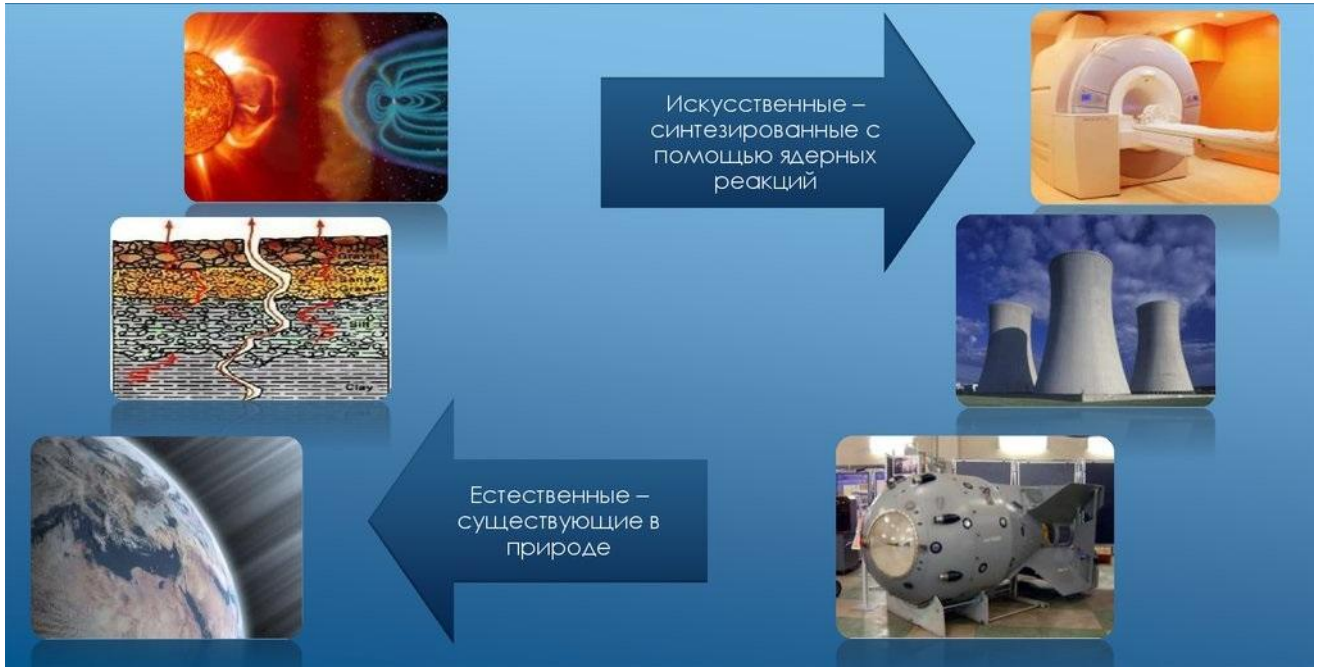
Радиоактивность окружающей среды

ЕСТЕСТВЕННАЯ ИЛИ ПРИРОДНАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

Естественными радиоактивными веществами принято считать радиоактивные вещества, которые **образовались и воздействуют на человека без его участия**.

Естественные источники излучения:

1. **Космическое излучение.**
2. **Источники земного происхождения.**



ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

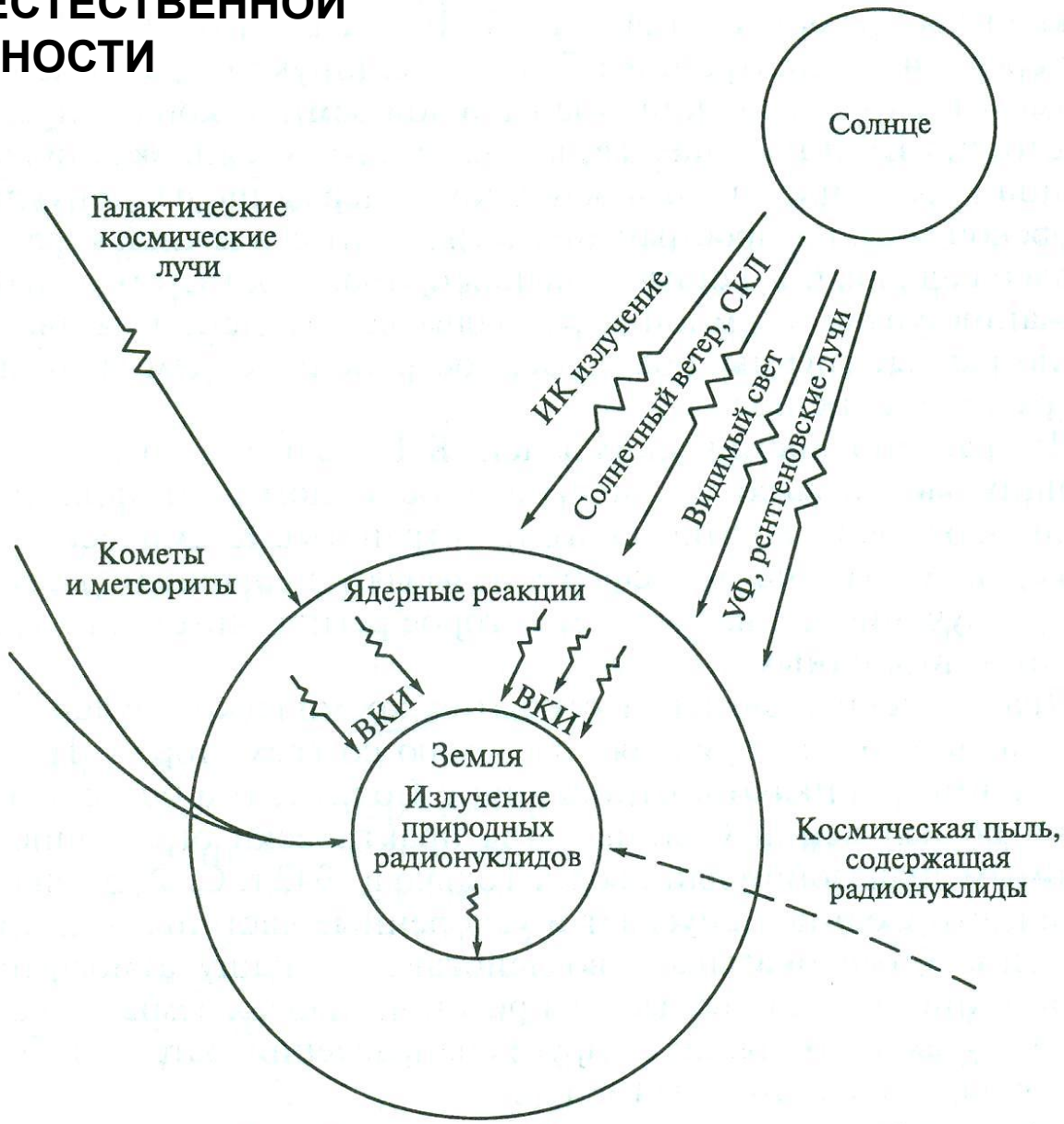
Космическое излучение приводит к возникновению космогенных радионуклидов:

- C-14
- H-3
- Be-7
- Na-22

Земные (первичные радионуклиды):

- Уран-238
- Торий-232
- Уран-235
- Калий-40
- Радий-226

ИСТОЧНИКИ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ



Источники космического излучения:

1. галактическое излучение, которое сопровождает выброс материи при звездных взрывах и образовании сверхновых звезд;
2. солнечное излучение, обусловленное вспышками на Солнце, что происходит с характерным 11-летним циклом;
3. излучение заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли.

Радиационный фон, от космических лучей, ответственен за половину всего облучения получаемого населения от естественных источников радиации.

Космические лучи представлены:

1. высокоэнергетическими потоками (примерно 90%);
2. α-частицами (около 9%);
3. нейтронами, фотонами, электронами и ядрами легких элементов (1%).

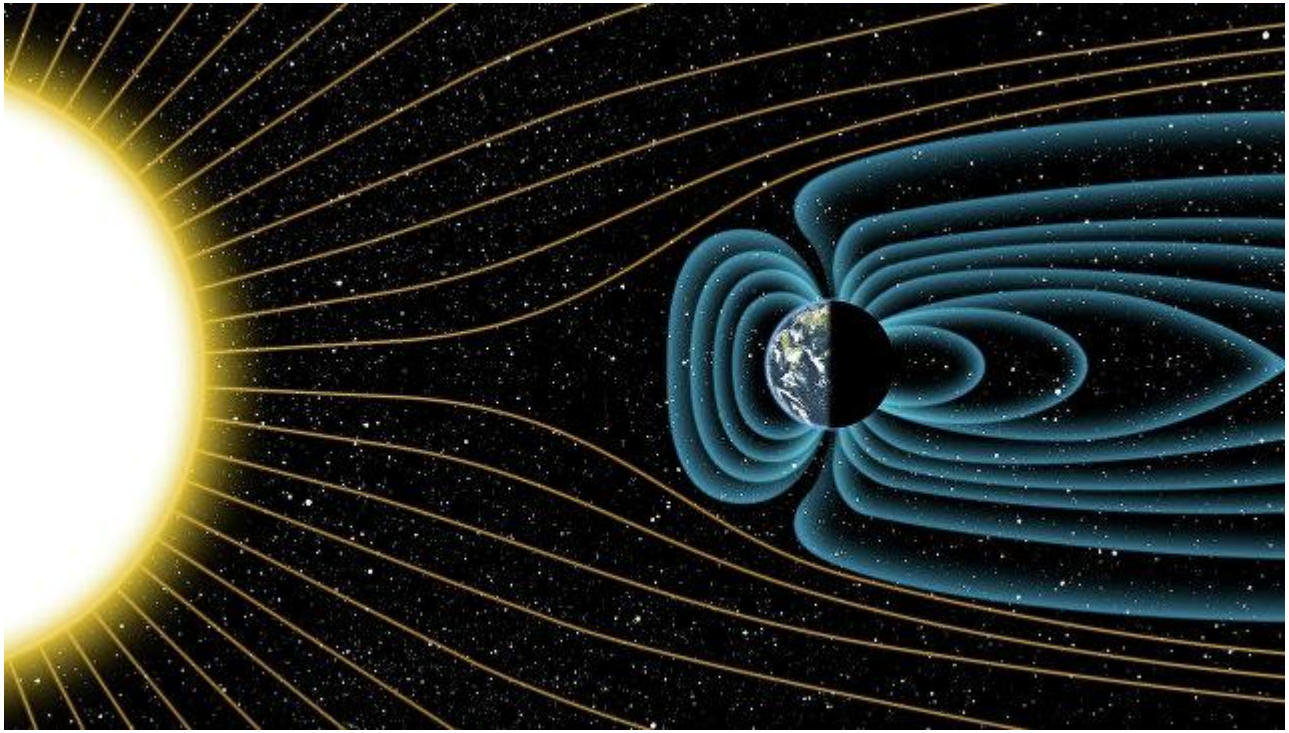
Земля имеет свои защитные механизмы от радиационных воздействий, иначе жизнь на Земле была бы невозможна.

Космическое излучение

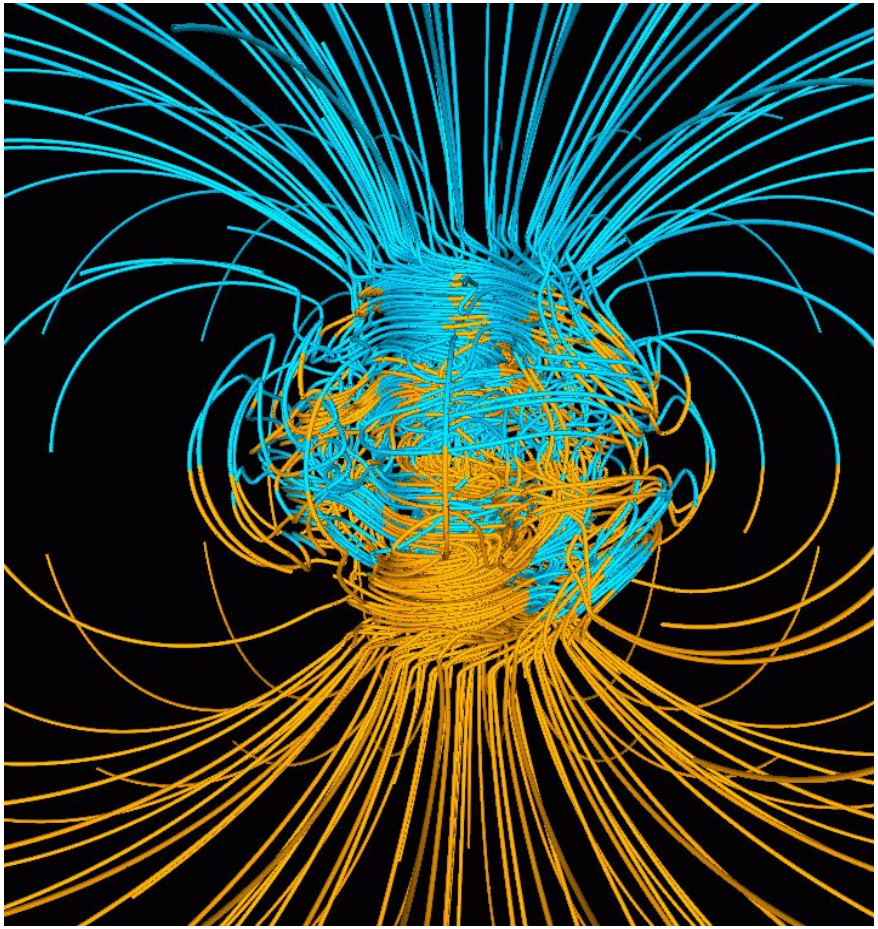
- Космические лучи состоят на 98% из ***барионов*** (протонов) и ***альфа-частиц*** (ядер гелия).
- При столкновении с ядрами атомов газов атмосферы они порождают множество заряженных и нейтральных частиц, обладающих энергией.
- Эти частицы в свою очередь сталкиваются с ядрами атомов. Часть частиц оказываются нестабильными и быстро распадаются. В результате возникает «***космический ливень***».
- Это вызывает образование следующего потока частиц.

- На расстоянии от **<u>одного до восьми земных</u>** **<u>радиусов</u>** космические частицы отклоняются магнитным полем Земли.
- Часть высокоэнергетических частиц прорывается через магнитное поле и достигает верхних слоев атмосферы.
- Немногие из них проникают через всю атмосферу и достигают поверхности Земли.
- Большинство из них, сталкиваясь с атомами газов атмосферы, взаимодействуют с их ядрами, разбивают их, рождая множество новых частиц – **протонов, нейтронов, π-мезонов, μ-мезонов**, образующих ***вторичное космическое излучение***.

Заряженные частицы, попадая в магнитное поле Земли образуют так называемые радиационные пояса Земли. Выходу заряженных частиц из радиационных поясов мешает особая конфигурация направлений линий магнитной напряженности, создающих магнитную ловушку.



Магнитное (геомагнитное) поле Земли



Силовые линии дипольного магнитного поля Земли

Главное, или **основное** геомагнитное поле генерируется внутриземными источниками.

Аномальное поле, создаваемое намагниченными горными породами.

Внешнее, или ***переменное***, геомагнитное поле, связанно с солнечно-земными взаимодействиями.

Магнитному полю Земли лучше всего соответствует дипольная модель однородно намагниченного шара

Геомагнитные полюсы – точки пересечения магнитной оси с земной поверхностью, в которых магнитное наклонение = 90º

S – в Северной Гренландии.

N – в Антарктиде.

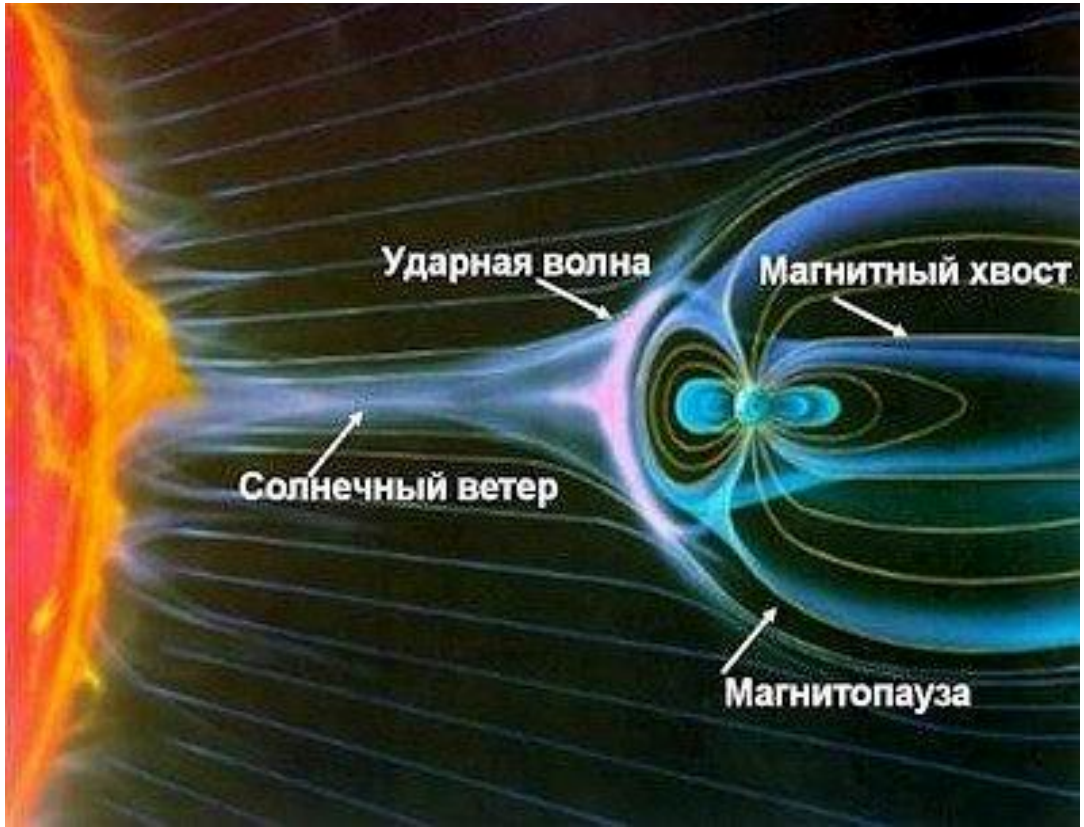
Полюсы медленно мигрируют. **S** – в сторону Сибири.

Угол между северным географическим и условно северным магнитным полюсами сейчас составляет 7,3º

Магнитосфера -

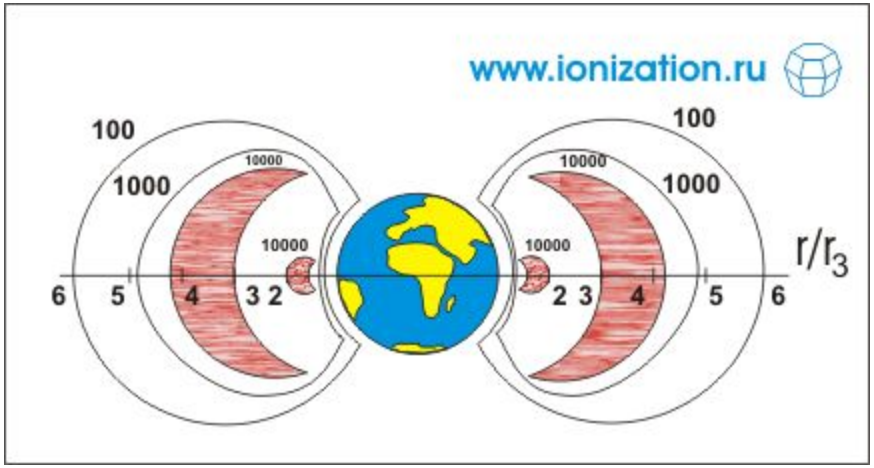
Область геомагнитного поля, обтекаемого солнечным ветром, ее граница с дневной стороны проходит на расстоянии 70-80 тыс. км от Земли, границы хвоста не известны.

Граница магнитосферы Земли, на которой давление магнитного поля равно давлению окружающей магнитосферу плазмы называется ***магнитопауза***.



Геомагнитное поле несет важную ***экологическую функцию***, защищая Землю и все живое от губительного потока ионизированного плазменного вещества.

Области магнитосферы, представляющие собой геомагнитные ловушки, удерживающие частицы в ограниченном объеме, образуют **радиационные пояса Земли.**



Радиационные пояса Земли можно подразделить на внутренний и внешний.

- Во внутреннем радиационном поясе находятся протоны высоких энергий и электроны. На нижней границе внутреннего пояса на расстоянии 200-300 км от поверхности Земли заряженные частицы испытывают столкновения с атомами и молекулами атмосферы и меняют свою энергию, поглощаясь атмосферой.
- Во внешнем радиационном поясе находятся электроны с энергией до 100 КэВ и времени «жизни» 10^5-10^7 с.
- Пояс протонов малых энергий находится между внутренним и внешним поясами Земли. Зона квазизахвата расположена за внешним поясом и имеет сложную конфигурацию, зависимую от плотности потока космических лучей, солнечного ветра.

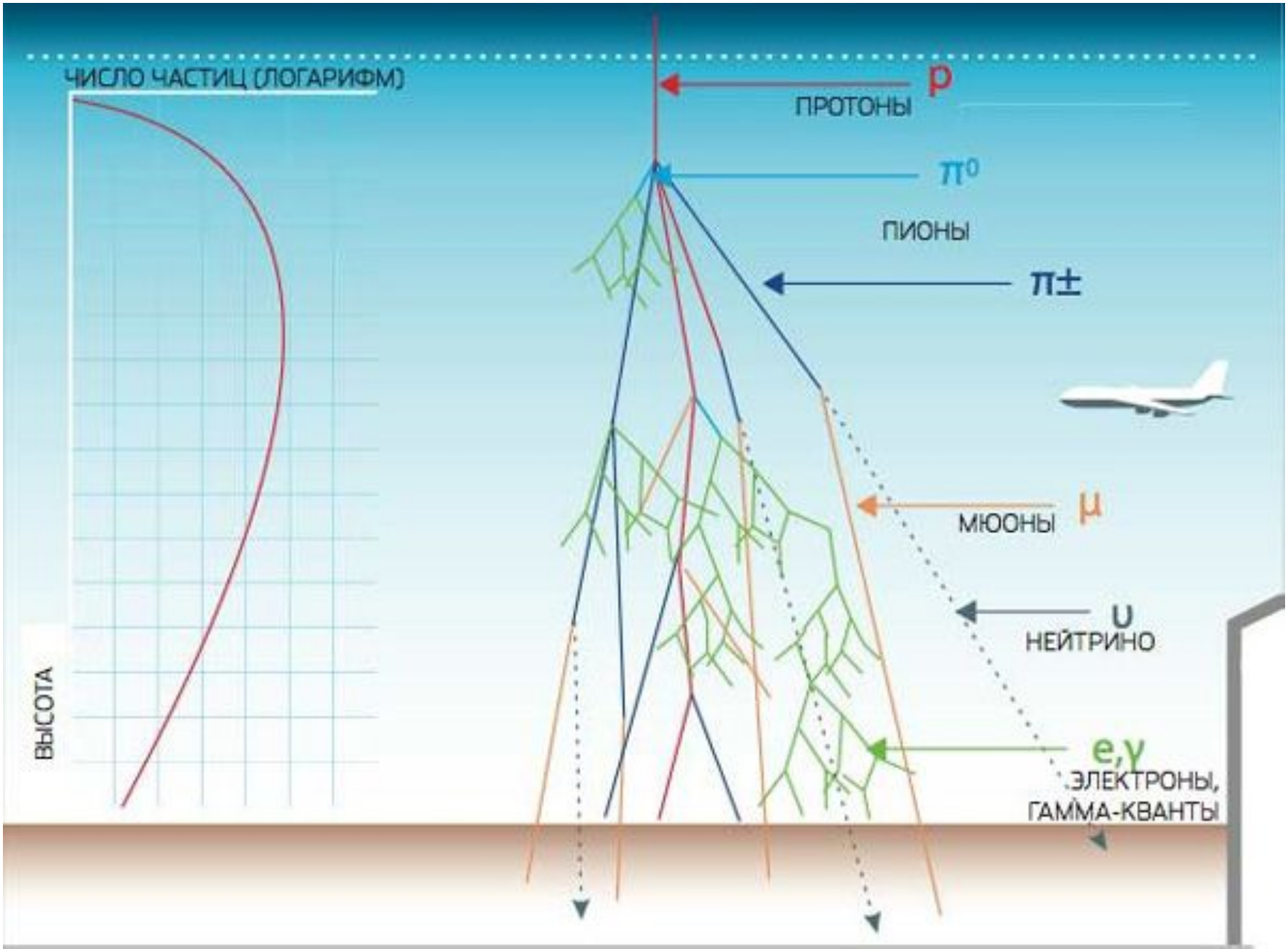
Структура радиационных поясов Земли (сечение соответствует полуденному меридиану)

1. Внутренний пояс. Протоны высоких энергий и электроны.
2. Пояс протонов малых энергий до 10 МэВ.
3. Внешний пояс. Электроны с энергией до 100 кэВ.
4. Зона квазизахвата.

Атмосферное происхождение элементарных частиц.
Каскадное рождение частиц

1. **При столкновении космических частиц с атомами газов атмосферы** запускаются ветвящиеся цепочки ядерных реакций **образуются вторичные продукты.**
2. **Протоны с энергией в десятки и сотни ТэВ** отдают энергию при столкновении с другими частицами, энергия рассеиваются, вызывает ионизацию в результате которого **рождается следующее поколение частиц.**

Каскадное рождение частиц



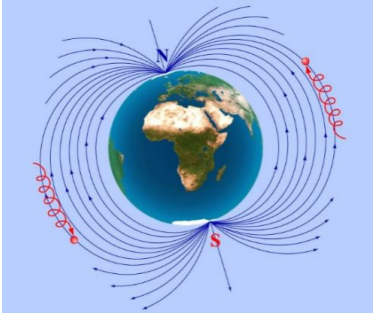
Каскадное рождение частиц

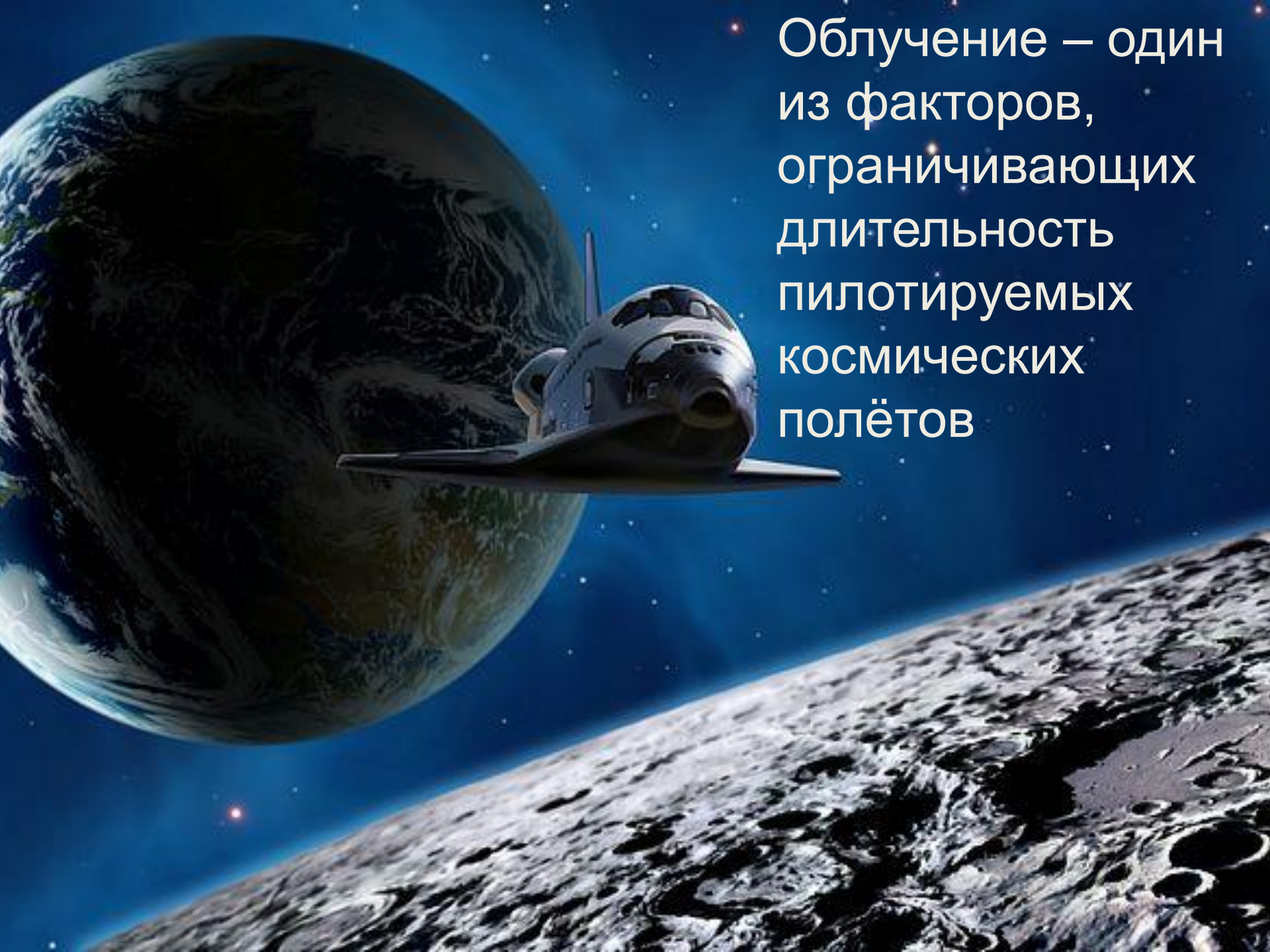
Установленный в 2011 году на МКС детектор AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) для изучения космических лучей за 14 месяцев работы зарегистрировал 18 млрд частиц.

Это больше, чем число частиц, обнаруженных всеми наземными детекторами за сто лет.

ИНТЕНСИВНОСТЬ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЕ ЗАВИСИТ ОТ:

- ***Солнечной активности*** (солнечные вспышки), соответственно больше частиц и их энергия
- ***Географического положения*** (наиболее интенсивно на Северном и Южном полюсах, наименее - на экваторе)
- ***Высоты над уровнем моря*** (наиболее существенно влияние). Чем выше, тем больше частиц





Облучение – один из факторов, ограничивающих длительность пилотируемых космических полётов

Место пребывания	Доза за определенный отрезок времени		
	час	месяц	год
Средние широты на уровне моря	0,04	2,3	28
Горы на высоте 1,5-2 км	0,06-0,08	3,5-4,6	43-56
Реактивный самолет (высота 10 км)	0,4		

Механизм образования космогенных радионуклидов

Космическое излучение вызывает рождение **космогенных радионуклидов (КРН).** КРН образуются под действием протонов и нейтронов в атмосфере на химические элементы воздуха: кислород и азот.

$$^{16}O(n,{}^{3}H) \longrightarrow {}^{14}N$$

$$^{14}N(n, p) \longrightarrow {}^{14}C$$

$$^{14}N(n,{}^{3}H) \longrightarrow {}^{12}C$$

Радиоактивные изотопы стабильных макроэлементов (H, C, P, S) легко включаются в биологический цикл

Космогенных радионуклидов на сегодня насчитывается **около 20**.

Наиболее значительными из них являются изотоп водорода – **^{3}H (тритий) и углерода-^{14}C**.

Природный УГЛЕРОД ^{14}C

$^{14}N(n, p) \rightarrow {}^{14}C$

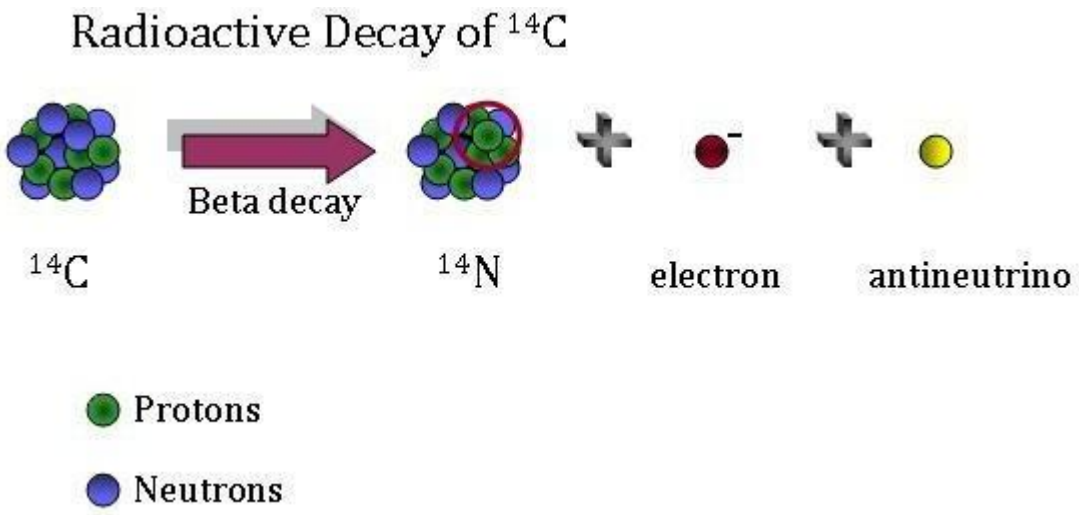
в верхних слоях тропосферы и стратосфере

β-излучатель

$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + \beta + \gamma$

Период полураспада 5730 лет

Доля в смеси природных изотопов $1{,}8 \cdot 10^{-10}$ %



Фоновое содержание для европейской части России

В поверхностной воде содержание ^{14}C для разных территорий меняется

от 0,5 до 4 Бк/л,

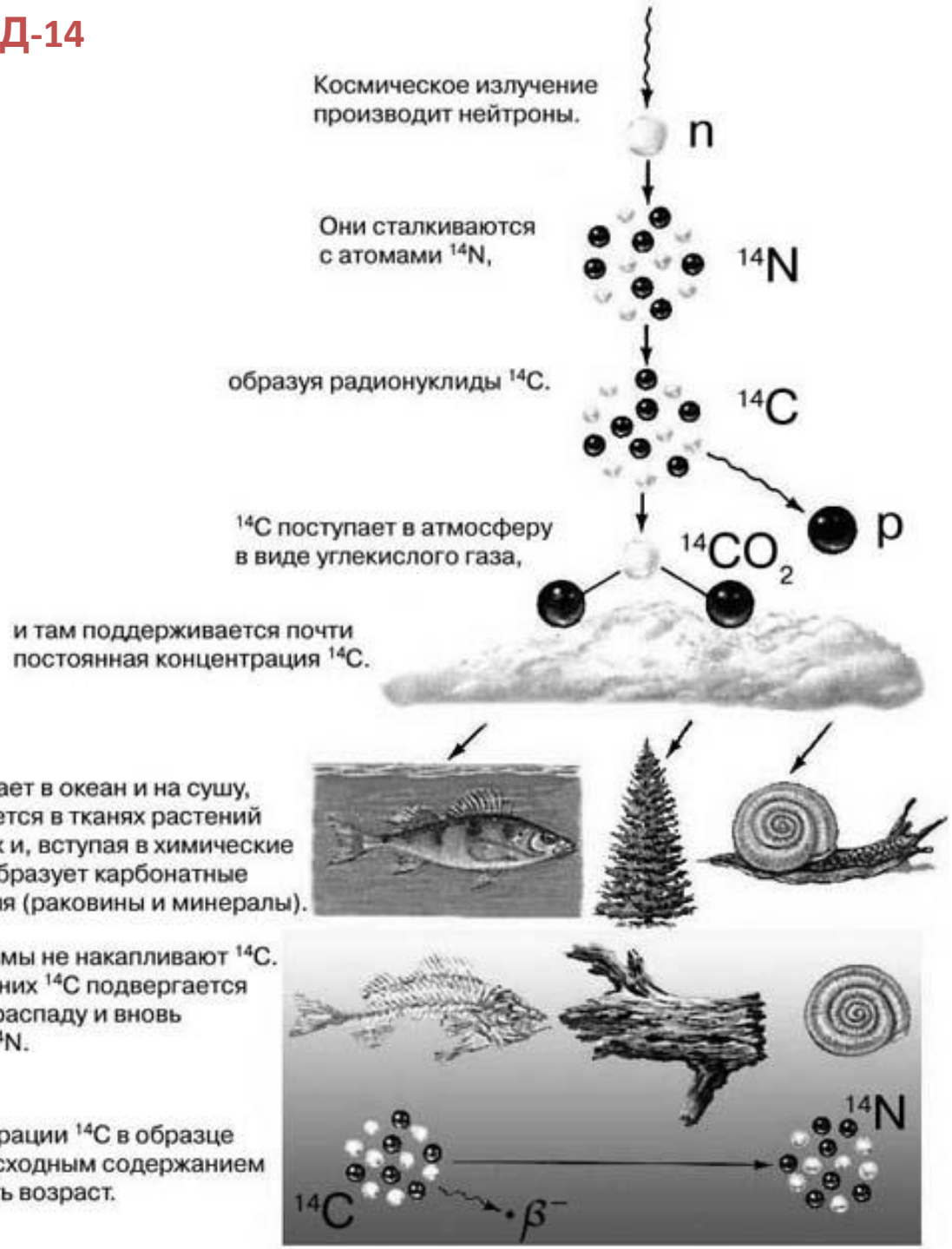
В атмосферном воздухе содержание ^{14}C

от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $50 \cdot 10^{-3}$ Бк/м^3

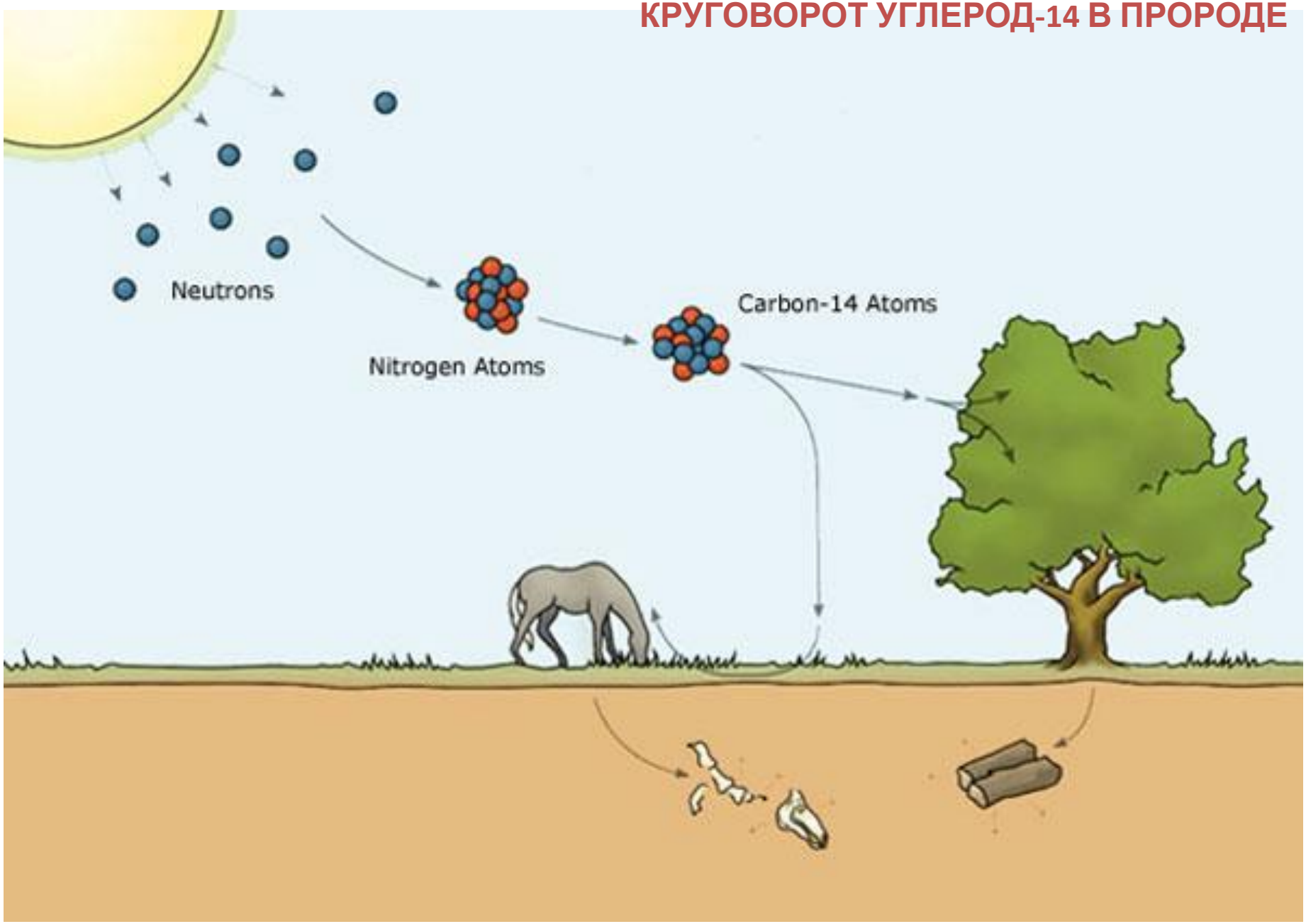
- Взрослый человек потребляет с пищей 95 кг углерода в год при средней активности на единицу массы ^{14}C 230 Бк/кг.
- Суммарный вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную эффективную дозу составляет около 15 мкЗв/год.

Среднее годовое поступление космогенных радионуклидов в организм человека		
Радионуклид	Поступление, Бк/год	Годовая эффективная доза, мкЗв
^{3}H	250	0.004
^{7}Be	50	0.002
^{14}C	20 000	12
^{22}Na	50	0.15

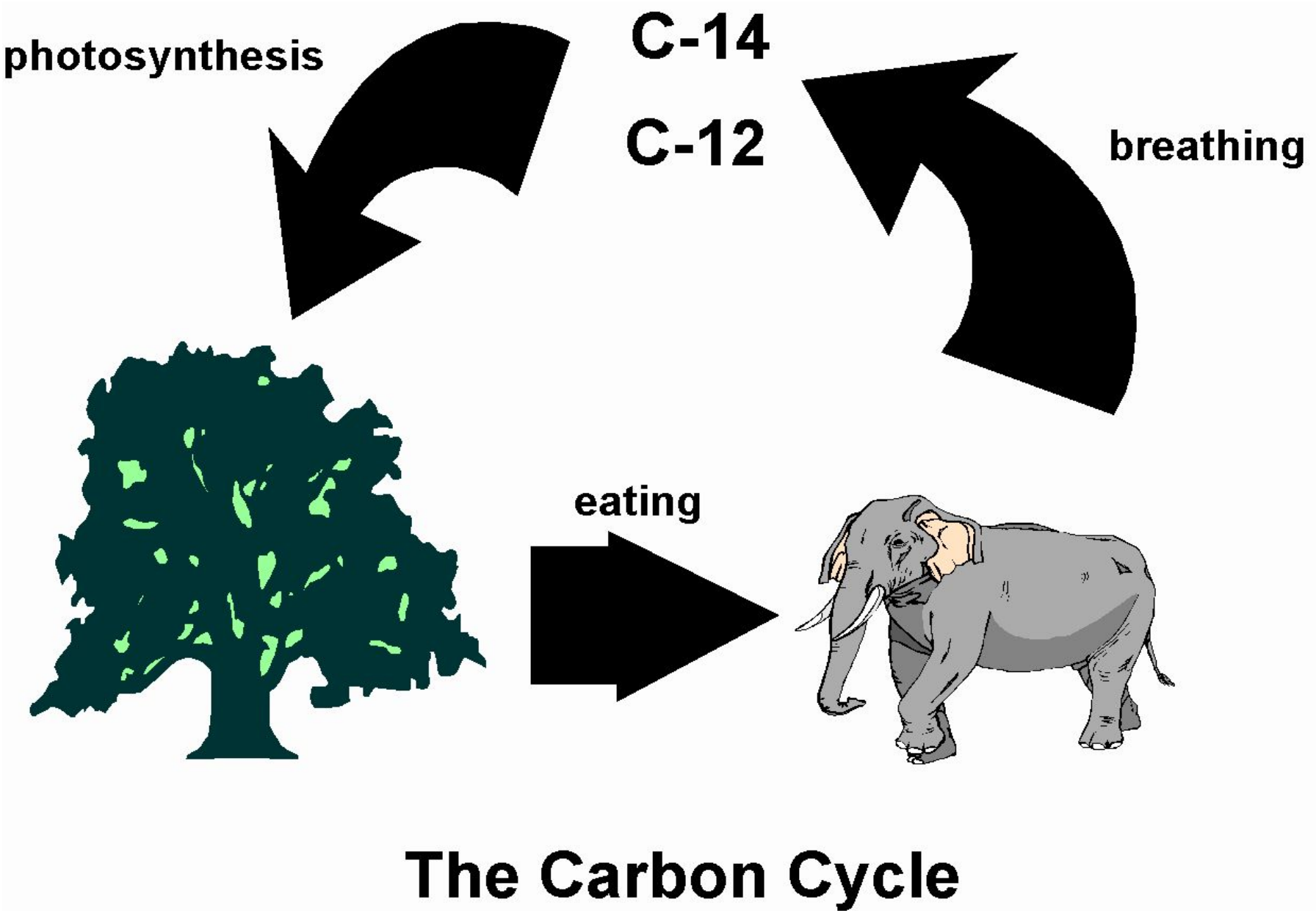
КРУГОВОРОТ УГЛЕРОД-14 В ПРИРОДЕ



КРУГОВОРОТ УГЛЕРОД-14 В ПРОРОДЕ



КРУГОВОРОТ УГЛЕРОД-14 В ПРИРОДЕ



РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ

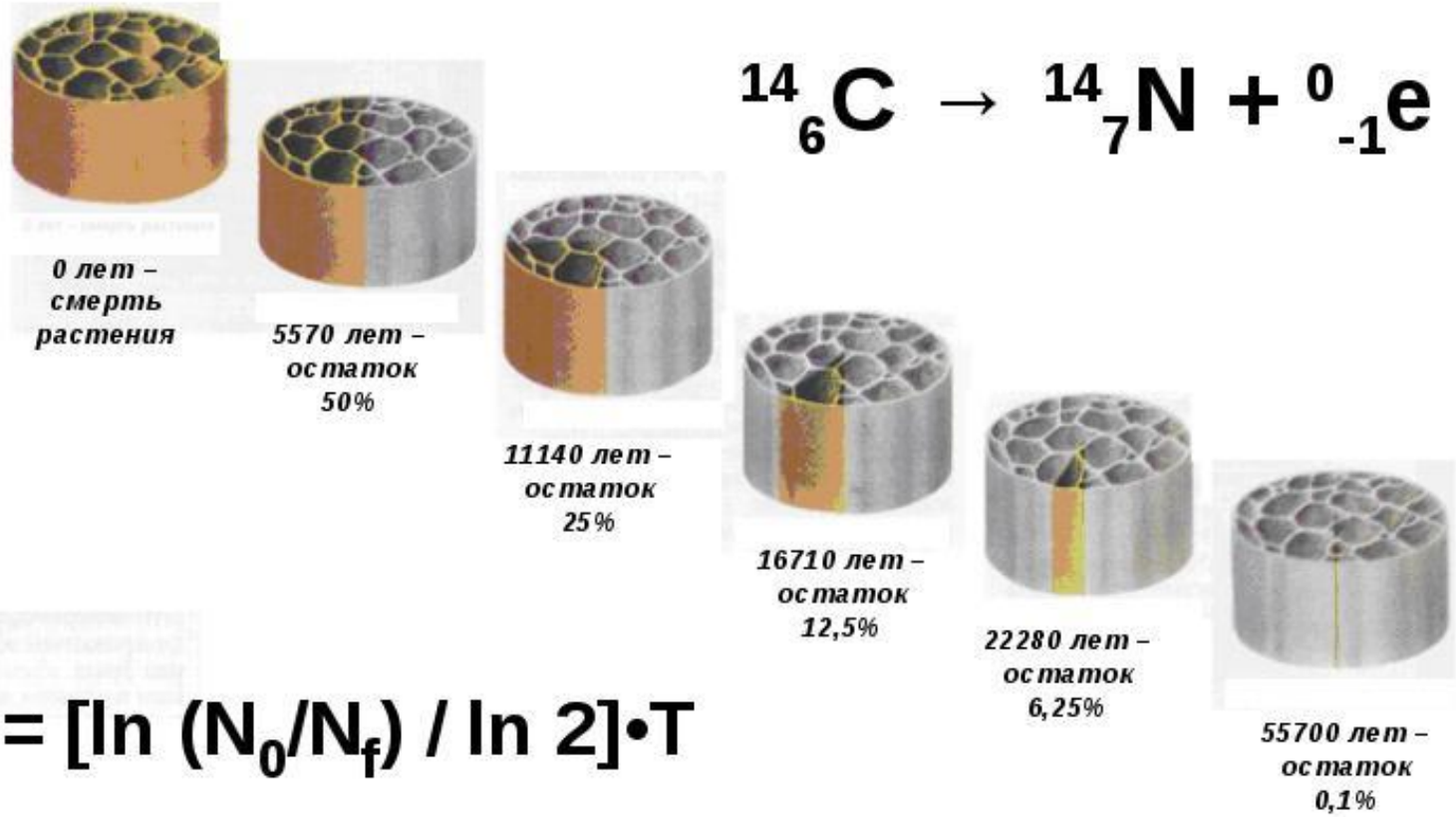
Радиоуглеродное датирование - метод датирования органических материалов путем измерения содержания радиоактивного изотопа углерода ^{14}C .

Метод радиоуглеродного датирования был предложен *У. Либби* (1950).

Самые давние артефакты были датированы ***70 000 лет.***

Разложение радиоактивного углерода

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$$



$$t = [\ln (N_0/N_f) / \ln 2] \cdot T$$

Изотопы, используемые для определения абсолютного возраста

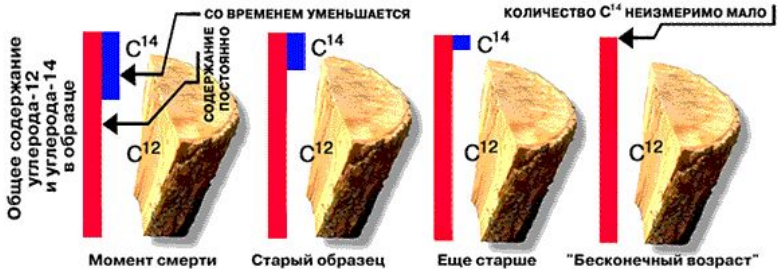
Материнский изотоп	Конечный продукт	Период полураспада, млрд лет
^{147}Sm	$^{143}Nd + He$	106,00
^{238}U	$^{206}Pb + {}^{8}He$	4,46
^{235}U	$^{208}Pb + {}^{7}He$	0,70
^{232}Th	$^{208}Pb + {}^{6}He$	14,00
^{87}Rb	^{87}Sr	48,80
^{40}K	$^{40}Ar + {}^{40}Ca$	1,30
^{14}C	^{14}N	5730 лет

Радиоуглеродный метод

физический метод датирования палеонтологических остатков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа углерода ^{14}C относительно содержания его в атмосфере.

Предложен Уиллардом Либби в 1946 – 1949 годах

Период полураспада изотопа углерода ^{14}C:
T = 5360 лет.



ВОСПОЛЬЗУЕМСЯ ФОРМУЛАМИ:

$$p(t) = 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

p(t) – доля радионуклида (^{14}C, ^{40}K, ^{40}Ar)

t – продолжительность распада (возраст палеонтологических остатков, горных пород)

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

Радиоуглеродный метод:

$$\frac{T}{\ln 2} = \frac{5360}{\ln 2} = \frac{5360}{0{,}693} = 7734{,}5$$

t = - ln p(t) · 7734,5 лет

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ:

Радиоуглеродный метод:

Образец кости мамонта содержит 0,20 изотопа ^{14}C от исходного количества. Определить возраст данного образца.

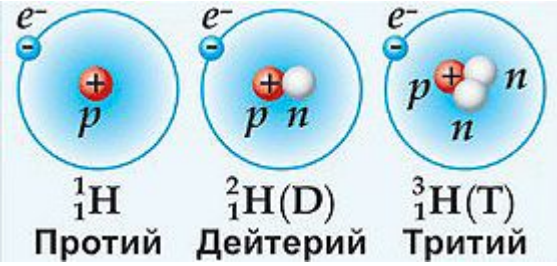
Решение:

$t = - \ln p(t) \cdot 7734,5$

$t = - \ln 0,20 \bullet 7734,5 = 1,609 \bullet 7734,5 = 12448$ лет

ТРИТИЙ

- Радиоактивный изотоп водорода
- В смеси изотопов водорода обнаруживаются молекулы



H_2, D_2, T_2, HD, DT, HT

- Чистый бета-излучатель $^3_1\mathrm{H} \rightarrow {}^3_2\mathrm{He} + \bar{\mathrm{e}}$
- Период полураспада 12,3 года
- Средняя энергия бета-излучения 5,8 кэВ

ТРИТИЙ, ^{3}H

- **Тритий,** являясь изотопом водорода, химически ведет себя также как водород, и поэтому способен замещать его во всех соединениях с кислородом, серой, азотом, легко проникая в любую клетку
- **Тритиевая единица** — концентрация в один атом ***^{3}H*** на ***10^{18} атомов водорода*** — соответствует радиоактивности около ***$3{,}2 \cdot 10^{3}$ мккюри/мл*** (***$1{,}2 \cdot 10^{11}$ Бк/л***)

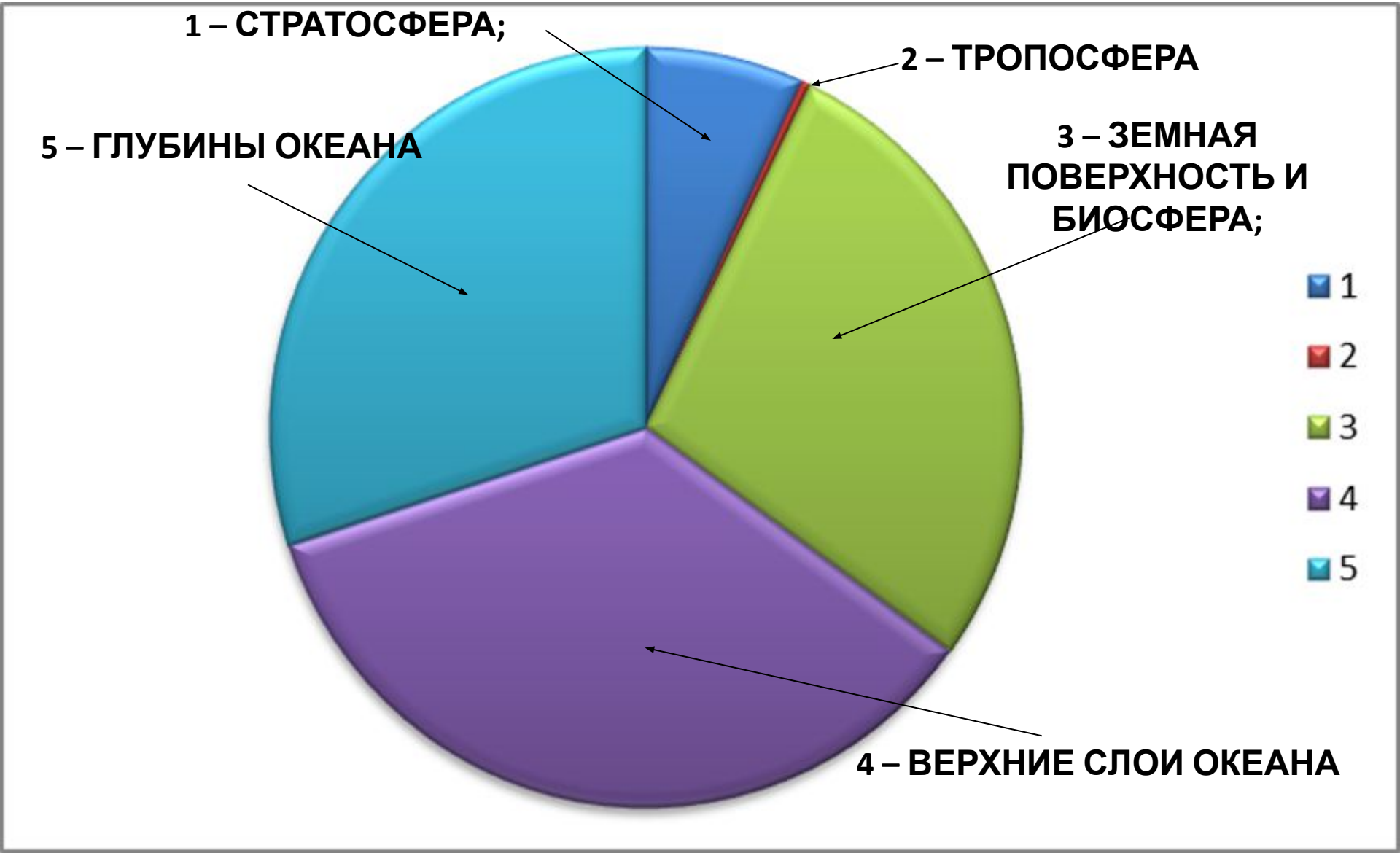
ПРИРОДНЫЙ и ТЕХНОГЕННЫЙ ТРИТИЙ

В результате термоядерных испытаний начиная с 1952 г. содержание ^3H в атмосферных осадках и поверхностных водах сильно увеличилось.

ПРИРОДНЫЙ ТРИТИЙ

- Природный тритий образуется в ***атмосфере, литосфере и гидросфере.***
- Основным источником природного трития является ***атмосфера***, где он образуется в результате взаимодействия протонов и нейтронов космического излучения с водородом, кислородом и аргоном.
- **Тритий** может образовываться на солнце во время солнечных вспышек и на других звездах.

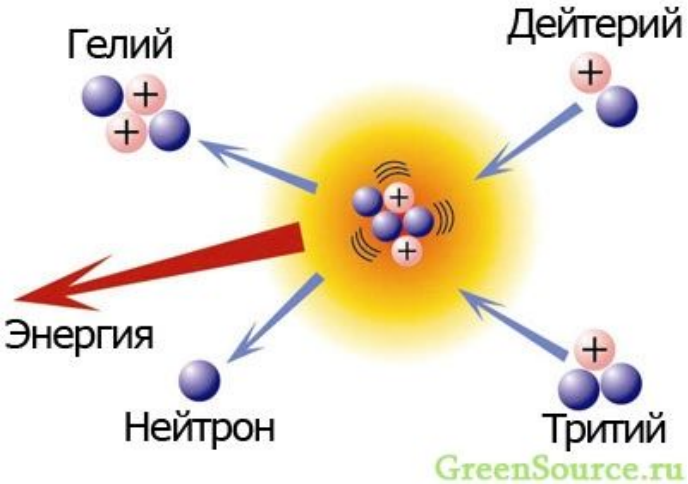
СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



ТЕХНОГЕННЫЙ ТРИТИЙ

- Наземные термоядерные взрывы.
- Пик 1954–1958 и 1961–1962 гг.

80% в северном полушарии
20% в южном полушарии



- Ядерные реакторы
- Заводы по регенерации ядерного топлива

Техногенный тритий может содержаться в: тритиевой воде HTO, тритиевом водороде HT и тритиевом метане CH_3T

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИТИЯ

- Для получения меченых образцов
- Для изготовления тритиевых мишеней
- Как индикаторы водорода
- Для идентификации продуктов радиолиза
- В клинической практике
- В гидрогеологии для изучения распределения грунтовых вод

Облучение лития – промышленный способ получения трития

$$^{6}_{3}Li + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{3}_{1}H$$

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ

- Опасность облучения газообразным тритием в 1000 раз меньше, чем опасность облучения **тритийсодержащей водой.**
- Низкая растворимость трития в тканях и крови по сравнению с воздухом приводит к тому, что легкие начинают играть роль очень эффективных фильтров.
- Поэтому сами **лёгкие и дыхательные пути** следует рассматривать как критические органы, получающие максимальную дозу облучения.

Земная радиация

- Земная радиация была открыта более 100 лет назад.
- В основном ответственность за земную естественную радиацию несут три семейства радиоактивных элементов – **уран, торий и актиний**. Эти элементы нестабильные и в результате физических превращений, переход в стабильное состояние сопровождается выделением энергии **ионизирующим излучением**.
- Главным источниками земной радиации являются радиоактивные элементы, **содержащиеся в горных породах, точнее в гранитных и вулканических образованиях.**

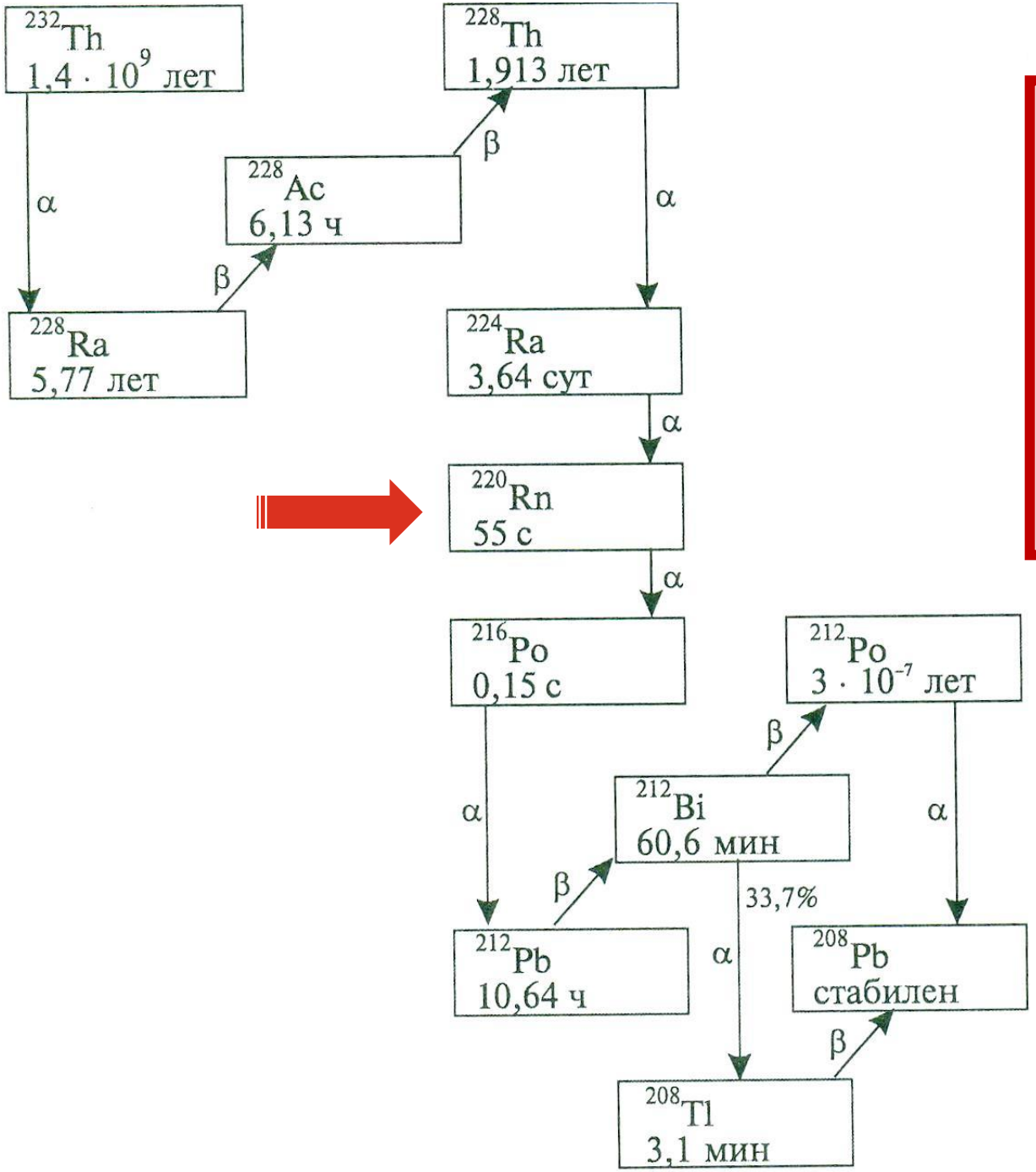
ПРИРОДНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ

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

- Средняя концентрация изотопов **калия-40**, **радия-226**, **тория-232** – колеблется от 10^2 до 10^3 Бк/кг.
- Уровни земной радиации неодинаковы и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. В местах проживания основной массы населения мощность эквивалентной дозы облучения в среднем составляет **0,3-0,6 микрозиверта в год**.

Рис. 2

В трех радиоактивных семействах: урана (^{238}U), тория (^{232}Th) и актиния (^{235}Ac) в процессах радиоактивного распада постоянно образуется 40 радиоактивных изотопов

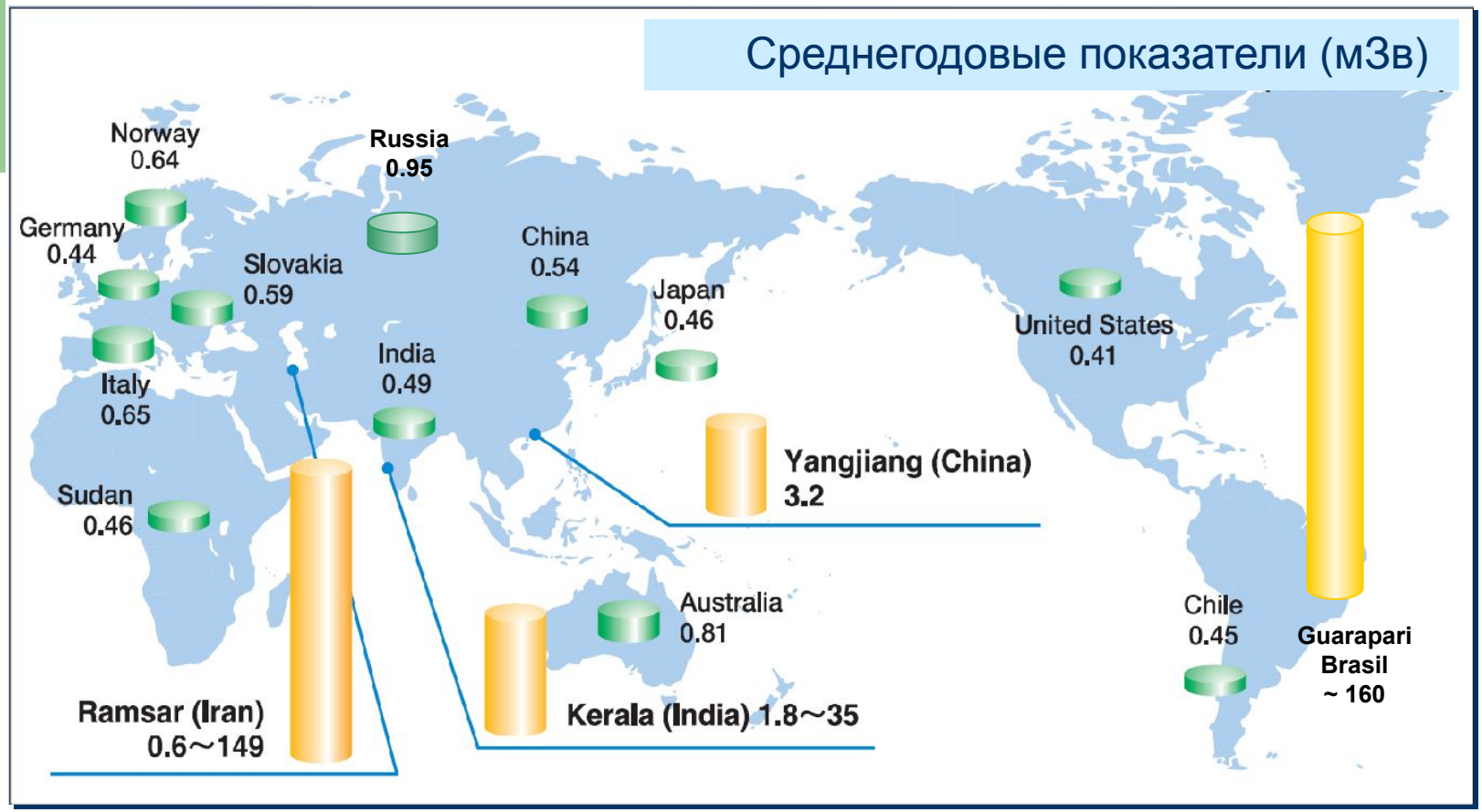


Радиоактивный ряд тория-232

Торий-232
100%
α-излучатель

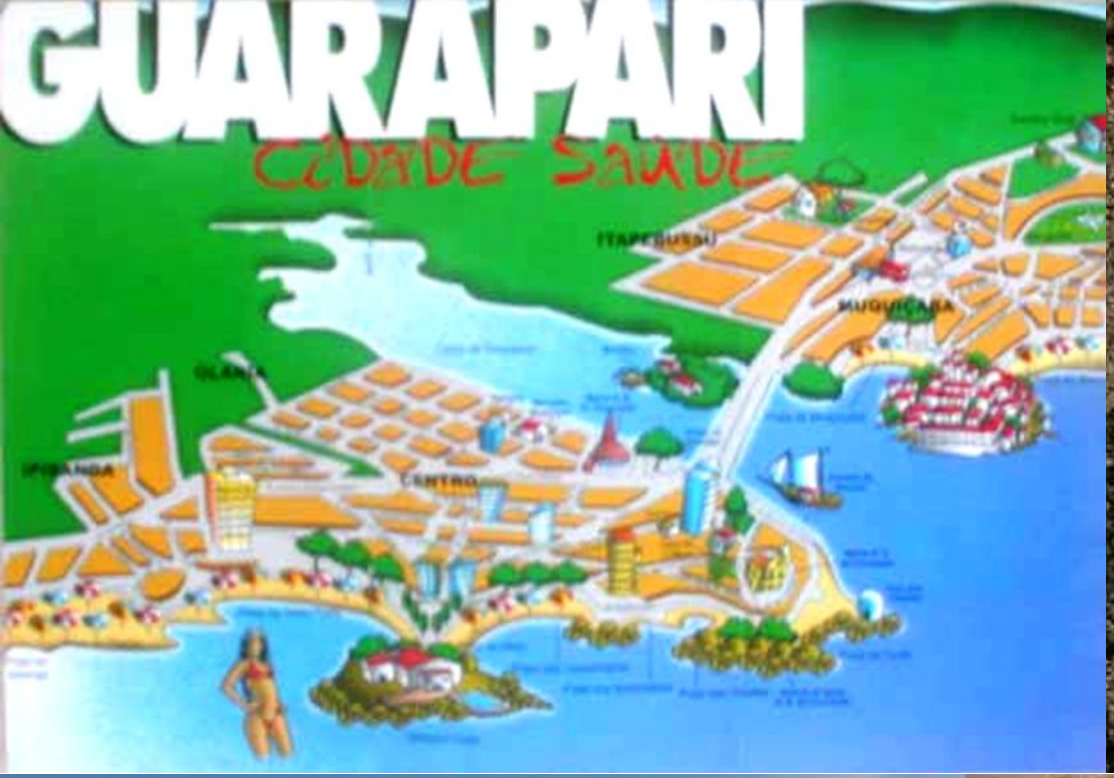
http://www.ibrae.ac.ru/contents/142/

РАДИАЦИОННЫЙ ФОН В МИРЕ



Фоновое содержание природных радионуклидов в поверхностной воде в Европейской части России

Радионуклиды	Уровень вмешательства, Бк/кг	*[2]Реки, min-max, Бк/кг
^{210}Po	0,11	0,005 - 1,85
^{137}Cs	11	0,07 - 2,0
^{90}Sr	4,9	0,004 - 0,12
^{3}H	7600	1,8 – 4,0
^{14}C	240	0,001 - 0,01
^{239}Pu	0,55	1×10^{-5} - 3×10^{-3}
$\sum\beta$	1	0,0001 - 0,001
$\sum\alpha$	0,2	0,006-0,009


GUARAPARI
CIDADE SAÚDE
ITAPEBUSSU
MUQUICABA
OLARIA
IPIRANGA
CENTRO
PARK

ФЕНОМЕН ОКЛО

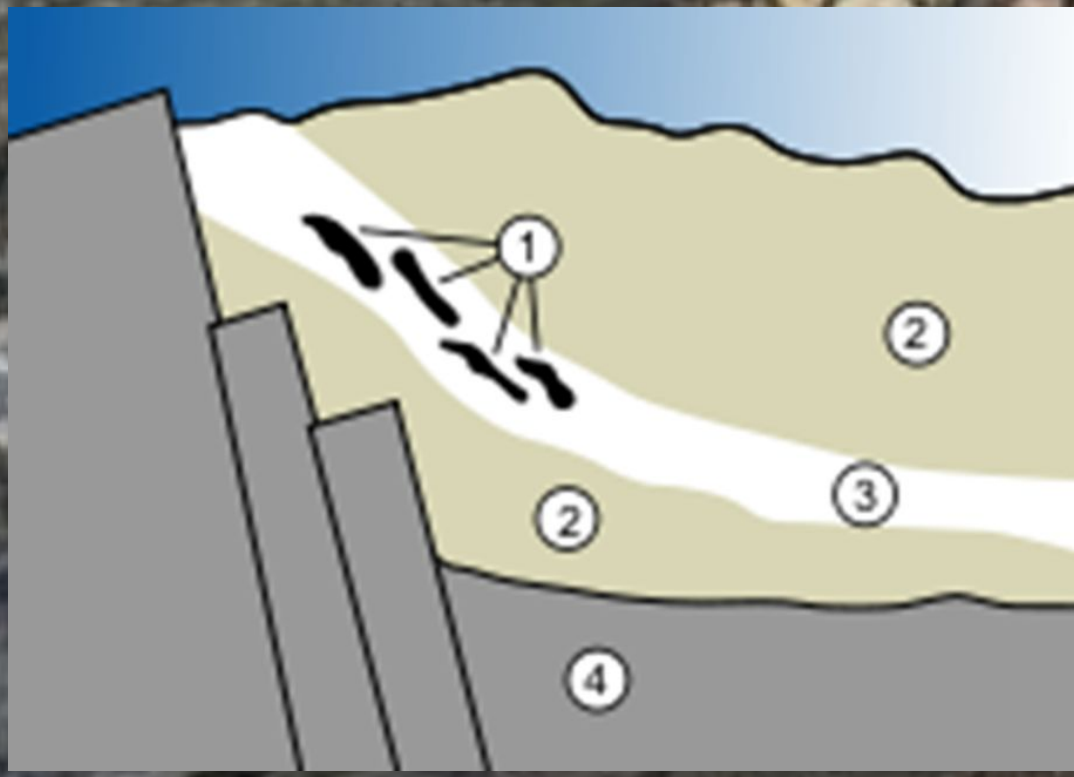
В мае 1972 года французские ученые в одной из лабораторий Комиссариата по атомной энергетике проводили обычный анализ образцов урановой руды. Тогда еще никто из них не знал, что незначительное отклонение в содержании одного из изотопов, обнаруженное в ходе этого исследования, приведет к открытию едва ли не самого фантастического феномена за всю историю реакторной физики — **природного ядерного реактора.**

Урановое месторождение Окло — единственное известное место, где существовал природный ядерный реактор. Комбинация физических условий в этом месторождении (в частности, наличие воды как замедлителя нейтронов) была уникальной.

Сегодня естественных реакторов не существует, так как относительная плотность способного распадаться урана уменьшилась ниже предела, необходимого для поддержания ядерной реакции. Поскольку уран-235 имеет период полураспада лишь 0,7 млрд. лет (значительно короче, чем уран-238), его современная распространенность составляет всего 0,72%, а этого недостаточно для работы реактора с грунтовыми водами в роли замедлителя нейтронов.

2 млрд. лет назад
25 кВт/ч
15000 МВт энергии
6 т урана

1. Зоны деления (линзы урана)
2. Песчаник
3. Слой урановой руды
4. Гранит



КАЛИЙ-40

- **калий-39 ; калий-40; калий -41**

  93,08 : 0,0119 : 6,91

  период полураспада $1{,}3 \cdot 10^9$ лет

  - $^{40}_{19}\mathrm{K} \rightarrow {}^{40}_{20}Ca + \bar{e} + \tilde{\nu}$ (89,28%)
  - $^{40}_{19}K + \bar{e} \rightarrow {}^{40}_{18}Ar + \tilde{\nu}$ (10,72%)

β-, γ-излучатель

КАЛИЙ-АРГОНОВОЕ ДАТИРОВАНИЕ

Метод может использоваться в том случае, если в данном районе имеются вулканические породы.

Наиболее часто данный метод применяется для датирования пород, возраст которых превышает 1 млн. лет; наиболее молодые даты, полученные с его помощью, составляют около 400 000 лет

Калий – аргоновый метод (*аргоновый метод*)

радиометрический физический метод датирования палеонтологических остатков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа калия ^{40}K и изотопа аргона ^{40}Ar. Изотоп ^{40}K, который составляет 0,012 % природного калия

Предложен в 1948 году Эрихом Карловичем Герлингом (СССР) и Альфредом Ниром (США)

Период полураспада изотопа калия ^{40}K:
T = 300 млн лет

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

Калий – аргоновый метод:

$$\frac{T}{\ln 2} = \frac{300}{\ln 2} = \frac{300}{0{,}693} = 432{,}9$$

$t = -\ln p(t) \cdot 432{,}9$ млн лет

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ:

Калий-аргоновый метод:

Палеонтологические отпечатки листьев древовидного папоротника содержат 0,50 изотопа калия ^{40}K от исходного количества. Определить возраст данного образца.

Решение:

$t = - \ln p(t) \cdot 432{,}9$ млн лет

$t = - \ln 0{,}50 \bullet 432{,}9$ млн лет $= 0{,}6931 \bullet 432{,}9$ млн лет $= 300$ млн лет

Трогонтерий и Саблезубый тигр (Хопровские отложения) возраст 2,7-1,7 млн лет

КАЛИЙ-40 В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

В 1 г природного калия каждую секунду происходит 32 распада ядер калия-40.

За счет калия-40 в организме человека весом 70 кг ежесекундно происходит около 4000 радиоактивных распадов

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

Калий концентрируется в мышечной ткани, поэтому мужчины немного радиоактивнее женщин

Содержание КАЛИЙ-40 в пищевых продуктах

КАЛИЙ-40 попадает в организм при съедании бананов, картофеля, бобовых культур, орехов, семечек

- **1 банан = 20 Бк калий-40**
- **1 банан в день = 36 мкЗв/год**

Стакан молока содержит меньше КАЛИЙ-40 , чем в 1 банан

Радиационный природный фон

В разных частях планеты природный радиационный фон имеет разные значения, но в среднем дозовая нагрузка составляет

2 мЗв/год.

На открытых участках территории на уровне 0,1 м от поверхности земли фоновое значение максимальной эквивалентной дозы гамма излучения (МЭД ГИ) находится в интервале

0,15 – 0,3 мкЗв/ч и составляет примерно 0,15 мкЗв/ч.

При превышении этого показателя, необходимо проводить более детальное измерение удельной активности природных и техногенных

Суммарная доза от всех природных (включая нерегулируемые) источников излучения

- 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.

Суммарная доза от всех природных (включая нерегулируемые) источников излучения

- Согласно **п. 5.3.1. НРБ-99/2009** допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием всех природных источников излучения, для населения не устанавливается.
- Снижение облучения достигается путем **установления системы ограничений** на облучение населения отдельными (регулируемыми) **природными источниками излучения**.
- Суммарная доза от всех природных (включая нерегулируемые) источников излучения должна быть **на уровне 2 мЗв/год**.

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; солености и гидрогеологических условий формирования поверхностных и подземных вод; условий формирования атмосферных потоков и т.д.**

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

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

Содержание природных радионуклидов в почве

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

от 300 до 800 - ^{40}K,

от 20 до 30 - ^{226}Ra

от 30 до 40 - ^{232}Th.

При распаде нуклидов радия и тория из почвы образуются газообразные радионуклиды – инертный газы **радон**

Суммарная доза от инертного газа радон

Радон, который формируют примерно 50% годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения населения от природных источников, которая в среднем составляет

0,3 до 0,6 мЗв/год.

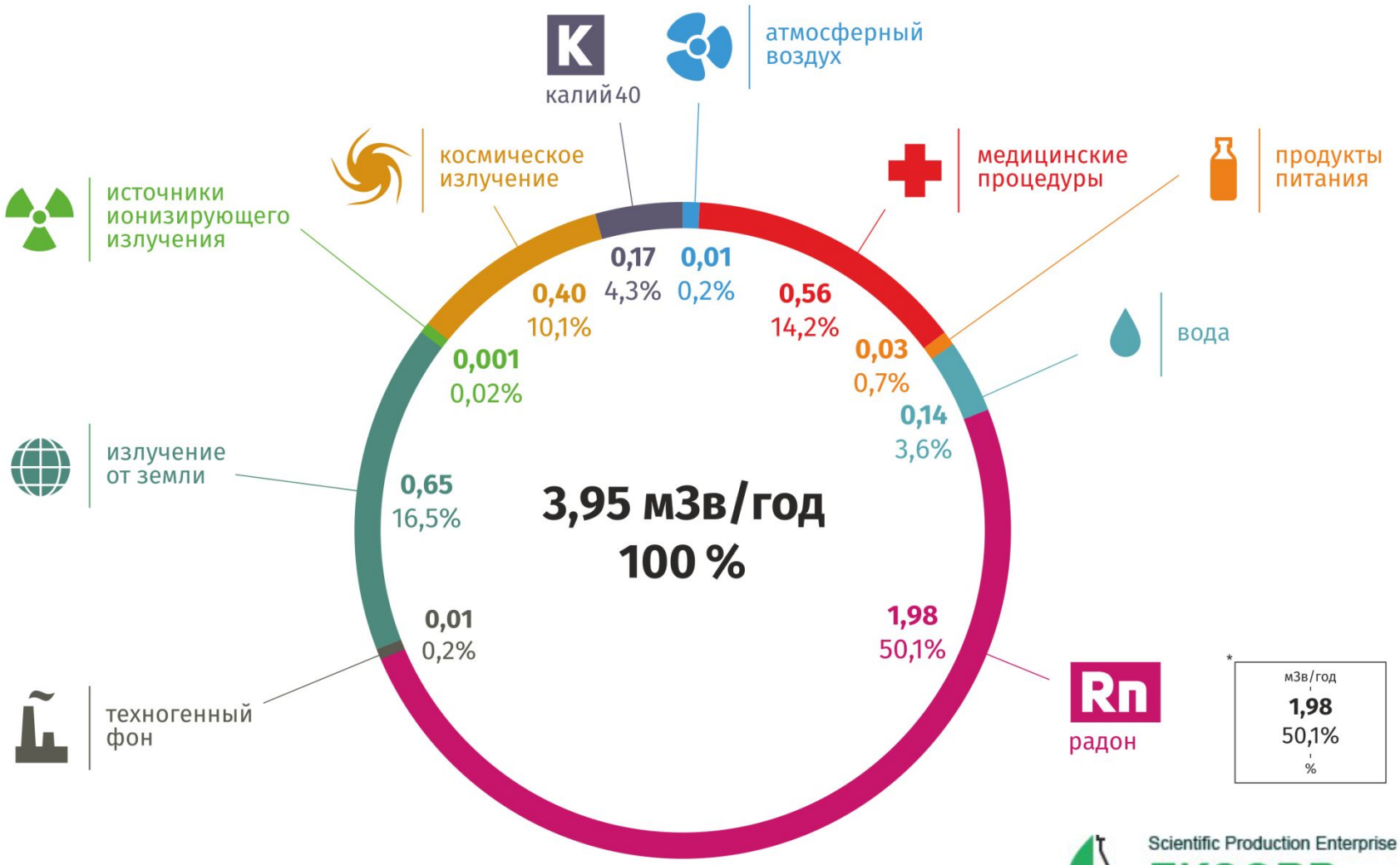
Концентрация радона в воздухе существенно зависит от места нахождения территории и меняется от 0,03 до 8 – 10 Бк/м3 приземном слое атмосферы европейской части России.

СРЕДНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ РАДОНА, мЗв/год
Низкие 0–1,5
Высокие 2,5–5
Средние 1,5–2,5
Очень высокие свыше 5
МОСКВА

Как радон попадает в дом
Душевая вода
Окна
Почва
Каменная порода
Радон в почве
Места крепления арматуры
Трещины
Радон в колодезной воде
Канализация
Разлом породы
Уровень воды
Радон в грунтовой воде

Радон

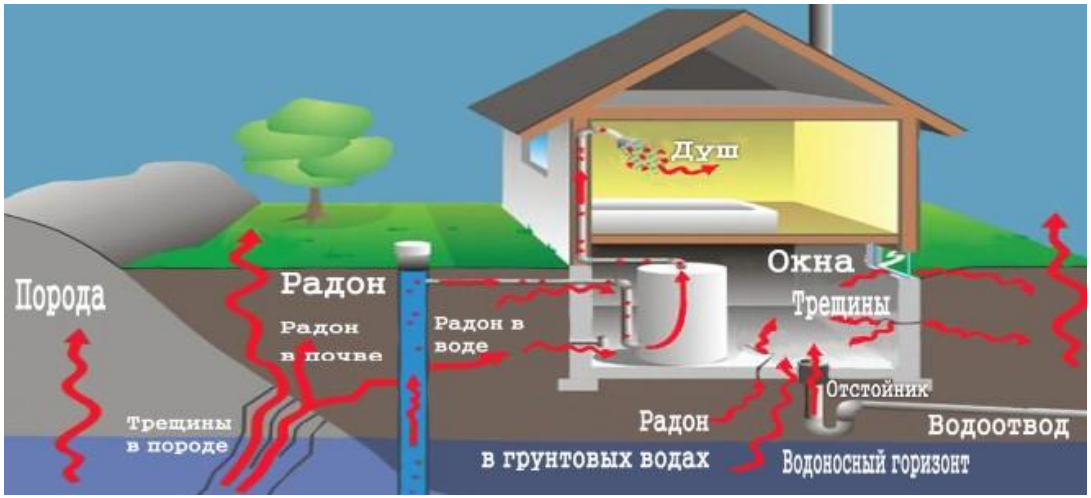
ИСТОЧНИКИ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ*



Scientific Production Enterprise
EKSORB Ltd

- **Радон** в 7,5 раз тяжелее воздуха и является α-радиоактивным с периодом полураспада 3,8 суток.
- После α-распада ядро радона превращается в **ядро полония.**
- Это также α-радиоактивный изотоп с периодом распада 3 минуты и наличием дополнительного электрического заряда.
- Следующие элементы этой цепочки распадов имеют такие же характеристики. **Заканчивается ряд стабильным изотопом свинца.**
- Концентрация радона в различных точках земного шара неодинакова, например: **во Франции-9,3 Бк/м. куб., Англии-3 Бк/м.куб.**

Радон может проникать сквозь трещины в фундаменте, через пол с поверхности Земли и накапливается в основном на нижних этажах жилых помещений, создавая там повышенную радиацию. **Природный газ также является источником радона**. Другим источником радоновой радиации могут быть **строительные материалы** – гранит, пемза, глинозем, фосфогипс.



- Вода, используемая для бытовых и пищевых целей, обычно содержит мало радона, однако глубоко залегающие водяные пласты могут иметь повышенную его концентрацию.
- Высокая концентрация **радона** образуется в ванных комнатах, где **радон**, испаряясь из горячей воды при принятии душа или ванны, попадает в организм с вдыхаемым воздухом.
- В ванне концентрация радона **в 40 раз больше чем в жилой комнате, а в кухне только в 3 раза**.

Основными мероприятиями по устранению влияния радона, уменьшению его концентрации и снижению дозообразующего фактора являются:

1) заделывание швов, трещин в фундаментах зданий;
2) отказ от строительных материалов, содержащих радон;
3) кипячение воды для пищевых нужд, особенно из глубоких артезианских скважин и колодцев;
4) частое проветривание помещений на нижних этажах, ванных комнат.

Эквивалентная доза радона и его дочерних продуктов составляет в среднем около 1 м3в/год.

Фоновое содержание природных радионуклидов в атмосферном воздухе в Европейской части России

Радионуклиды	min-max, Бк/м^3
^{3}H	
^{14}C	$0,5\times10^{-3}$ до 50×10^{-3}
^{7}Be	10^{-3} - 10^{-4}
^{22}Na	10^{-3} - 10^{-4}

Содержание природных радионуклидов в морской воде

Содержание радионуклидов ^{3}**H** в морской воде выше, чем в пресной воде.

В морской воде преобладает ^{40}**K**, но также содержится и много других радионуклидов – ^{238}**U**, ^{226}**Ra**, ^{3}**H**, ^{14}**C**, ^{87}**Rb**, ^{22}**Na** и другие.

К-40 - 12–15 Бк/кг;

Трития - 12 – 40 Бк/кг

Фоновое содержание природных радионуклидов в подземной воде в Европейской части России

Часто содержатся изотопы радона Rn-222, содержание сильно меняется

от 10.E+3 до10.E+5 Бк/л

средняя удельная активность 24,0 Бк/л

Контроль содержания суммарной альфа- и бета-активности обязателен в подземных водах, используемых для питьевого водоснабжения

Часто встречаются случаи имеются превышения суммарной альфа- активности

Радиационно-гигиеническая оценка качества воды питьевых подземных источников водоснабжения Московского региона

Измеряемые параметры	Диапазон содержания радионуклидов в воде артезианских скважин, Бк/л			
	*3Подземные воды, min-max (по Бахур А.Е., АНРИ, 1996/97.-№2(8).-С. 32-39.)	Район расположения скважин на территории Московского региона		
		Север min – max	Центр min - max	Скважины сравнения min - max
^{238}U	0,006-0,06	<0,0006 - 0,06	<0,0006 - 0,08	<0,0006
^{234}U	0,008-0,09	<0,0006 - 0,07	<0,0006 - 0,12	<0,0006
^{226}Ra	0,01-0,07	0,02 - 0,39	<0,0002 - 0,12	<0,0002 - 0,036
^{222}Rn	10-30	3 - 30	2 - 8	1 - 11
^{210}Pb	-	<0,0003 - 0,020	0,0012 - 0,030	<0,0003 - 0,0008
^{210}Po	0,0004-0,015	<0,0006 - 0,018	<0,0006 - 0,03	<0,0006 - 0,0012
^{230}Th	0,003-0,135	<0,0006	<0,0006	<0,0006
$^{232+228}Th$	0,0002-1,80	<0,0006	<0,0006	<0,0006
^{228}Ra	0,02-0,10	<0,0004	<0,0004	<0,0004
^{137}Cs	-	<0,003	<0,003	<0,003
^{90}Sr	-	<0,002	<0,002	<0,002
A_{α}	0,04-0,36	0,01 - 0,37	0,09 - 0,29	-
A_{β}	1,2-4,2	0,07 - 0,56	0,22 - 0,48	-
*1Еэф, мЗв/год	-	0,006 - 0,10	0,001 - 0,07	<0,0006 - 0,009
*2E_{Rn}эф, мЗв/год	-	0,022 - 0,27	0,018 - 0,07	0,010 - 0,10

Содержание природных радионуклидов в почве

Содержание калия -40 в природных материалах, Бк/кг

Почва - 37 – 1100

Известняк - 30 – 100

Гранит - 1 – 925

Содержание радионуклидов в почве

Вели-чина	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				
	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	$A_{эфф}$
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

Содержание радионуклидов в почве зоны наблюдения РОО (московский регион)

Параметр исследования	Результаты исследования почв зоны наблюдения		Критерий оценки
	Среднее	σ	Региональный фон
^{137}Cs	9	6	9
^{40}K	558	114	560
^{232}Th	37	7	40
^{226}Ra	32	8	22
$A_{эфф}$	127	39	90

Содержание радионуклидов в зависимости от механического состава почв

Радионуклид	Удельная активность, Бк/кг		
	Супесь	Средний суглинок	Тяжелый суглинок
^{40}K	573±107	620±74	727±47
^{137}Cs	10±7	11±5	12±6
^{226}Ra	24±5	26±3	30±2
^{232}Th	31±6	33±4	40±3
$A_{эфф}$	115	124	147

Среднегодовая эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная природными радионуклидами

- **Среди радионуклидов, дающих наибольший вклад в мощность дозы внутреннего облучения:**
- На 1 месте стоят короткоживущие продукты распада **радона-222 (около 60 %).**
- Далее идут **калий-40 (13 %), радон -220 (13 %), и свинец -210 и полоний-210 (8 %).**
- Мощности доз, обусловленные космическим излучением и внешним облучением радионуклидами, примерно равны.

Среднегодовая эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная природными радионкуклидами

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