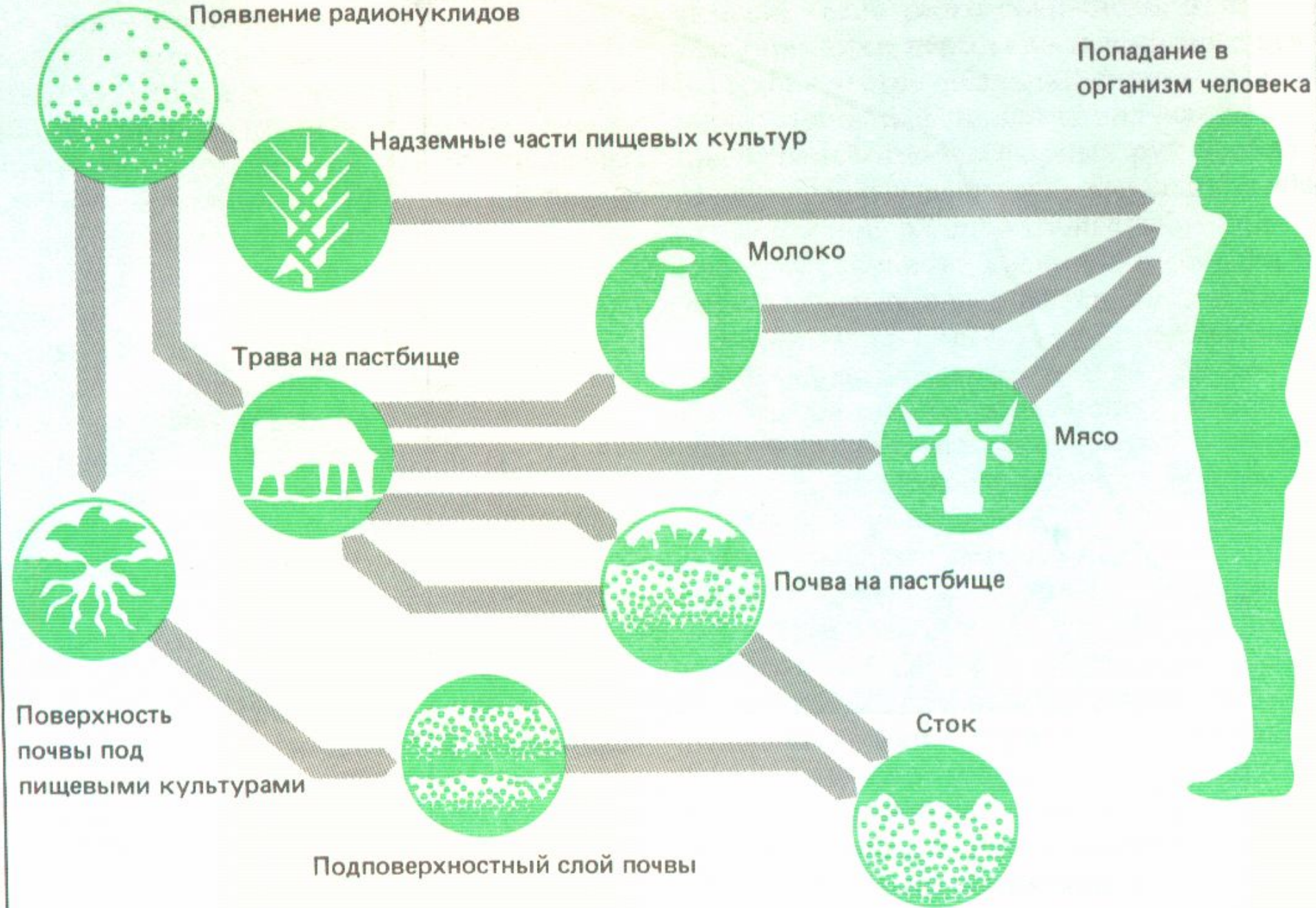
Мясо

Почва на пастбище

Сток

Поверхность почвы под пищевыми культурами

Подповерхностный слой почвы



# Естественный фон внешнего излучения на территории РФ

Эквивалентная доза от природных источников ИИ составляет **0,05-0,2 мкЗв/час** или **0,4-2,0 мЗв/год** считается абсолютно безопасной.

0,1 Зв- в течение года не наблюдается каких-либо заметных изменений в тканях и органах.

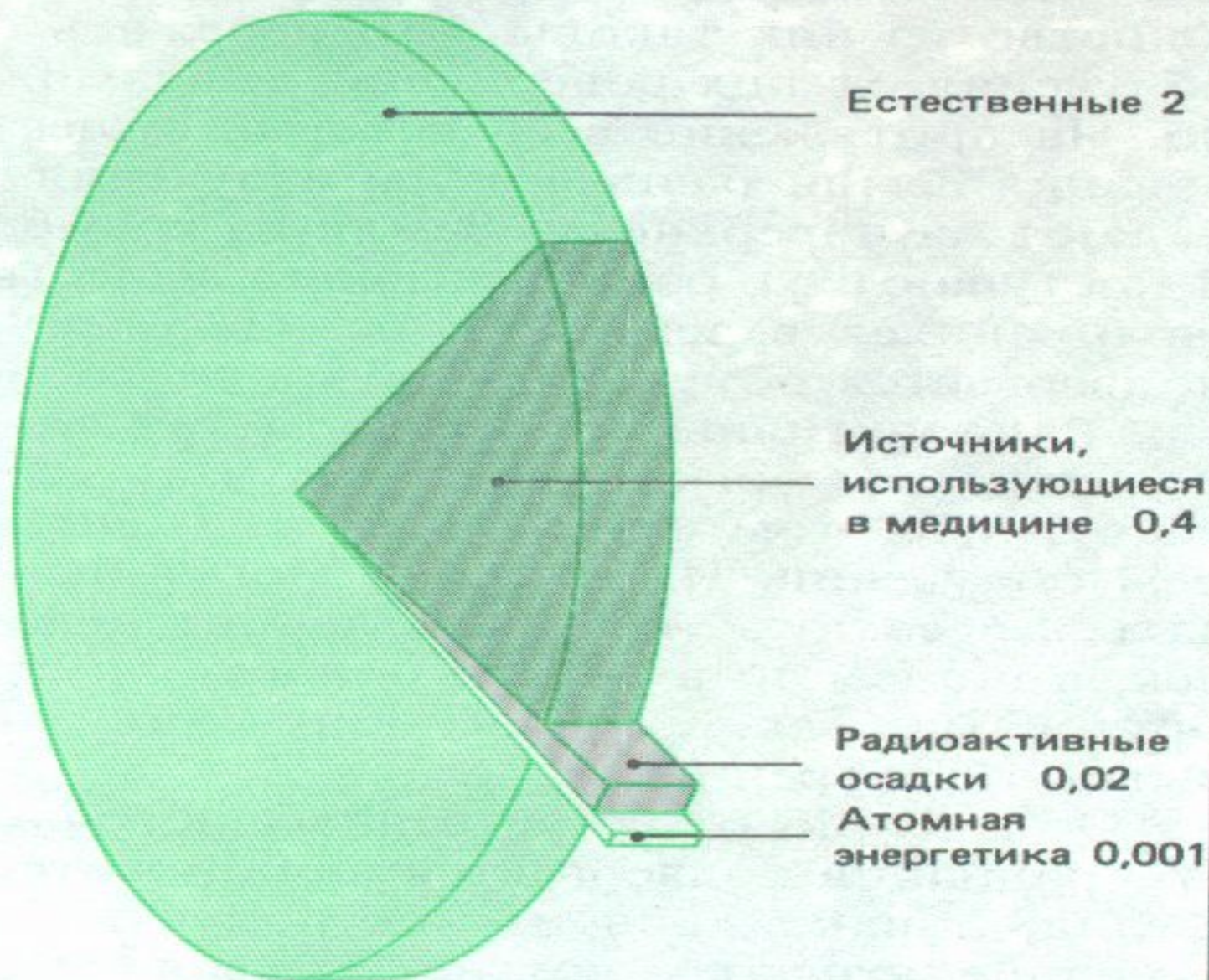
0,75 Зв- незначительные изменения в крови.

1 Зв- нижний предел начала лучевой болезни.

**3-5 Зв- тяжёлая степень лучевой болезни, погибают 50% облучённых.**



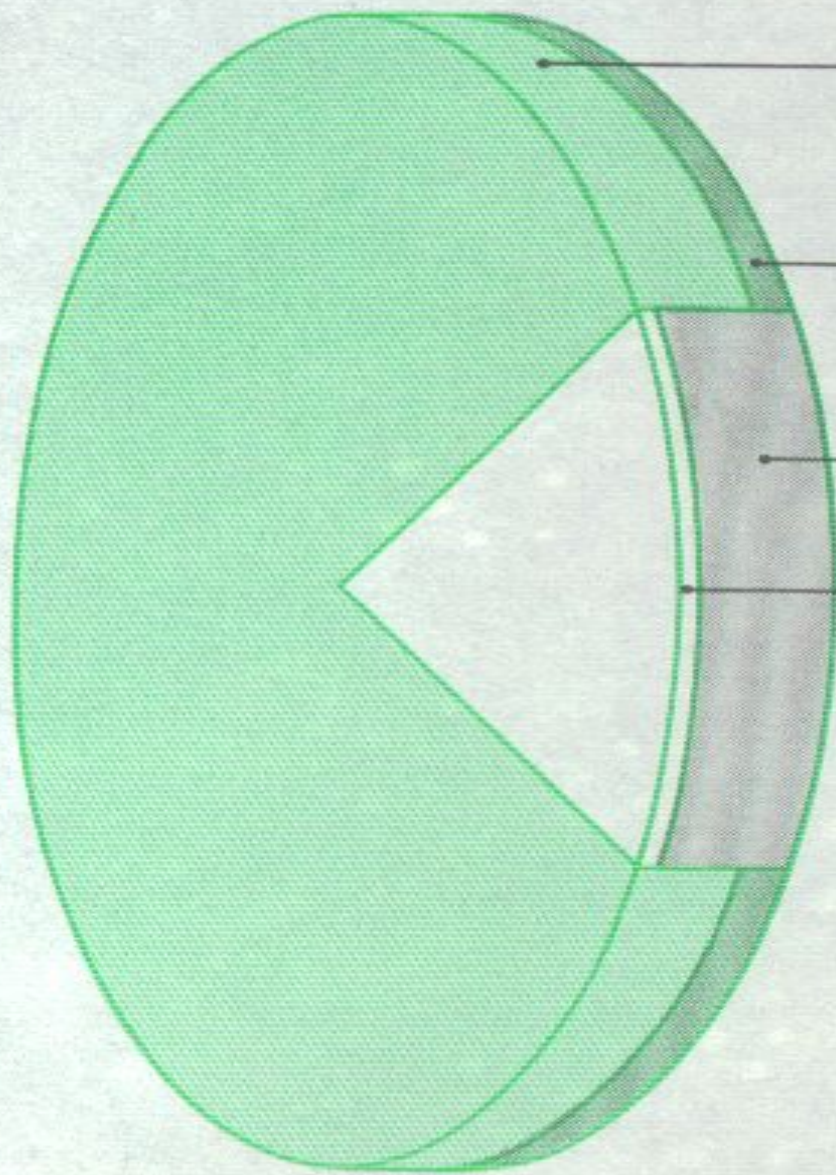
# ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ



Цифры указывают величину дозы в миллизивертах



# ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ



Земного происхождения, внутреннее облучение 1,325

Земного происхождения, внешнее облучение 0,35

Космические, внешнее облучение 0,3

Космические, внутреннее облучение 0,015

Цифры указывают дозу в миллизивертах



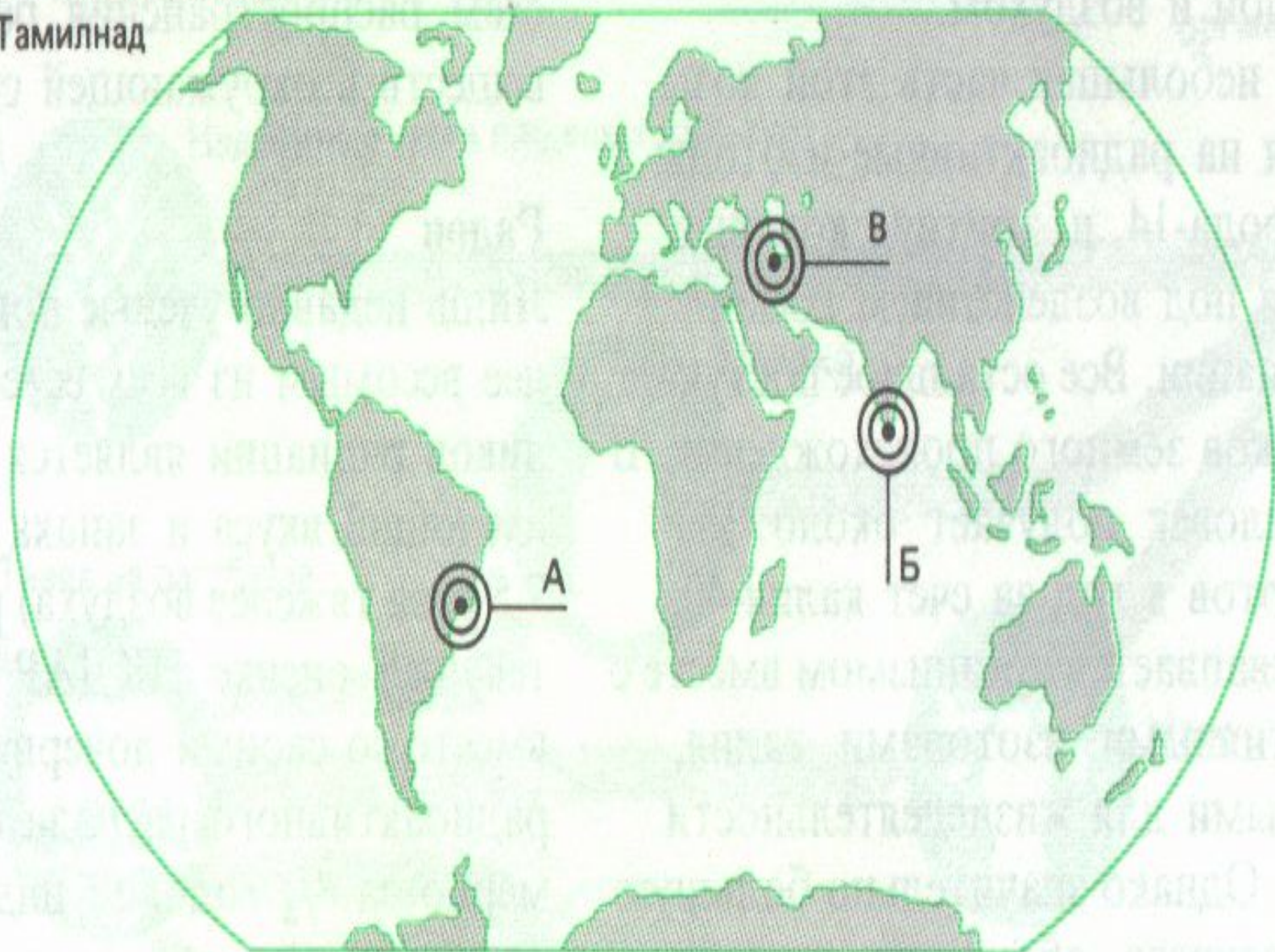
## ЗЕМНАЯ РАДИАЦИЯ

Некоторые участки на поверхности Земли с высоким уровнем земной радиации

А Посус-ди-Калдас и Гуарапари

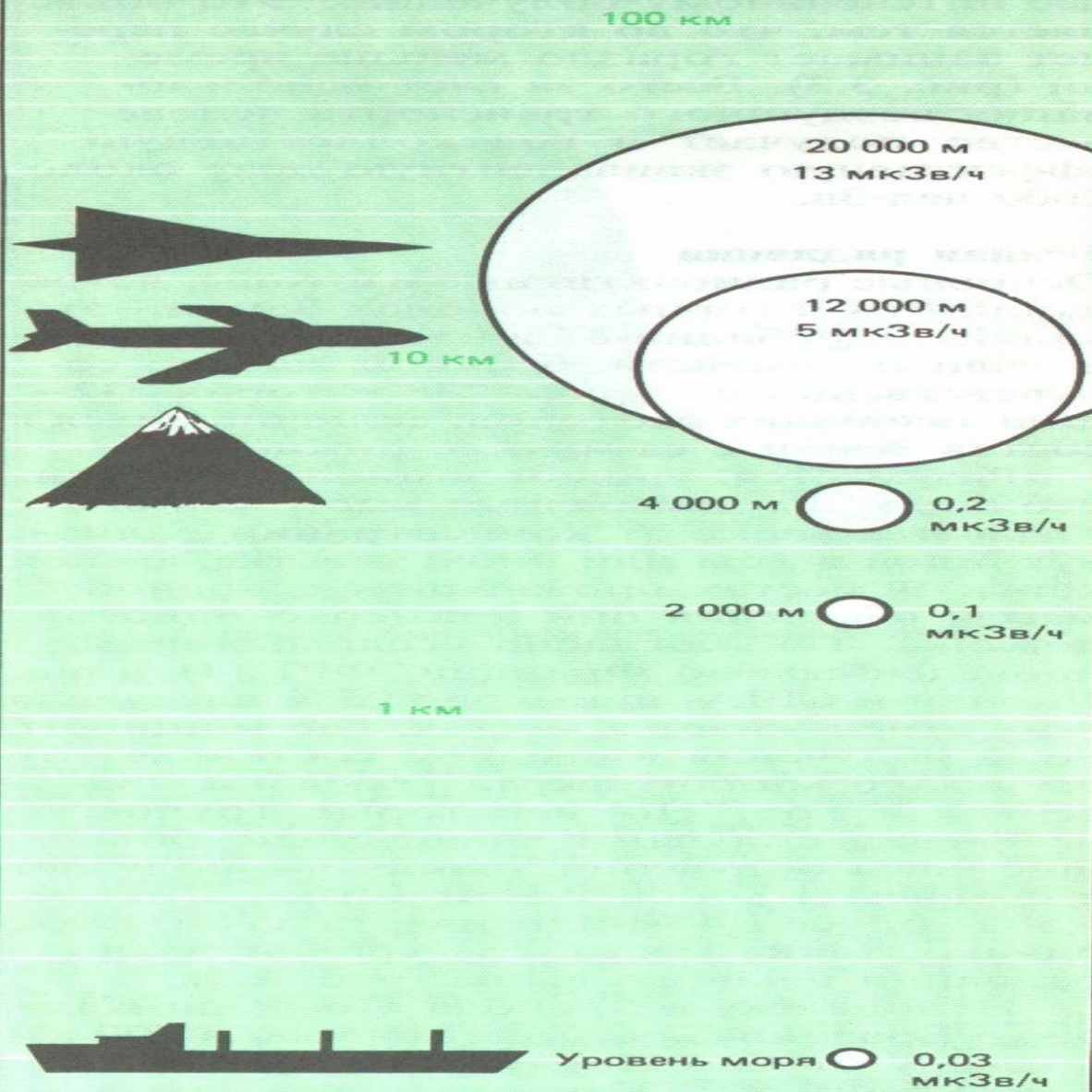
Б Керала и Тамилнад

В Рамсер



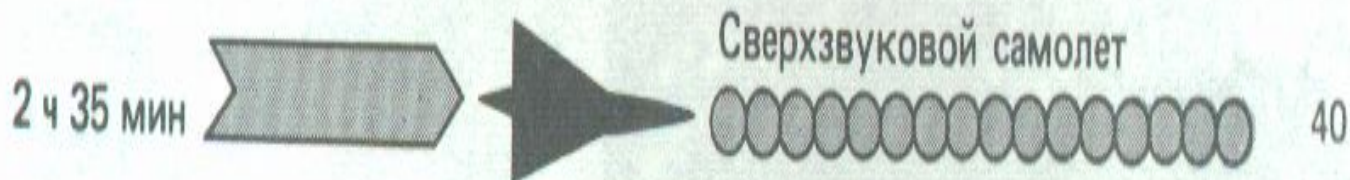


# УРОВНИ КОСМИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ

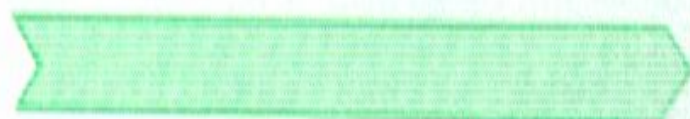


мкЗв = микрозиверт

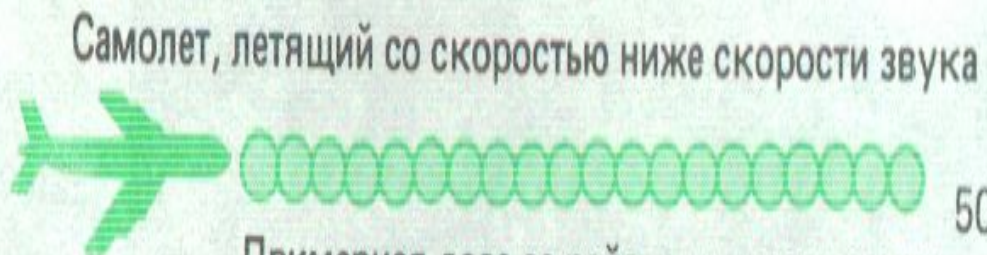
# ДОЗА, ПОЛУЧАЕМАЯ ПРИ ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКОМ ПЕРЕЛЕТЕ



7 ч 25 мин



Время полета



Примерная доза за рейс в микрозивертах

Трансатлантический перелет Нью-Йорк – Париж



# Радиоактивный распад урана-238



# Радиационная опасность радона

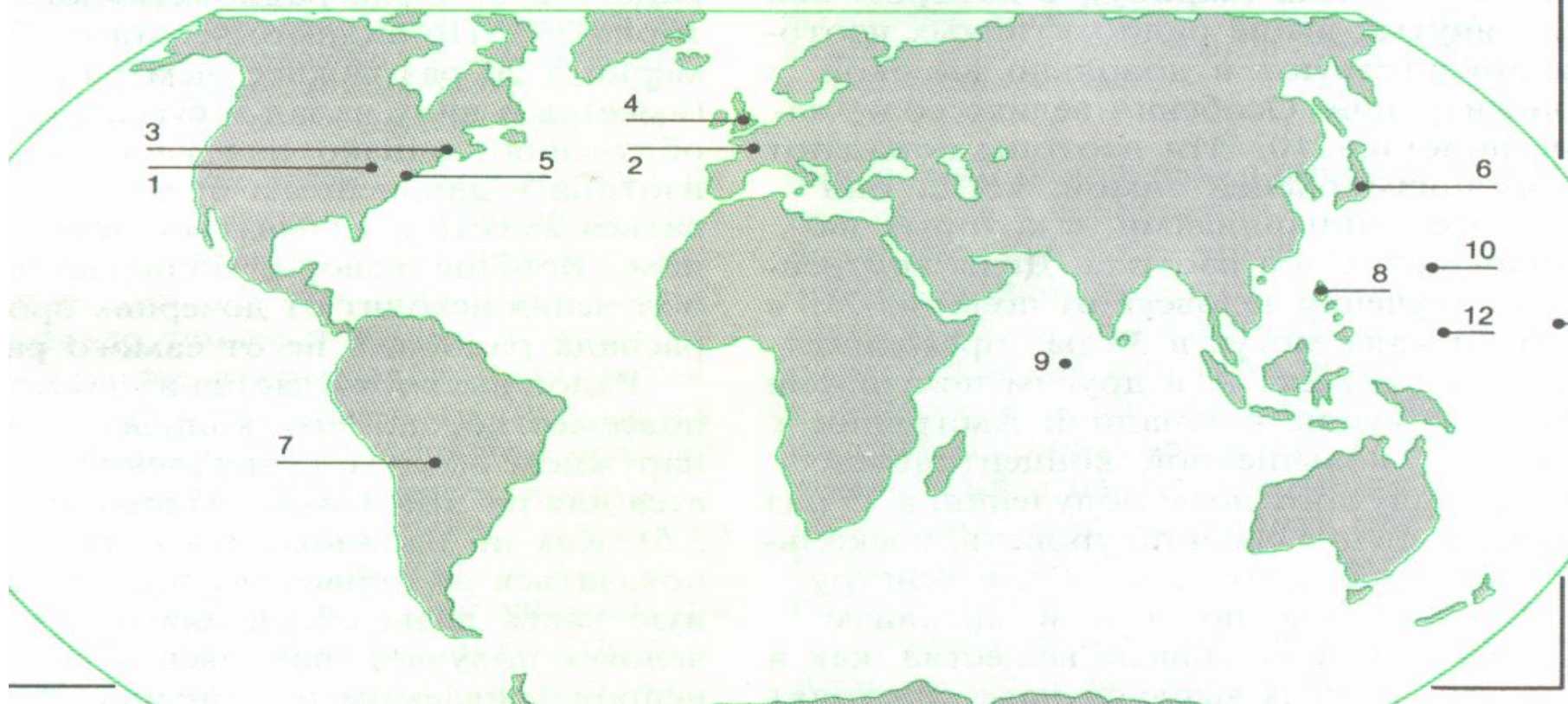
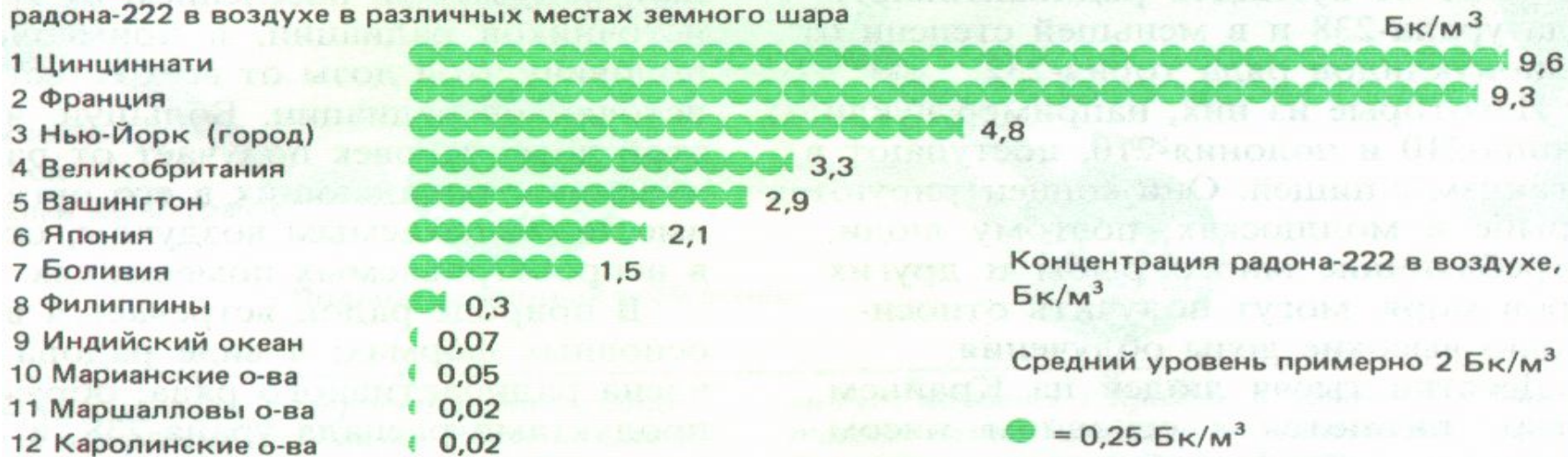
**На радон и продукты его распада приходится 80% дозы облучения от всех природных радиоактивных источников.**

**Уран-238 – Радон-222 – период полураспада = 3,82 сут.**

**Торий-232 – Радон-220 – период полураспада = 55,5 с.**

**Уран-235 – Радон-219 – период полураспада = 3,9 с.**

Некоторые результаты измерений концентрации радона-222 в воздухе в различных местах земного шара



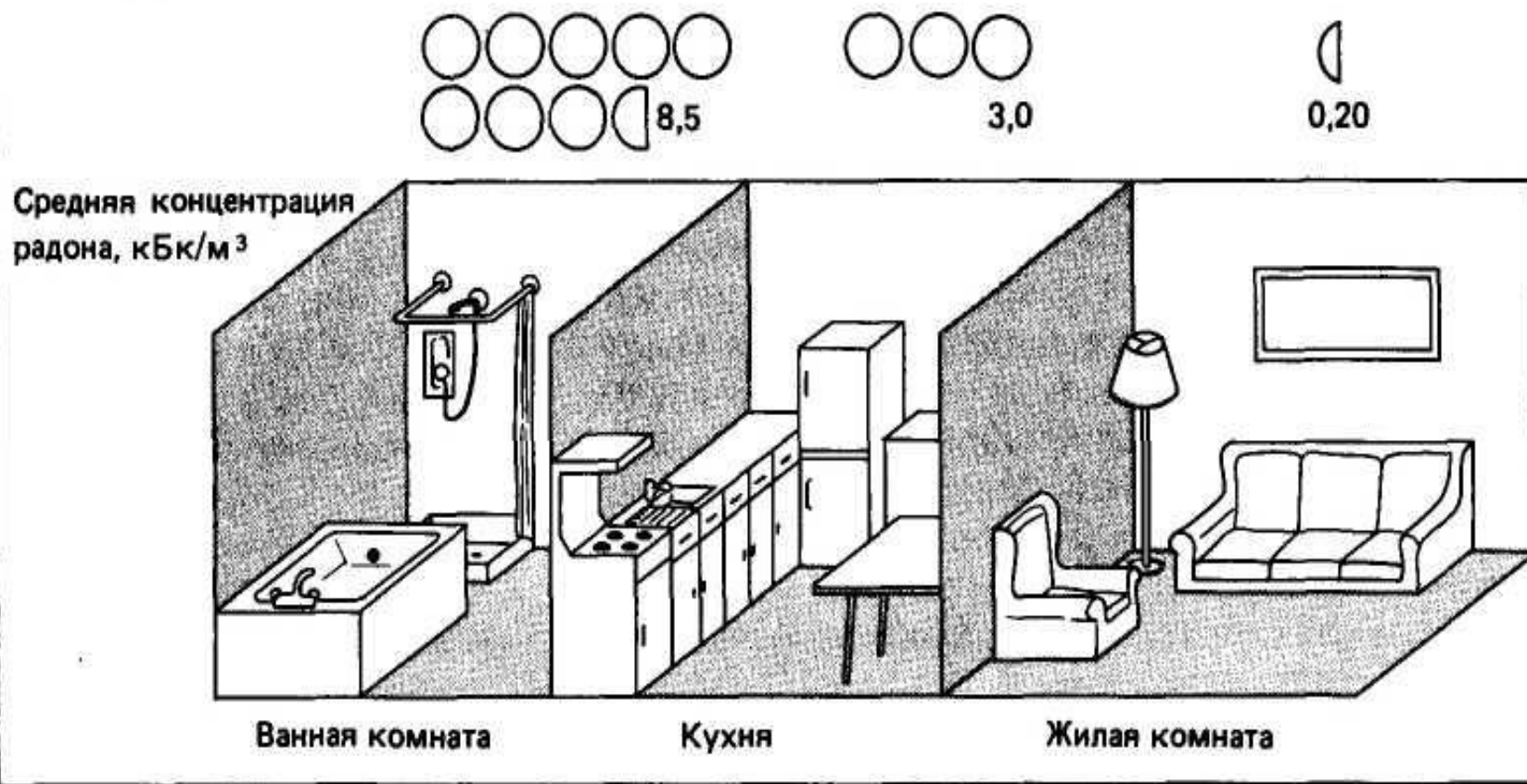
## Источники поступления радона в типовой дом

Источник поступлений радона	Мощность источника, Бк/(м <sup>3</sup> ч)	Средний вклад в общее содержание радона в помещении, %
Грунт	0,1-200	78,0
Строительные материалы	1-20	12,0
Наружный воздух	1-10	9,2
Вода	0,001-100	0,2
Природный газ	0-1,0	0,6



# Основную часть дозы облучения от радона человек получает в закрытом помещении

## 3.12. РАДОН В РАЗНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

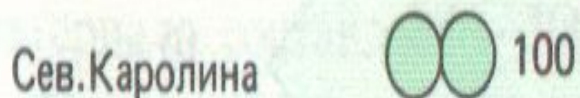
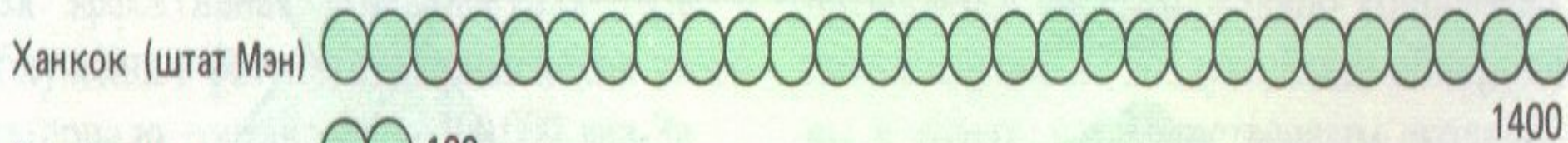


# РАДОН В ВОДЕ

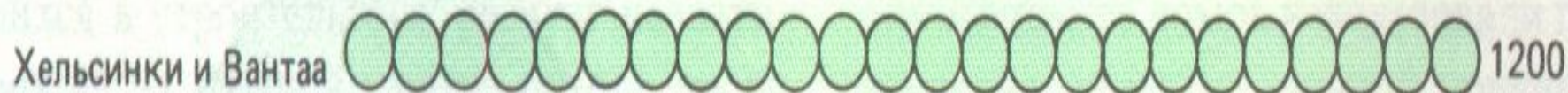
## Местонахождение

---

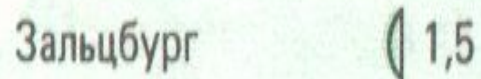
США




Финляндия



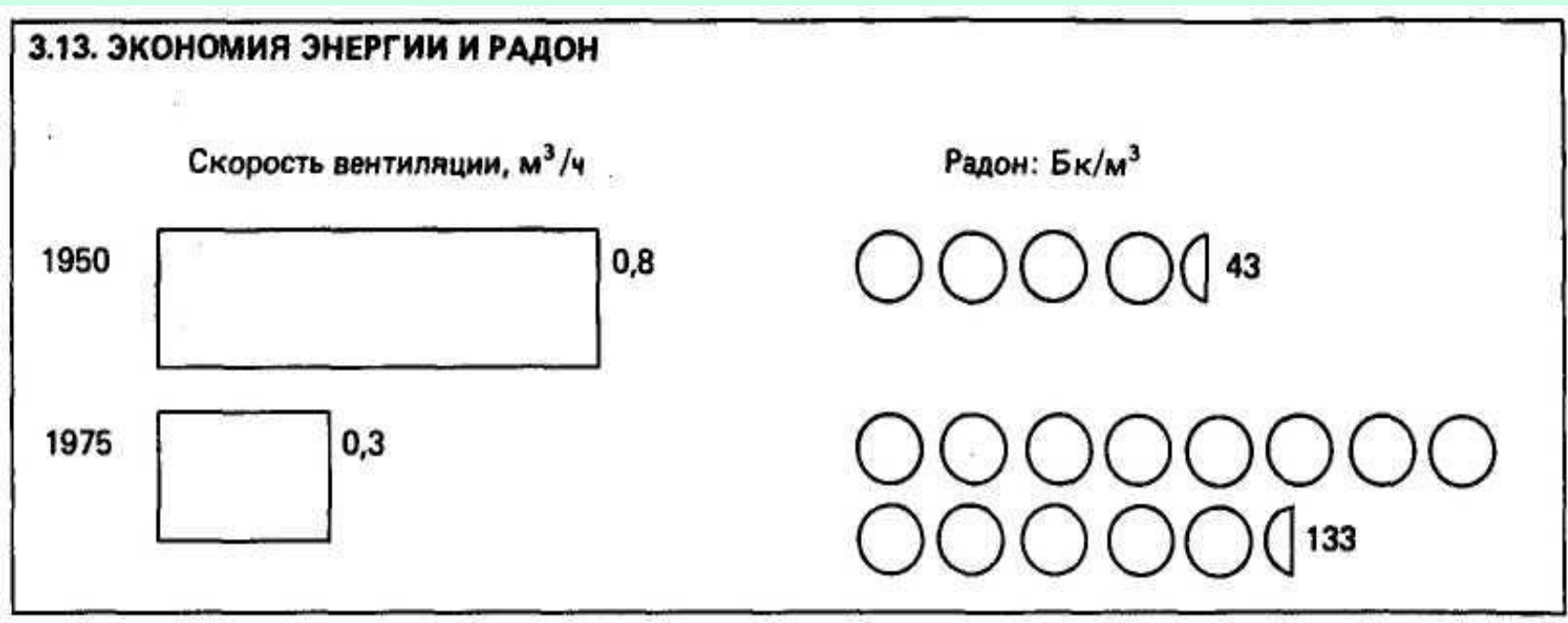
Австрия



 = 50 кБк/м<sup>3</sup>



**В России при проектировании зданий с 1991 г. активность радона в воздухе помещений не должна превышать 100 Бк/м<sup>3</sup>.  
В домах, построенных до 1991 г. - 200 Бк/м<sup>3</sup>.  
Если активность радона превышает 400 Бк/м<sup>3</sup>, рекомендовано переселить жильцов в другие помещения.**



**Средние тканевые дозы, обусловленные излучением  $^{210}\text{Po}$ , мГр/год**

<b>Группа населения</b>	<b>Гонады</b>	<b>Легкие</b>	<b>Костный мозг</b>	<b>Костные клетки</b>
<b>Некурящие</b>	<b>0,006</b>	<b>0,003</b>	<b>0,007</b>	<b>0,015</b>
<b>Курящие</b>	<b>0,009</b>	<b>0,009</b>	<b>0,009</b>	<b>0,022</b>