

# **Радиационная безопасность территории**

## **Лекция № 8**

### **Ограничение облучения от природных источников**

**Лащёнова Татьяна Николаевна  
Д-р биол.наук, канд.хим. наук,  
Профессор экологического факультета РУДН**

# **V. Требования к ограничению облучения населения 5.1.1. (НРБ-99/2009)**

**5.1.1. Радиационная безопасность населения достигается путем ограничения воздействия от всех основных видов облучения (п. 1.3) источники ионизирующего излучения:**

- *- техногенные источники за счёт нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;*
- *- техногенные источники в результате радиационной аварии;*
- *- природные источники;*
- *медицинские источники.*

**Возможности регулирования разных видов облучения существенно различаются, поэтому регламентация их осуществляется отдельно с применением разных методологических подходов и технических способов.**

**5.1.2. В отношении всех источников облучения населения следует принимать меры как по снижению дозы облучения у отдельных лиц, так и по уменьшению числа лиц, подвергающихся облучению, в соответствии с принципом оптимизации.**

# При оценке радиационной обстановки территории руководствуются основными факторами:

1. Природным радиационным фоном, создаваемым естественными радионуклидами (ЕРН) и космической радиацией (МЭД ГИ).
2. Техногенно-измененным природным радиационным фоном, обусловленным возведением зданий на территориях с повышенным уровнем радоновыделения и использованием в строительстве, производственной деятельности и быту материалов с повышенным содержанием ЕРН.
3. Техногенной деятельностью на территории региона:
- 4 Вкладом медицинских (рентгенорадиологических) процедур.

# Требования к ограничению облучения от природных источников даны в разделах V. ОСПОРБ-99/2010 и V. Раздел НРБ-99/2009

Снижение облучения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения отдельными (регулируемыми) природными источниками излучения.

**5.3.1. Суммарная доза от всех природных (включая нерегулируемые) источников излучения должна быть на уровне 5 мЗв/год.**

**4.1. Эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства).**

# Схема дозовой модели облучения населения



Объект РКОС	Определяемый параметр	Контролируемый параметр
Атмосферный воздух	Объемная активность радионуклидов, Бк/м <sup>3</sup>	Доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радионуклидов
	Интенсивность радиоактивных выпадений, Бк/м <sup>2</sup> ·с	Доза внешнего облучения от нахождения в облаке выброса
Почва	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	Плотность загрязнения радионуклидами, Бк/м <sup>2</sup>
	Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД), Зв/ч; Плотность потока бета-частиц (ПБЧ), см <sup>-2</sup> ·мин <sup>-1</sup>	Доза внешнего облучения от нахождения на территории, загрязненной радионуклидами
Снеговой покров	Объемная активность радионуклидов в снеговой воде, Бк/л	Плотность загрязнения радионуклидами, Бк/м <sup>2</sup>
		Доза внешнего облучения от нахождения на территории, загрязненной радионуклидами
Пищевые продукты, растительность	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	Доза внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов
Сточная вода в месте выпуска в водоем	Объемная активность радионуклидов, Бк/л	Доза внешнего облучения от нахождения на территории, загрязненной радионуклидами
Вода поверхностных водоемов	Объемная активность радионуклидов, Бк/л	Доза внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов
		Доза внешнего облучения от нахождения на акватории водоема, загрязненного радионуклидами
Донные отложения поверхностных водоемов	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	Доза внешнего облучения от нахождения на акватории водоема, загрязненного радионуклидами
Подземная вода	Объемная активность радионуклидов, Бк/л	Доза внутреннего облучения от перораль-

# Параметры контроля основных объектов окружающей среды

## Поверхностная и подземная вода:

- УВи – уровень вмешательства для воды (Приложение 2а НРБ-99/2009); ПДКи (ВДУ) - гигиенические нормативы

## Атмосферные аэрозоли:

- ДОА<sub>нас</sub> - допустимая среднегодовая объёмная активность для радионуклида для населения (Приложение 2 НРБ-99/2009);
- ПДКсс (ВДУ) - среднесуточные предельно допустимых концентрации

## Снег

- определяется концентрацией (Бк, мг/л) в талой воде, контролируется поверхностная плотность загрязнения в Бк, кг/м<sup>2</sup>

## Почва и донные отложения

- Действующими законодательными документами техногенные радионуклиды не нормируются

**5.2.4. Допустимые значения содержания природных и техногенных радионуклидов в пищевых продуктах и воздухе приведены в Приложении 2 НРБ-99/2009**

**Допустимые значения содержания природных и техногенных радионуклидов для питьевой воде (Уровни вмешательства) приведены в Приложении 2а НРБ-99/2009.**



# 1. Радиационный природный фон

В разных частях планеты природный радиационный фон имеет разные значения, но в среднем дозовая нагрузка составляет  $2 \text{ мЗв/год}$ .

На открытых участках территории на уровне  $0,1 \text{ м}$  от поверхности земли фоновое значение МЭД ГИ находится в интервале  $0,15 - 0,3 \text{ мкЗв/ч}$  и составляет примерно  $0,15 \text{ мкЗв/ч}$ .

При превышении этого показателя, необходимо проводить более детальное измерение удельной активности природных и техногенных радионуклидов в почве.

## **2. Мощность эффективной дозы гамма-излучения, МЭД ГИ, мкЗв/ч**

**Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности (над фоном) более чем на 0,2 мкЗв/ч.**

# ПРИРОДНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ

Радионуклид	$T_{1/2}$ , лет	Доля в природной смеси изотопов
$^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$	99,27
$^{235}\text{U}$	$7 \cdot 10^8$	0,72
$^{232}\text{Th}$	$1,4 \cdot 10^{10}$	100
$^{40}\text{K}$	$1,3 \cdot 10^9$	0,0117
$^{87}\text{Rb}$	$4,9 \cdot 10^{10}$	27,8
$^{150}\text{Nd}$	$5 \cdot 10^{10}$	5,6
$^{147}\text{Sm}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	15,07
$^{176}\text{Lu}$	$3,6 \cdot 10^{10}$	2,6
$^{138}\text{La}$	$1 \cdot 10^{11}$	0,089

# **Содержание природных радионуклиды в объектах окружающей среды**

**Природные радионуклиды являются  
необходимой составной частью  
радиоэкологических показателей территории.**

**Знание возможного содержания естественных  
радионуклидов в основных объектах  
контроля являются важным для оценки  
полученных результатов.**

**Влиять на содержание природных  
радионуклидов нельзя, но контролировать  
необходимо.**

# **Допустимое содержание природных радионуклидов**

**Допустимое содержание природных радионуклидов в минеральном сырье и материалах, продукции с их использованием (изделия из керамики и керамогранита, природного и искусственного камня и т.п.), а также требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с ними**

**устанавливаются в санитарных правилах по ограничению облучения населения за счет природных источников излучения.**

### 5.3.4. Эффективная удельная активность (Аэфф) природных радионуклидов

не должна превышать:

- - для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях (**I класс**):
  - $$\text{Аэфф} = \text{ARa} + 1,3\text{ATh} + 0,09\text{AK} \leq 370 \text{ Бк/кг},$$
  - где ARa и ATh - удельные активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, AK - удельная активность K-40 (Бк/кг);
- - для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (**II класс**):
  - $$\text{Аэфф} \leq 740 \text{ Бк/кг};$$
- - для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (**III класс**):
  - $$\text{Аэфф} \leq 1500 \text{ Бк/кг}.$$
- При  $1,5 \text{ кБк/кг} < \text{Аэфф} \leq 4,0 \text{ кБк/кг}$  (**IV класс**) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно на основании санитарно-эпидемиологического заключения федерального органа исполнительной власти, уполномоченного осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор.
- При  $\text{Аэфф} > 4,0 \text{ кБк/кг}$  материалы не должны использоваться в строительстве.

### 5.3.6. Удельная активность природных радионуклидов в минеральных удобрениях и агрохимикатах

Не должна превышать:

$$A_U + 1,5 \cdot A_{Th} \leq 1,0 \text{ кБк/кг,}$$

где  $A_U$  и  $A_{Th}$  - удельные активности урана-238 (радия-226) и тория-232 (тория-228), находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, соответственно.

Допустимое содержание  $^{40}\text{K}$  в минеральных удобрениях и агрохимикатах не устанавливается.

## **5.3.4. Эффективная удельная активность (Аэфф) природных радионуклидов в строительных материалах**

### **Строительные материалы:**

**щебень, гравий, песок, бутовый и пиленный камень, цементное и кирпичное сырье и пр., добываемых на их месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходы промышленного производства, используемые для изготовления строительных материалов (золы, шлаки и пр.), и готовой продукции**

**Регламентируется в зависимости от класса строящегося объекта.**

**Существует – 4 класса объектов.**



# Содержание природных радионуклидов в почве

Содержание природных радионуклидов, которые обязательно присутствуют на любой территории, колеблется в определённых интервалах в зависимости от специфики и местных особенностей территории:

типа грунта; солёности и гидрогеологических условий формирования поверхностных и подземных вод; условий формирования атмосферных потоков и т.д.

В почве присутствуют природные радионуклиды двух радиоактивных семейств  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$ .

До 0,03% по массе в земной коре составляют изотопы  $^{87}\text{Rb}$ , распространены в почве  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{22}\text{Na}$  в рассеянном состоянии.

# Содержание природных радионуклидов в почве

Среднее удельное содержание  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  зависит от механического состава почвы, определяются фазовым составом групп глинистых минералов, и меняется примерно Бк/кг

$^{40}\text{K}$  - от 300 до 800,

$^{226}\text{Ra}$  - от 20 до 30,

$^{232}\text{Th}$  - от 30 до 40.

При распаде нуклидов радия и тория из почвы образуются газообразные радионуклиды – инертные газы радон и торон

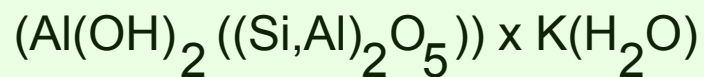
## Расчет эффективной удельной активности

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_K,$$

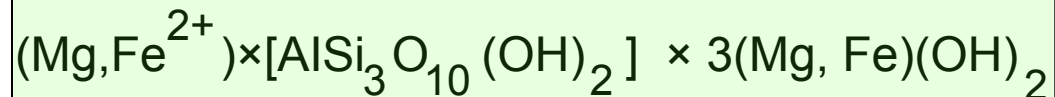
где  $A_{Ra}$  и  $A_{Th}$  – удельные активности Ra-226 и Th-232 (Бк/кг), находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов;  
 $A_K$  – удельная активность K-40 (Бк/кг).

**Супесь,  
средний  
суглинок**

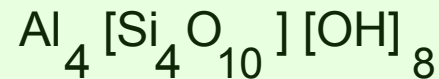
**ИЛЛИТ**



**хлорит**

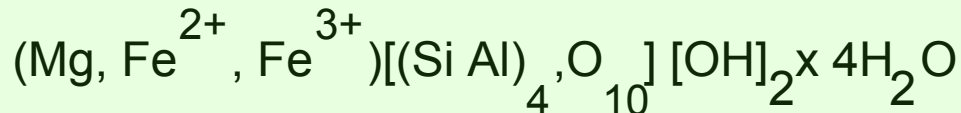


**каолинит**



**Тяжелый  
суглинок,  
глина**

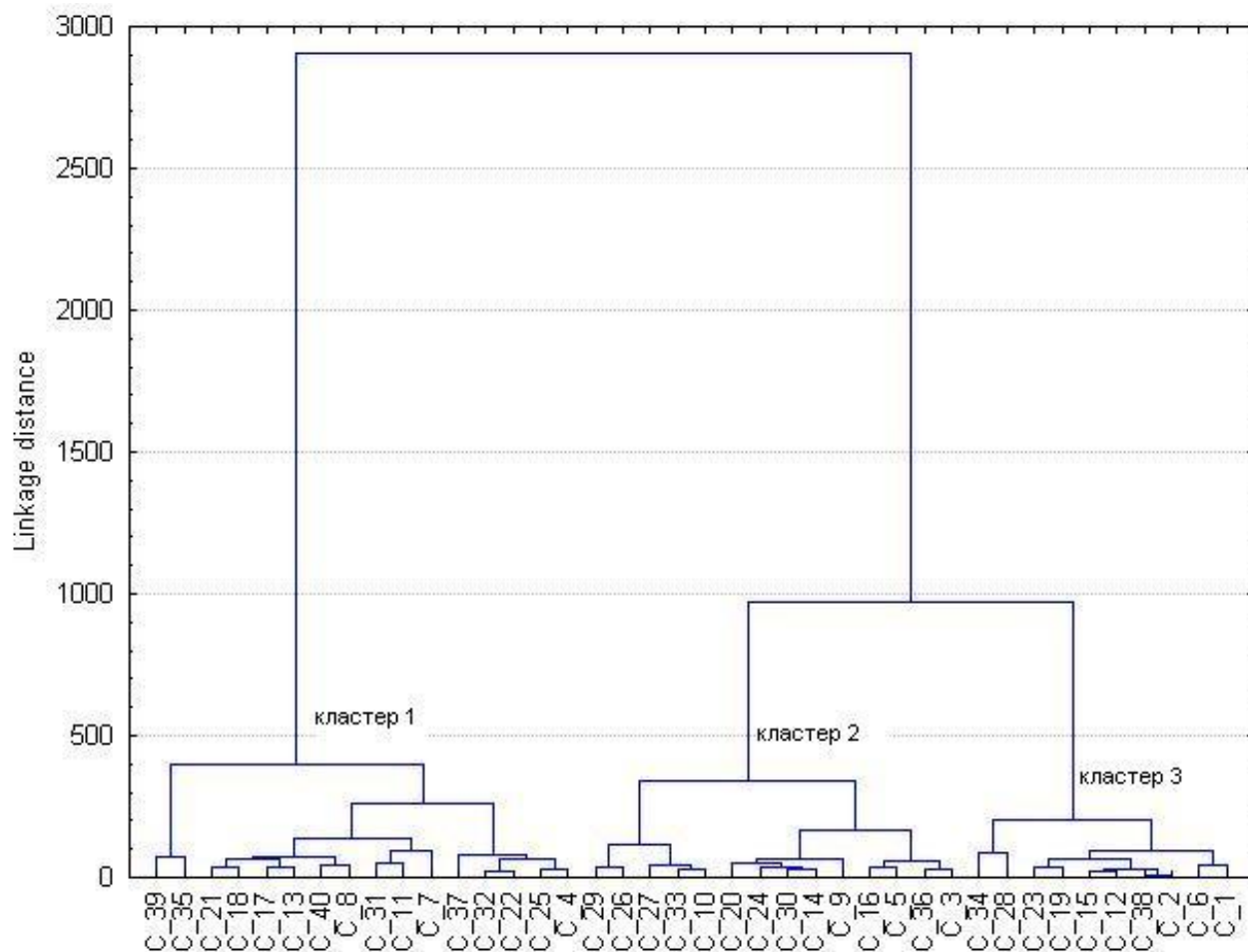
**вермикулит**



# Удельное содержание радионуклидов в пробах почвы

Величина	Активность радионуклидов, Бк/кг				
	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$A_{\text{эфф}}$
Среднее	9	558	32	37	127
Ст. откл.	6	114	6	7	39
Мин.	1	329	18	22	94
Макс.	27	810	49	53	166

# Дендрограмма классификации проб почвы



# Содержание радионуклидов в зависимости от механического состава почв

Радионуклид	Удельная активность, Бк/кг		
	Супесь	Средний суглинок	Тяжелый суглинок
$^{40}\text{K}$	473±107	620±74	827±47
$^{226}\text{Ra}$	24±5	26±3	30±2
$^{232}\text{Th}$	21±4	33±4	40±3
$A_{\text{эфф}}$	115	124	147
$^{137}\text{Cs}$	10±7	11±5	12±6

## 5.3.5. Предварительная оценка качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности

- При невыполнении указанного условия защитные мероприятия по снижению содержания радионуклидов в питьевой воде должны осуществляться с учетом принципа оптимизации.
- Критическим путем облучения людей за счет  $^{222}\text{Rn}$ , содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещения и последующее ингаляционное поступление дочерних продуктов радона в организм. Уровень вмешательства для  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде составляет 60 Бк/кг. Определение удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде из подземных источников является обязательным.
- При возможном присутствии в воде  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  (в зонах наблюдения радиационных объектов I и II категории по потенциальной опасности) определение удельной активности этих радионуклидов в воде является обязательным.
- Для минеральных и лечебных вод устанавливаются специальные нормативы.



### 5.3.5. Предварительная оценка качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности

- может быть дана по удельной суммарной альфа- ( $A\alpha$ ) и бета-активности ( $A\beta$ ).
- При значениях  $A\alpha$  и  $A\beta$  ниже 0,2 и 1,0 Бк/кг, соответственно, дальнейшие исследования воды не являются обязательными.
- В случае превышения указанных уровней проводится анализ содержания радионуклидов в воде.
- Приоритетный перечень определяемых при этом радионуклидов в воде устанавливается в соответствии с санитарным законодательством .
- Если при совместном присутствии в воде нескольких природных и техногенных радионуклидов выполняется условие:

$$\sum A_i / U_{Vi} \leq 1,$$

- где  $A_i$  - удельная активность  $i$ -го радионуклида в воде, Бк/кг;
- $U_{Vi}$  - соответствующие уровни вмешательства по Приложению 2а, Бк/кг,
- то мероприятия по снижению радиоактивности питьевой воды не являются обязательными.

# Содержание природных радионуклидов в поверхностной воде

УВ для воды

Фоновое содержание для европейской части России

$^{14}\text{C}$  - 0,001 Бк/л

$^3\text{T}$  от 0,5 до 4 Бк/л

- $\Sigma \alpha$ , 0,05 – 0,2 Бк/л
- $\Sigma \beta$ , 0,30 – 0,6 Бк/л

<b>РН</b>	<b>Вода открытых водоёмов, Бк/л</b>	<b>Питьевая вода, Бк/л</b>
<b>Cs-137</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>
<b>Sr-90</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>
<b><math>\Sigma\alpha</math></b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>
<b><math>\Sigma\beta</math></b>	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>
<b>Ra-226</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>0,01</b>
<b>U-238</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>0,02</b>
<b>Pu-239</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>H-3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>C-14</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>
<b>Pb-210</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>Po-210</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>

**Содержание природных  
радионуклидов в приземном слое  
атмосферного воздуха**

**Объемная активность радиоактивных  
веществ в атмосферном воздухе**

**ДОАнас**

$\Sigma\beta$  от  $0,5 \cdot 10^{-3}$  до  $5,0 \cdot 10^{-6}$  Бк/м<sup>3</sup>

$\Sigma\alpha < 0,01$



# Система ограничений на облучение населения от отдельных природных ИИИ

## 1. От дочерних продуктов радона и торона

**5.3.2. При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе помещений**

- $ЭРОА_{Rn} + 4,6 \cdot ЭРОА_{Tn}$  не превышала 100 Бк/м<sup>3</sup>,**
- а мощность эффективной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности (от фона) более чем на 0,2 мкЗв/ч.**

# При эксплуатации жилых и общественных зданий

**5.3.3. Среднегодовая эквивалентная  
равновесная объемная активность дочерних  
продуктов радона и торона в воздухе жилых и  
общественных помещений:**

- **$ЭРОА_{Rn} + 4,6 \cdot ЭРОА_{Tn}$  не должна превышать 200 Бк/м<sup>3</sup>.**
- **При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений.**

# Инертные газы радон и торон на территории

Инертные газы радон и торон, которые формируют примерно 50% годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения населения от природных источников, которая в среднем составляет

**0,3 до 0,6 мЗв/год.**

Концентрация радона в воздухе на территории существенно зависит от места нахождения территории и меняется **от 0,03 до 8 – 10 Бк/м<sup>3</sup>** приземном слое атмосферы европейской части России.



## Среднегодовая эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная природными радионуклидами

Радионуклид, тип излучения	Период полураспада	Среднегодовая эффективная эквивалентная доза мкЗв
$^{40}\text{K}$ ( $\beta, \gamma$ )	$1.4 \cdot 10^9$ лет	180
$^{87}\text{Rb}$ ( $\beta$ )	$4.8 \cdot 10^{10}$ лет	6
$^{210}\text{Po}$ ( $\alpha$ )	160 сут	130
$^{220}\text{Rn}$ ( $\alpha$ )	54 с	170 - 220
$^{222}\text{Rn}$ ( $\alpha$ )	3.8 сут	800 - 1000
$^{226}\text{Ra}$ ( $\alpha$ )	1600 лет	13

- Взрослый человек потребляет с пищей 95 кг углерода в год при средней активности на единицу массы  $^{14}\text{C}$  230 Бк/кг.
- Суммарный вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную эффективную дозу составляет около 15 мкЗв/год.

**Среднее годовое поступление космогенных радионуклидов в организм человека**

Радионуклид	Поступление, Бк/год	Годовая эффективная доза, мкЗв
$^3\text{H}$	250	0.004
$^7\text{Be}$	50	0.002
$^{14}\text{C}$	20 000	12
$^{22}\text{Na}$	50	0.15

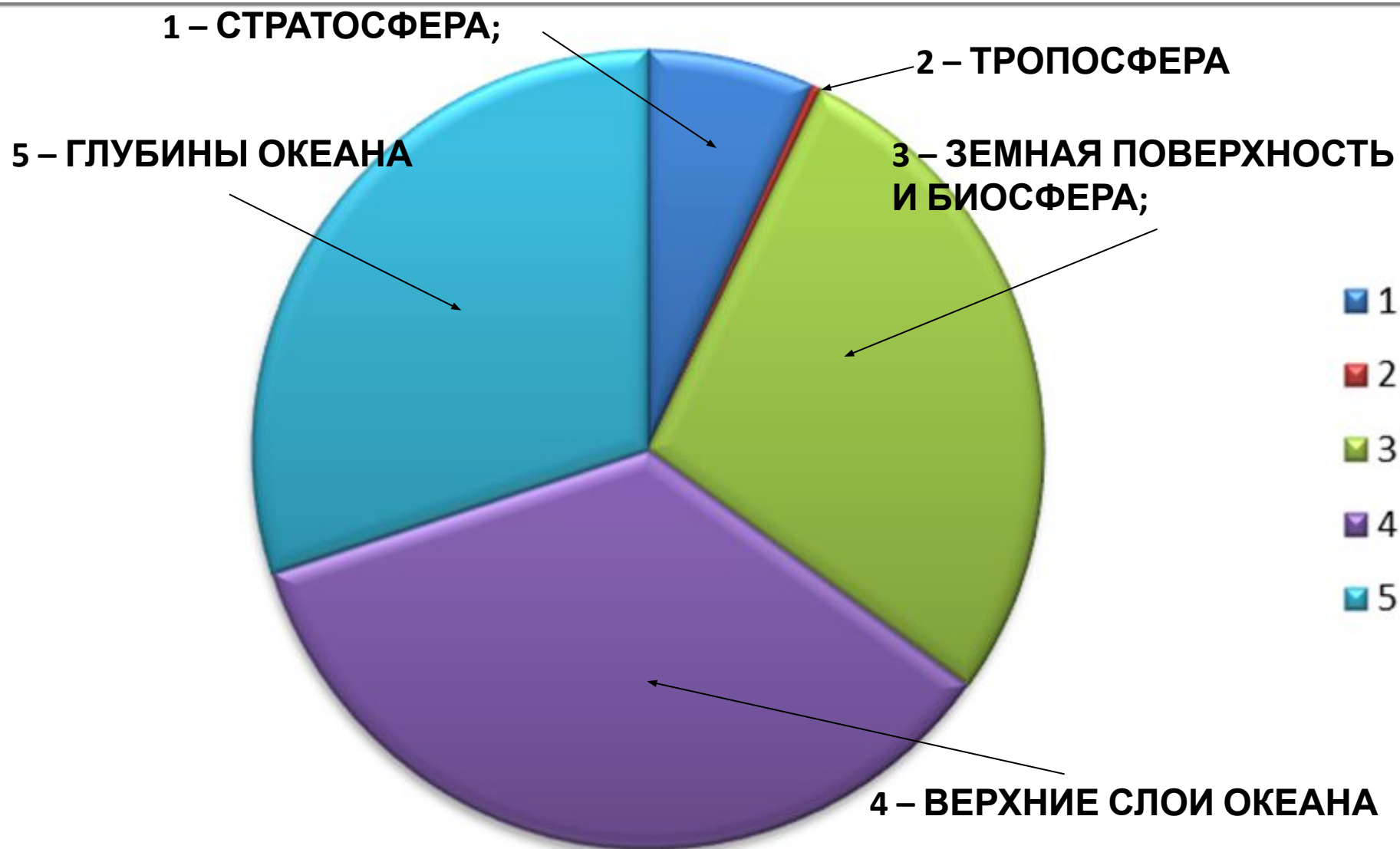
# КАЛИЙ-40

## **В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА**

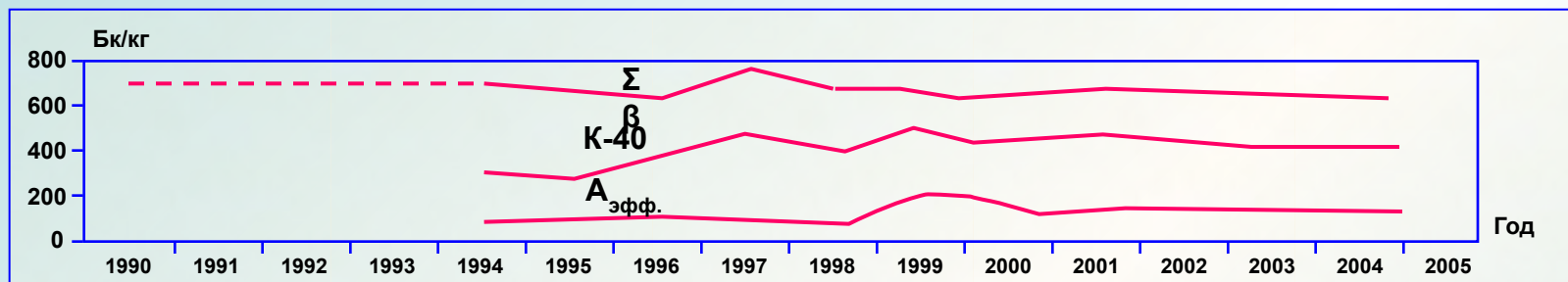
80% радиоактивности человека даёт калий-40,  
20% приходится на углерод-14

Калий концентрируется в мышечной ткани

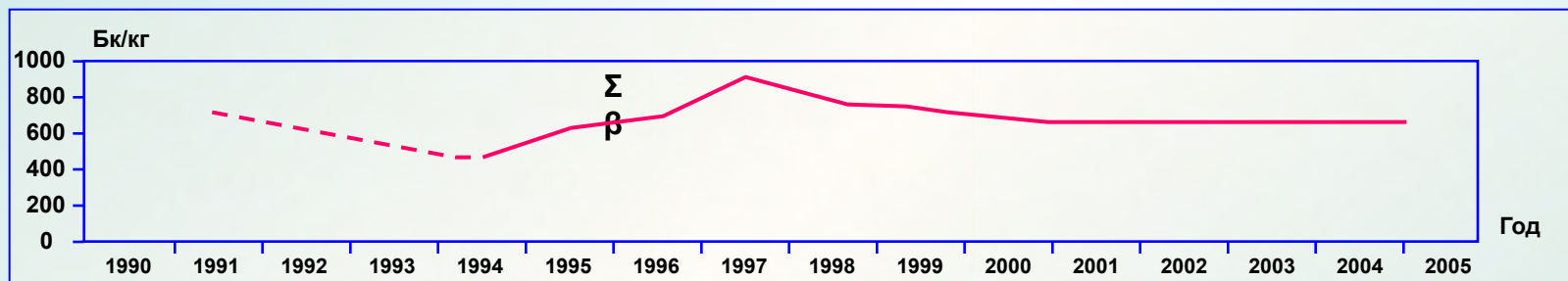
# СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



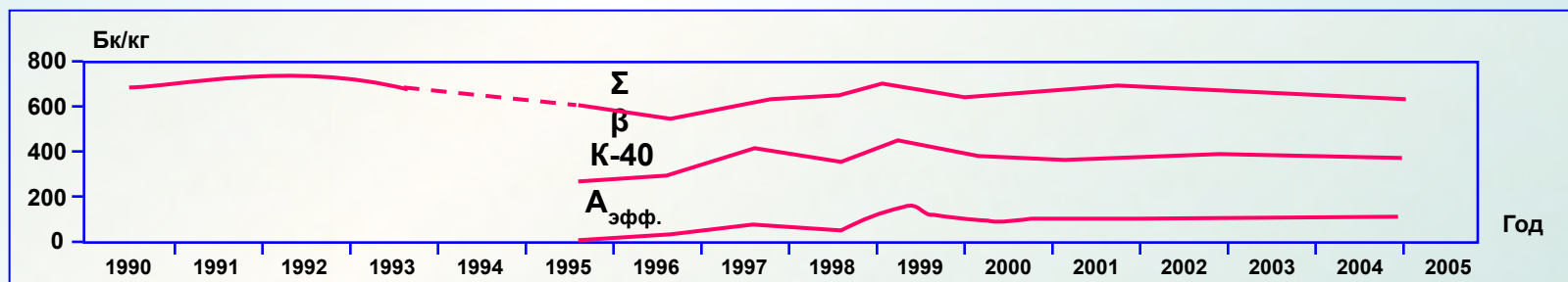
## ПОЧВА



## ЛИСТЬЯ



## ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ



Содержания природных радионуклидов в почве и донных отложениях  
1950 – 2005 годы.

**Спасибо за внимание!**