

**Курс «РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В
ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ»**

ЛЕКЦИЯ №4

**Естественные источники
ионизирующего излучения.**

1

**Москва
2024**

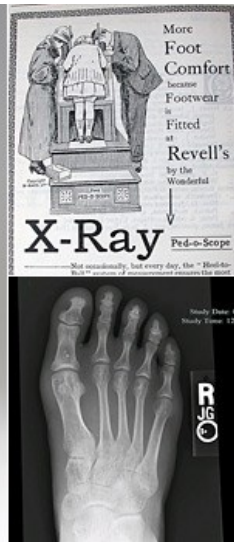
ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Естественные источники радиации
- Космическое излучение
- Радионуклиды
- Внешнее облучение от радионуклидов земного происхождения
- Внутреннее облучение от радионуклидов земного происхождения
- Суммарные дозы, создаваемые естественными источниками излучения

Это педоскоп – рентгеновский аппарат, который позволял увидеть, как сидит обувь на ноге.



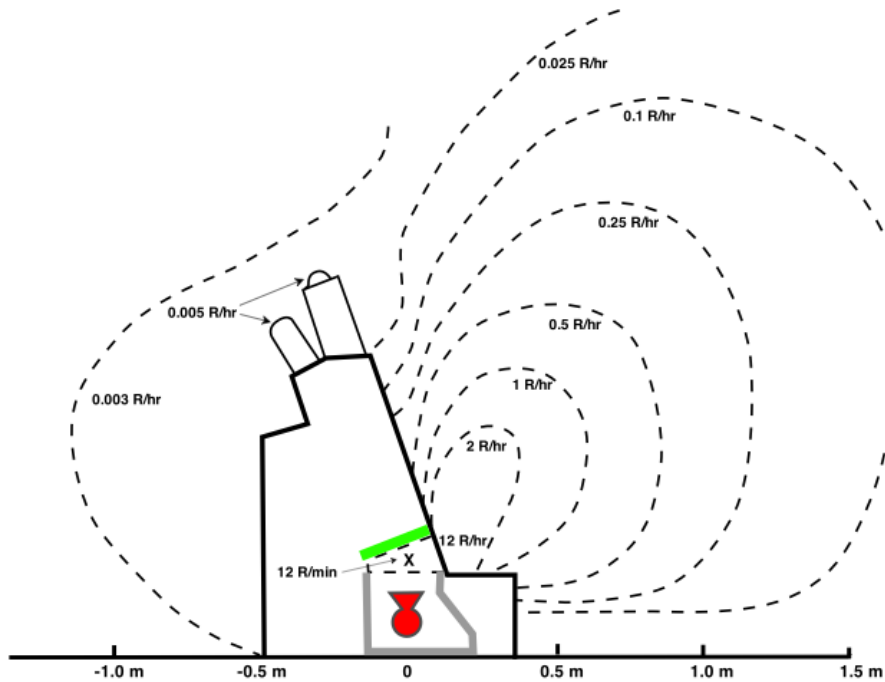
Сначала их делали для детей, которые не могут объяснить – хорошо ли сидит обувь, но потом им стали пользоваться все. Центральный видоискатель предназначался для самого ребёнка. Два видоискателя по бокам позволяли родителю и продавцу посмотреть, сколько места осталось в ботинке. В Америке их называли Shoe-Fitting Fluoroscope, в Англии — Pedoscope, в Германии – Schucoskor. Реклама обещала: «Будь перед вами продавец с двадцатилетним стажем, либо юнец, проработавший в магазине всего неделю, с педоскопом вам смогут подобрать именно вашу пару».



Педоскопы начали массово устанавливать в магазинах в США в двадцатых годах. Покупатели старались подбирать обувь, которой сноса не будет, а для этого было важно, чтобы ботинок сидел идеально.

В конце сороковых годов появилось множество исследований, которые доказывали, что педоскопы чрезвычайно вредны и их постепенно стали убирать из магазинов. Тем не менее, пик использования этих устройств пришёлся на пятидесятые годы прошлого века, когда в США было установлено 10 000 педоскопов.

Схема доз при работе аппарата из исследования (Bushong SC and West WD. Exposure from a Shoe-Fitting Fluoroscope. Health Physics 1970;18:575-576):



При таких дозах канцерогенностью дело не ограничивалось. Например, был зарегистрирован случай ампутации ноги у модели из-за радиационного ожога. Еще очень сильно страдали продавцы -- они по много раз за день получали ударные дозы радиации, поправляя обувь покупателей пока те использовали аппарат. Так, зарегистрирован случае дерматита кожи рук у одного из продавцов.

CERTIFICATE

SHOE-FITTING TEST DATA FOR _____

1. ANKLE ROLL GOOD FAIR POOR

2. WEIGHT DISTRIBUTION **3. X-RAY FITTING TEST**

40%
60%

RIGHT WAY WRONG WAY

WEIGHT DISTRIBUTION TEST

70%
30%

RIGHT WAY WRONG WAY

X-RAY TEST

LEFT RIGHT

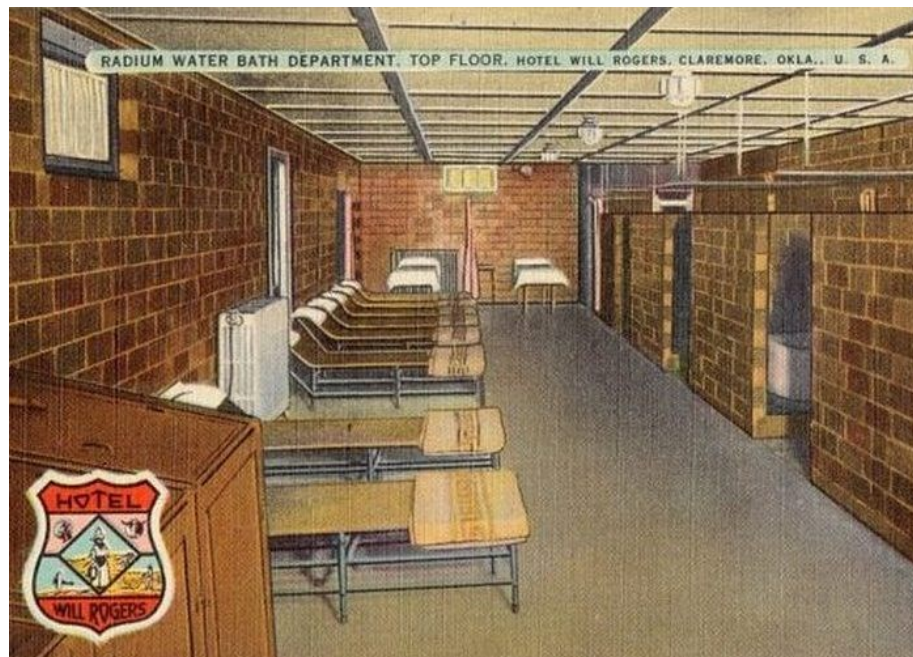
GOOD

FAIR

POOR

This scientific way of approaching the problem of poorly-fitted shoes eliminates guesswork. Now you can see for yourself!

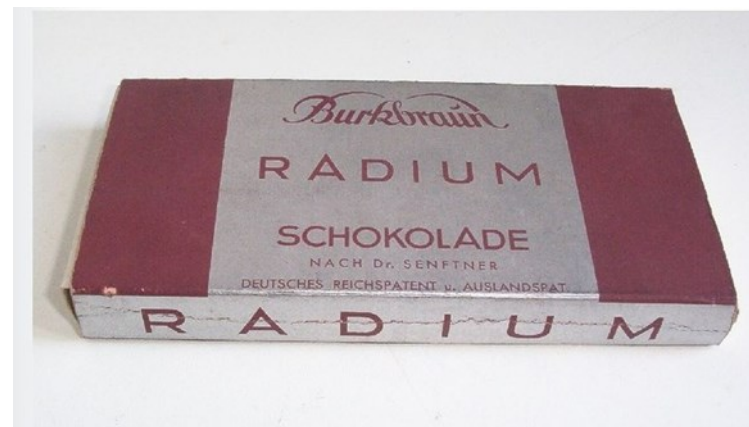
«РАДИЕВАЯ МАНИЯ»



Одним из таких продуктов был «Radithor» - энергетический напиток, который выпускался с 1918 по 1928 годы компанией Bailey Radium Laboratories из восточного Нью-Джерси. Уильям Бейли делал этот напиток, просто растворяя нелепые количества радия в воде. Некоторые негативные последствия радия были обнаружены еще в 1912 г., но тем не менее радиоактивный «энергетик» продолжал рекламироваться, как полностью безвредный. Более того, утверждалось, что он является мощным обезболивающим и лекарством от многих заболеваний и физических проблем. К счастью, число погибших от него было не очень большим, поскольку Radithor был слишком дорогим, чтобы его могли себе позволить большинство людей.

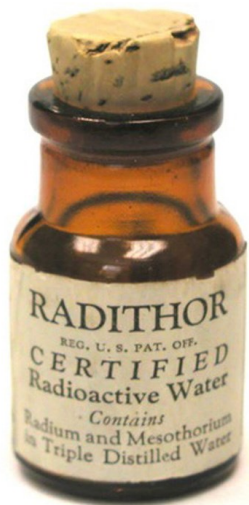
Источник: <https://novate.ru/blogs/080217/39989/>

РАДИОАКТИВНЫЕ ИНГАЛЯЦИИ.



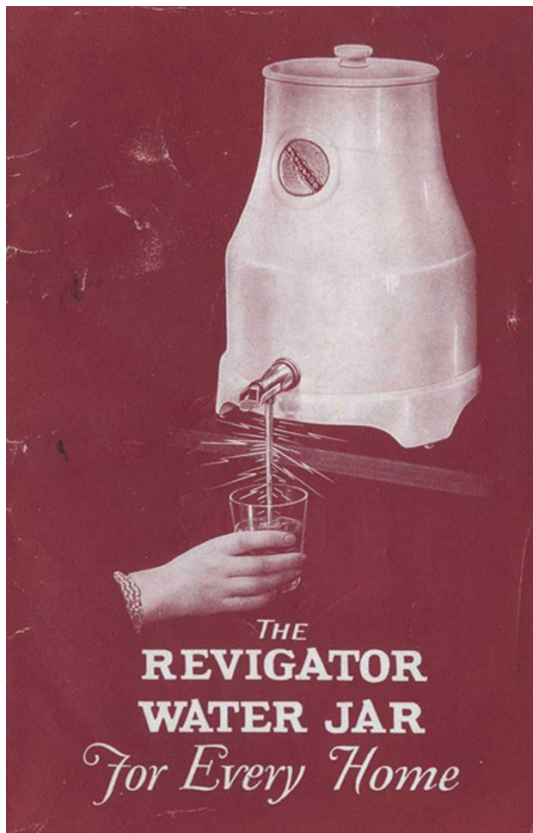


Эбен Макбёрни Байерс



«Радитор» с 1918 по 1928 годы компанией Bailey Radium Laboratories, Inc. из Нью-Джерси. Изобретатель целительного препарата доктор Уильям Бэйли на самом деле был не медиком, а доктором права, выпускником Гарварда. Он условно предположил, что радий, растворённый в воде, будет стимулировать эндокринную систему, управляющую гормонами, а они уже справятся с любой болезнью. Рекламировался «Радитор» как средство, которое вылечит даже мёртвого. Аптекари же спокойно продавали (а врачи спокойно выписывали) «Радитор», поскольку, будучи неплохим предпринимателем, Бэйли отдавал каждому продавшему его товар 17% от стоимости.

«Радитор» представлял собой смесь дистиллированной воды, радия-226 и радия-228. То есть **примерно 1 микрокюри** радиоактивной радости пациент получал.



- Еще одним продуктом стали устройства, превращающие обычную воду в радиоактивную, то есть активаторы воды. Эти приборы закупали госпитали, университеты, частные лица; компании рекламировали свой продукт, гарантируя наличие дозы радия в каждом стакане пропущенной через прибор воды.

MÉTHODE THO-RADIA

EMBELLISSANTE PARCE QUE CURATIVE

4°

DENTIFRICE THO-RADIA

A BASE DE SELS DE THORIUM

FORMULE
du Docteur Alfred CURIE

Astringent et bactéricide, il stérilise la cavité buccale, évite et combat les gingivites, prévient la carie et les pyorrhées alvéolaires. Il assainit les dents, laisse dans la bouche une délicieuse impression de fraîcheur, conserve l'éclat, la blancheur et l'intégrité de la dentition.

Le grand
tube :
6 francs

*Pas de joli sourire
sans de jolies dents*

CHEZ LES PHARMACIENS EXCLUSIVEMENT



MÉTHODE THO-RADIA

EMBELLISSANTE PARCE QUE CURATIVE

1°

CRÈME THO-RADIA

A BASE DE RADIUM ET DE THORIUM

Stimule la vitalité cellulaire, raffermi les tissus, empêche la déformation des pores, élimine la graisse, prévient et guérit dartres, boutons, rougeurs, conserve la fraîcheur du teint, évite et supprime les rides, guérit toutes les fêlissures du visage.



Formule
du Docteur
Alfred CURIE

Le Pot : 15 fr.

Le Tube :
10 fr.

Tube pour le sac :
3 fr.

CHEZ LES PHARMACIENS EXCLUSIVEMENT

MÉTHODE THO-RADIA

EMBELLISSANTE PARCE QUE CURATIVE

2°

POUDRE THO-RADIA

A BASE DE THORIUM,
RADIUM ET TITANE

Continue et complète l'action de la crème Tho-Radia. Parfaitement fine, adhérente et mate, elle défend la peau contre les poussières, miasmes, radiations nuisibles. Augmente l'éclat du teint.

FORMULE
du Docteur Alfred CURIE
(huit coloris)

La grande boîte . . . 12 fr. 50
La boîte pour le sac . . . 3 fr.



CHEZ LES PHARMACIENS EXCLUSIVEMENT

- А что если сравнить теперь с стремительным внедрением нанотехнологий в нашу жизнь?
- Про токсичность некоторых наночастиц мало кто вспоминает в рекламе...

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА ЧЕЛОВЕКА НАЗЫВАЕТСЯ ОБЛУЧЕНИЕМ.

Виды облучения человека:

- Внешнее – от источника ИИ, расположенного вне организма;
- Внутреннее – от источника ИИ, расположенного внутри организма;
- Контактное – от источника ИИ, попавшего на кожу или одежду;
- Сочетанное – при облучении разными видами ИИ;
- Комбинированное – облучение, при котором кроме облучения есть травмы.

ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ

Имеет место в том случае, если радионуклиды попали внутрь организма одним из следующих путей:

1. ингаляционно, через дыхательные пути, при вдыхании радиоактивных аэрозолей, газов, паров, пыли, дыма;
2. через ЖКТ (с пищей, водой);
3. через кожу и конъюнктиву глаз (контактный путь);
4. Через царапины, раны, ожоги.

Выраженность биологического эффекта облучения зависит не только от величины поглощенной дозы, но и от мощности дозы (скорости ее накопления), от вида ИИ, составляющих его частиц и энергии, а также от состава и плотности облучаемого вещества и от радиочувствительности объекта облучения.

Каждому биологическому объекту (различными клеткам, тканям и целым органам) свойственна своя мера восприимчивости к воздействию ИИ-**радиочувствительность**. Разделяют - тканевую, видовую и индивидуальную.

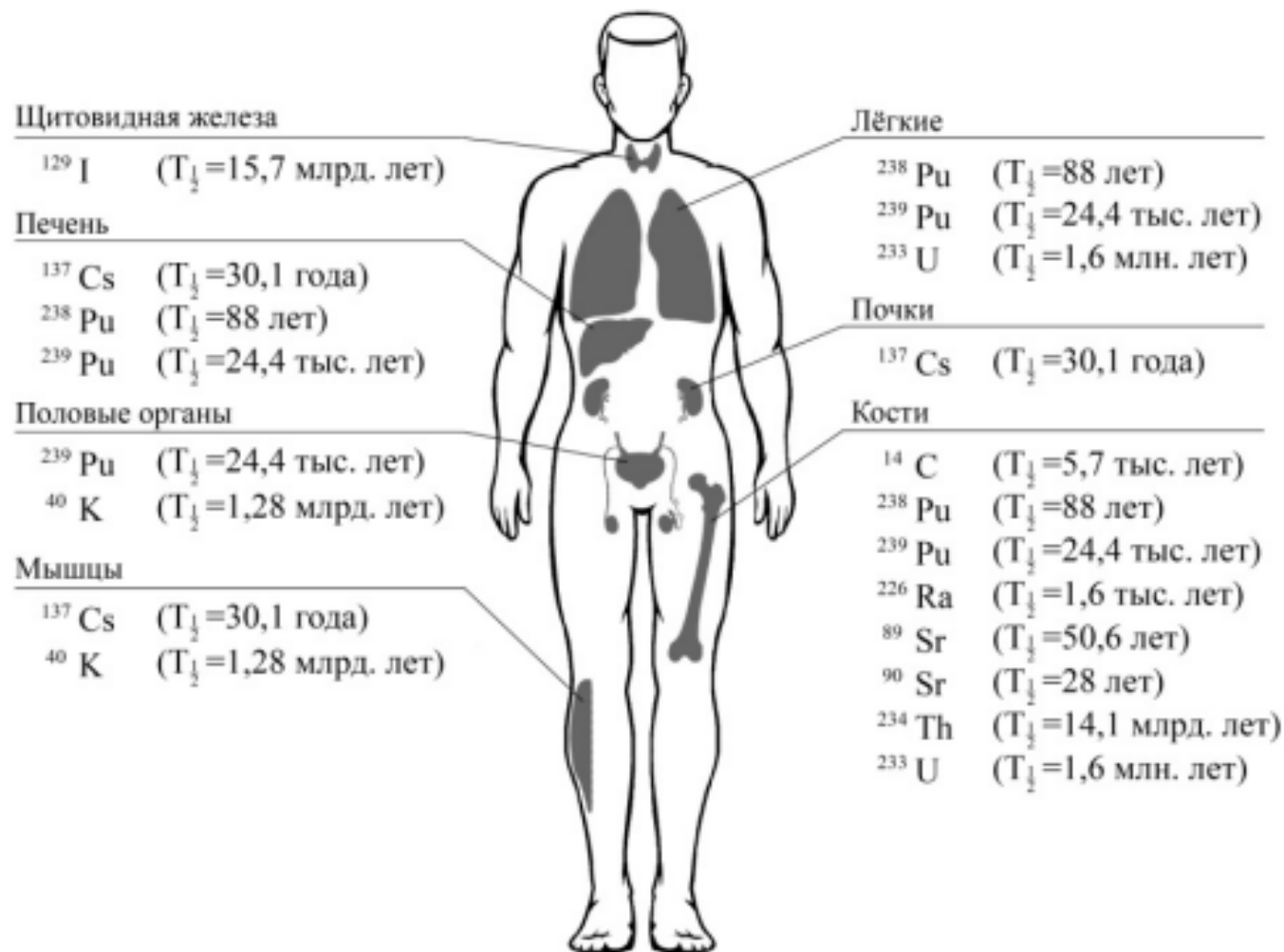


Рис. 3.2. Места накопления радионуклидов в организме человека

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВЫВЕДЕНИЕ И РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД ($T_{\text{ФИЗ}}$)

T_B – *период биологического полувыведения*, время, в течение которого из организма выводится половина однократно поступившего радионуклида.

$T_{\text{эф}}$ – *эффективный период полувыведения* – время, в течение которого организм освобождается от половины депонированного радионуклида как путем биологического выведения, так и вследствие распада. Каждый орган имеет свое $T_{\text{эф}}$.

$$T_{\text{эфф.}} = T_{\text{физ.}} \cdot T_{\text{биол.}} / (T_{\text{физ.}} + T_{\text{биол.}})$$

ЭФФЕКТИВНЫЕ ПЕРИОДЫ ПОЛУВЫВЕДЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ОРГАНИЗМА, СУТ.

ОРГАН	Sr-90	Cs-137	Po-210	Ra-226	U-235	Pu-239
ВСЕ ТЕЛО	5700	40	25	900	100	$6,4 \times 10^4$
МЫШЦЫ	-	138	-	-	-	-
КОСТИ	6400	138	-	1600	300	$7,2 \times 10^4$
ЛЕГКИЕ	-	138	30	-	365	-
ПОЧКИ	-	-	46	10	15	-
ПЕЧЕНЬ	-	-	-	-	15	$3,0 \times 10^4$
СЕЛЕЗЕНКА	-	-	42	-	-	-

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСТРОГО ОБЛУЧЕНИЯ

- Острые лучевые поражения(короткий промежуток времени – часы, дни)
- Отдаленные последствия (длительный промежуток времени - годы)

Кроме того, в организме под действием излучения может произойти нарушение структурных элементов, ответственных за наследственность (опасны для следующего поколения)

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ

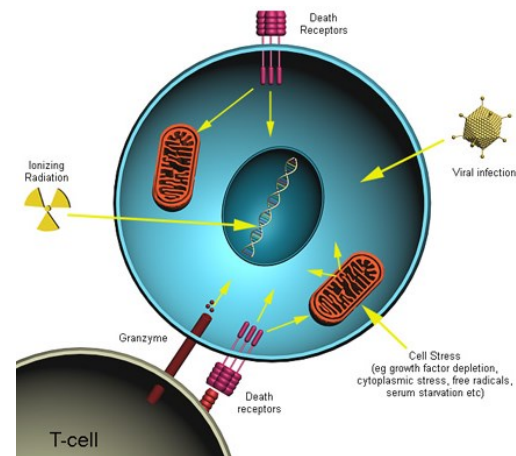
При оценке опасности облучения, которому могут подвергаться отдельные контингенты людей и популяция в целом радиационные эффекты принято дифференцировать на *соматические* и *генетические*.

К *соматическим* относятся те изменения в состоянии здоровья, которые произошли у данного индивидуума в результате облучения. Проявляются в виде острой и хронической или хронической лучевой болезни, локальных лучевых повреждений отдельных органов или тканей, а также в виде отдаленных реакций организма.



В случае крайне тяжелой формы заболевания костный мозг пострадавшего бывает полностью разрушен радиацией и самостоятельной регенерации состава крови не происходит. В таком случае единственным способом терапии является пересадка пациенту донорских костномозговых клеток.

- Для острых лучевых воздействий характерно наличие связи между уровнем облучения и реакцией организма (имеют порог, т.е. проявляются после превышения некоторой дозы излучения)



При однократном равномерном γ -облучении всего тела в дозе:

- До 0.25 Гр (25 рад) – нельзя обнаружить каких либо изменений в состоянии здоровья человека (не наблюдаются изменения в крови).
- 0.25-0.5 Гр (25-50 рад) – отсутствуют внешние признаки лучевого поражения (могут наблюдаться лишь временные изменения в крови, кот. Быстро нормализуются)
- 0.5 – 1.0 Гр (50-100 рад) – возникает чувство усталости, без серьезной потери трудоспособности(менее чем у 10% облученных может появиться рвота, наблюдаются умеренные изменения в крови.)

ПРИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЕ:

- 1.5 – 2.0 Гр (150-200 рад) – наблюдается кратковременная легкая форма острой лучевой болезни (*в виде выраженной, продолжающейся длительное время лимфопении – кол-во лимфоцитов в крови менее 1000/мкл*). В 30-50% случаев может наблюдаться рвота в первые сутки после облучения. Смертельные исходы отсутствуют.
- 2.5 – 4.0 Гр (250-400) рад – лучевая болезнь средней степени тяжести (*в первые сутки наблюдается тошнота и рвота, резко снижается содержание лейкоцитов в крови, появляются подкожные кровоизлияния, в 20% случаев возможен смертельный исход. Смерть наступает через 2-6 нед после облучения*)
- 4.0 – 6.0 Гр (400-600 рад) – развивается тяжелая форма лучевой болезни. (*В течении месяца после облучения смертельный исход возможен в 50% случаев*)
- 6.0 Гр (600 рад) – крайне тяжелая форма лучевой болезни. (*В крови почти полностью исчезают лейкоциты, появляются множественные подкожные кровотечения, кровавый понос. Смерть наступает в 100% случаев. Причина смерти – инфекционные заболевания и кровоизлияния*)

ВИДОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (ПО КРИТЕРИЮ ЛД₅₀)

Биологический вид	ЛД ₅₀	Класс
Овца	1,5-2,5	Млекопитающие
Осел	2,0-3,8	Млекопитающие
Собака	2,5-3,0	Млекопитающие
Человек	2,5-3,5	Млекопитающие
Обезьяны	2,5-6,0	Млекопитающие
Крыса	7,0-9,0	Млекопитающие
Мышь	8,6-9,0	Млекопитающие
Кролик	9,0-10,0	Млекопитающие
Птицы	8,0-20,0	Птицы
Черепаша	15	Рептилии
Золотая рыбка	20	Рыбы
Растения	10-100	
Рыжий таракан	64	Насекомые
Насекомые	10-100	Насекомые
Амеба	1000	
<i>Deinococcus radiodurans</i>	1500	Бактерии

ЛД₅₀ – средняя летальная доза, т.е. доза убивающая половину облученных организмов в эксперименте.

Таблица 2.3

Воздействие различных доз облучения на организм

Доза, Гр	Причина и результат воздействия
$(0,7-2) \cdot 10^{-3}$	Доза от естественных источников в год
0,02	Предельно допустимая доза профессионального облучения в год
0,20	Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
1,0	Доза возникновения острой лучевой болезни
3,5	Без лечения 50% облученных умирает в течение 1–2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга
10–50	Смерть наступает через 1–2 недели вследствие поражений главным образом желудочно-кишечного тракта
100	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы

Таблица 2.4

Дозы, вызывающие нестохастические (детерминированные) эффекты

Органы и ткани	Нестохастический эффект	Доза, Зв
Все тело	Лучевая реакция	0,5
Все тело	Лучевая болезнь легкой степени	1,0–2,0
Все тело	Лучевая болезнь средней степени	2,0–3,0
Все тело	Лучевая болезнь тяжелой и крайне тяжелой формы	3,0–3,5
Все тело	50% летальность в течение 60 дней	3,5–4,5
Кожа	Переходящая эритема, временная эпиляция	3,0
Легкие	Пневмония	5,0
Легкие	Смерть	10,0
Половые железы	Кратковременная стерилизация	0,2–1,0
Уровень естественного фона, Зв/год		0,0007–0,0045
Предельная доза профессионального облучения в год (до 1996 г.)		0,05
То же, после 1996 г.		0,02

ОСТРАЯ ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ НЕ ПЕРЕХОДИТ В ХРОНИЧЕСКУЮ

КЛИНИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЛБ

По степени тяжести (степень тяжести ОЛБ определяется поглощенной дозой ионизирующих излучений):

а) Формы ОЛБ:

1. Костно-мозговая - при поглощенной дозе от 1 до 10 Гр.
2. Кишечная – при поглощенной дозе 10-20 Гр.
3. Токсемическая – при поглощенной дозе 20-80 Гр.
4. Церебральная – при поглощенной дозе свыше 80 Гр. Б)

Степени тяжести костно-мозговой формы ОЛБ:

I (легкая) – при поглощенной дозе 1-2 Гр.

II (средняя) – при поглощенной дозе 2-4 Гр.

III (тяжелая) – при поглощенной дозе 4-6 Гр.

IV (крайне тяжелая) – при поглощенной дозе 6-10 Гр

Диагностика степени тяжести острой лучевой болезни в период
первичной реакции

Показатель	Степень тяжести ОЛБ			
	I	II	III	IV
Доза, рад ($\pm 30\%$)	100 – 200	200 – 400	400 – 600	>600
Рвота (начало и интенсивность)	Через 2 ч и более однократная	Через 1 – 2 ч повторная	Через 30 мин – 1ч много-кратная	Через 5-20 мин неукротимая
Понос	Как правило, нет	Как правило, нет	Как правило, нет	Может быть
Головная боль и состояние сознания	Кратковременная головная боль, сознание ясное	Головная боль, сознание ясное	Головная боль, сознание ясное	Сильная головная боль, сознание может быть спутанным
Температура тела	Нормальная	Субфебрильная	Субфебрильная	38-39 ⁰ С

ХРОНИЧЕСКАЯ ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ – ОБЩЕЕ ЗАБОЛЕВАНИЕ ОРГАНИЗМА, РАЗВИВАЮЩЕЕСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ИИ В ОТНОСИТЕЛЬНО МАЛЫХ, НО ПРЕВЫШАЮЩИХ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ДОЗАХ.

- Развивается в случае систематически повторяющегося облучения, когда дозы излучения ниже тех, которые вызывают острую лучевую болезнь.
- Признаки – изменение в составе крови (уменьшение числа лейкоцитов, малокровие) и ряд симптомов со стороны нервной системы. *Признаки хронической лучевой болезни не специфичны и встречаются иногда при болезнях, развивающихся в следствии других причин, поэтому диагностировать хроническую лучевую болезнь можно только, когда достоверно известно, что в течение длительного времени индивидуум подвергался лучевому воздействию.*

ЗАВИСИМОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ОТ ВРЕМЕНИ

- Если облучение растянуть во времени и проводить его непрерывно или дробно, то эффект воздействия будет снижен. *(Это связано с тем, что у живых организмов имеются репарационные восстановительные механизмы, способные нормализовать нарушение системы и функции жизнедеятельности. Процессы восстановления идут на всех уровнях.)*
- Экспериментально установлено, что в потенциальном лучевом поражении можно выделить две части: невосстанавливаемую *(сохраняющуюся неопределенное время)* и восстанавливаемую *(уменьшающуюся со временем по экспоненциальному закону)*.

«РЕАЛИЗУЕМАЯ» ДОЗА

Для оценки воздействия длительного облучения вводится понятие:

$$D_p(t) = D_0[f + (1-f)\exp(-\beta t)]$$

f – доля поглощенной дозы от D_0 , характеризующая необратимую часть лучевого поражения; β – коэффициент, характеризующий скорость восстановления

Для рентгеновского и гамма излучений необратимая часть поражения $f=0,1$ для человека, т.е. 10% полученной дозы.

Коэффициент β для человека, *определенный путем экстраполяции экспериментальных данных на животных*, составляет 0,022 – 0,024 (1/сут).

Следовательно, что при указанных значениях скорость восстановления лучевого поражения составляет ~2.5% общей дозы в сутки.

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

- Согласно установленным данным реакция организма на воздействие ионизирующего излучения может проявиться и в отдаленный период (через 10-20 лет) – лейкозы, злокачественные опухоли различных органов и тканей, катаракты, поражение кожи, сокращение продолжительности жизни)
- Из-за отсутствия специфичности отдаленных последствий облучения довольно трудно, а иногда почти и невозможно связать их с предшествующим облучением. *Даже если у индивидуума и наблюдались какие-то изменения в состоянии здоровья, которые в процессе лечения были восстановлены, то трудно однозначно сказать, что возникшие у него в отдаленные сроки злокачественные новообразования являются результатом именно лучевого воздействия, а не воздействием других факторов внешней среды.*
- Полученные экспериментальные данные на животных, а также наблюдение за людьми, показывают, что отдаленные последствия обусловлены облучением в сравнительно больших дозах (~0.7 Зв).
- Для решения вопросов РБ нас интересуют эффекты, которые наблюдаются при малых дозах (10^{-3} - 10^{-2} Зв), которые реализуются при практическом использовании атомной энергии.

Трудности оценки соматико-стохастических эффектов при воздействии малых доз:

1. Стат. обработка данных о состоянии здоровья контингента лиц, длительное время облучавшихся (врачи-рентгенологи, радиологи, проф. работники), не позволяет выявить какие-либо достоверные различия в продолжительность жизни или вероятности возникновения злокачественных новообразований у этой группы лиц по сравнению с частью популяции, не подвергавшихся облучению.

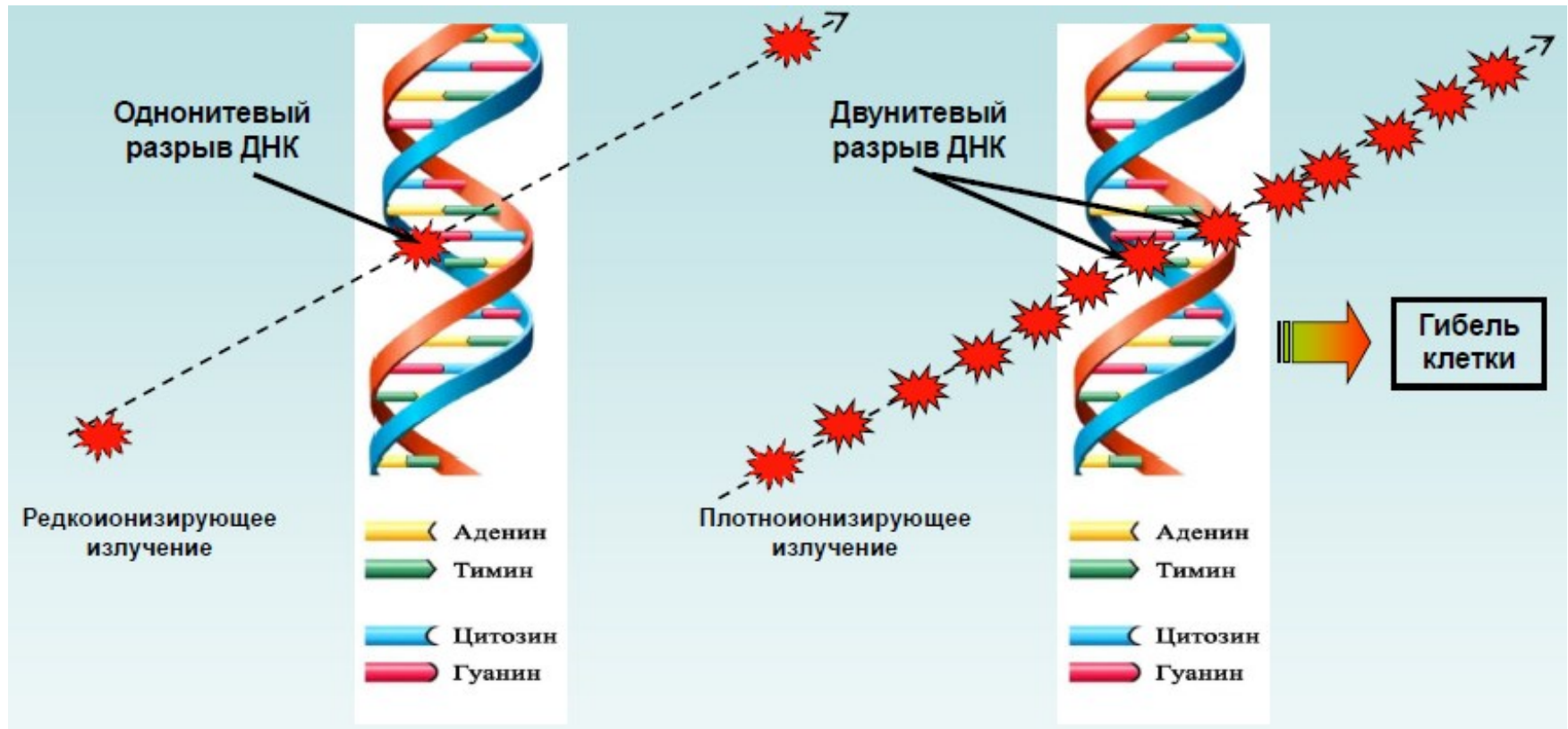
2. Невозможно обнаружить изменения в состоянии здоровья, в также достоверные соматико-стохастические эффекты у людей, подвергшимся рентген.обследованию, при котором доза излучения варьировала от $4 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-2}$ Зв.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Рассмотрим механизм действия радиации на наследственность.

- Основным структурным элементом ядра клетки являются хромосомы. Основу строения хромосомы составляет молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), где заключена вся наследственная информация организма. Отдельные участки ДНК, так называемые гены ответственны за формирование какого-либо элементарного признака. Гены расположены в хромосомах в строго определенном порядке. *Каждому присущ вполне определенный набор хромосом в каждой клетке. (у человека в кажд. клетке содержится 23 пары хромосом).* При делении клетки хромосомы удваиваются и в определенном порядке располагаются в дочерних клетках. Это обеспечивает передачу и сохранение идентичных свойств от клетки к клетке.
- Чем крупнее клетка, тем вероятнее ее разрушение при каких-либо внешних воздействиях. Поэтому наиболее чувствительным структурным элементом являются хромосомы, состоящие из таких огромных молекул, как ДНК (длина в одной клетке человека 190см),
 $d_{\text{молекулы}} \approx 10^{-10} \text{ м.}$

РАДИАЦИОННОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ДНК



Однонитевый разрыв ДНК может быть легко репарирован при наличии в клетке репарационных ферментных систем, способных восстанавливать поврежденную нить ДНК, используя в качестве матрицы неповрежденную нить.

Двунитевый разрыв ДНК не может быть правильно репарирован даже при наличии в клетке репарационных ферментных систем, т.к. вторая нить, которая могла бы служить матрицей, также повреждена.

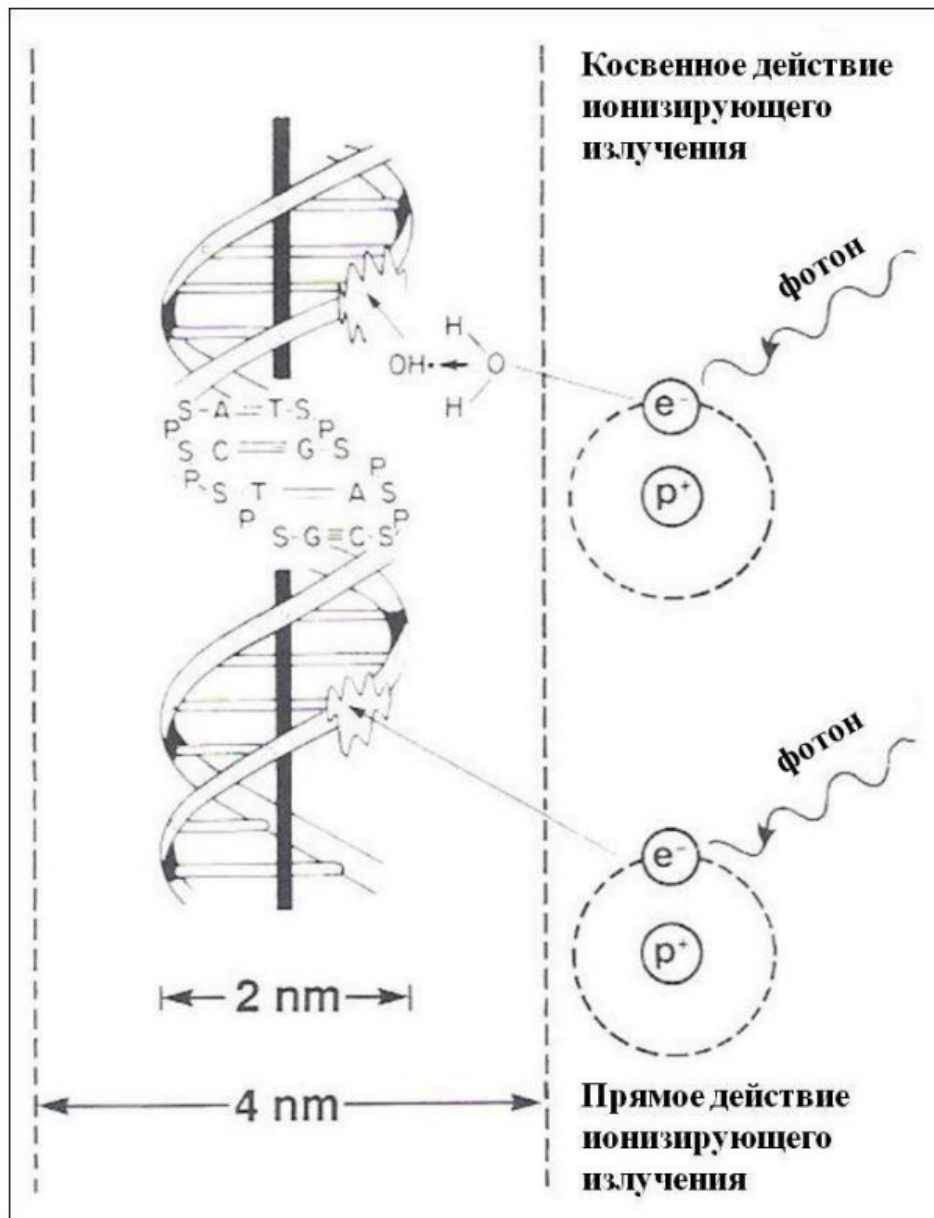
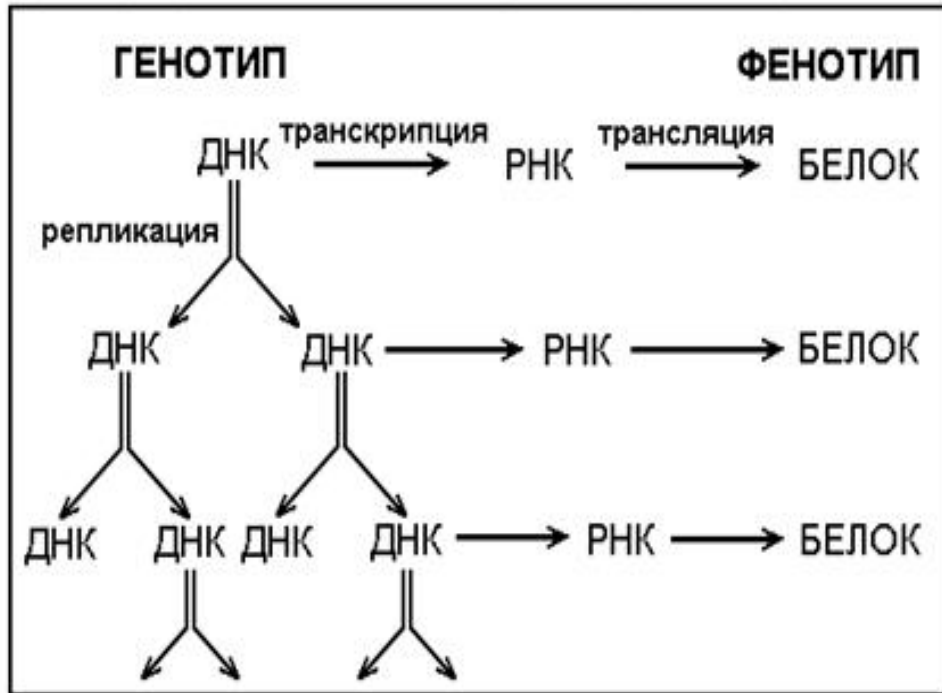


Рис. 2.3. Иллюстрация прямого и косвенного действия ионизирующего излучения на молекулу ДНК

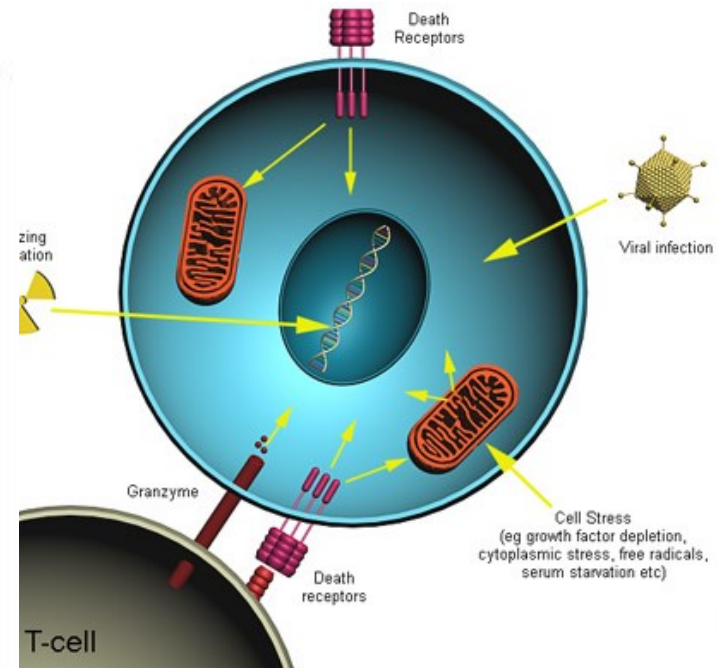
Центральная догма молекулярной биологии
(молекулярно-биологическая сущность развития).



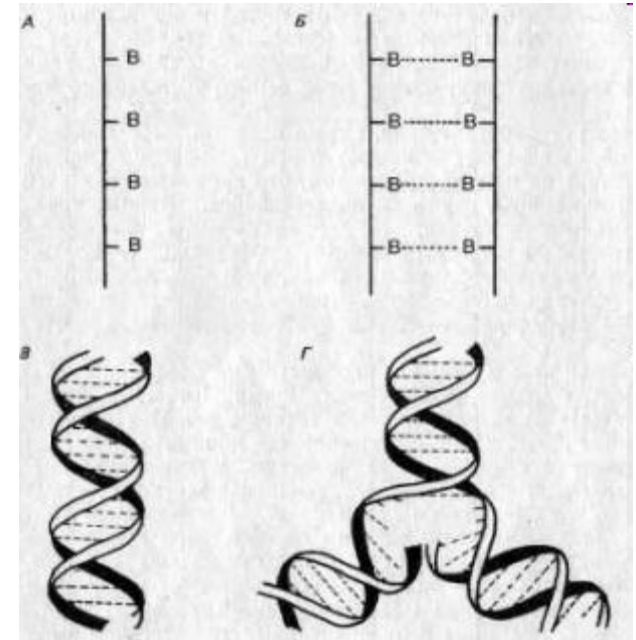
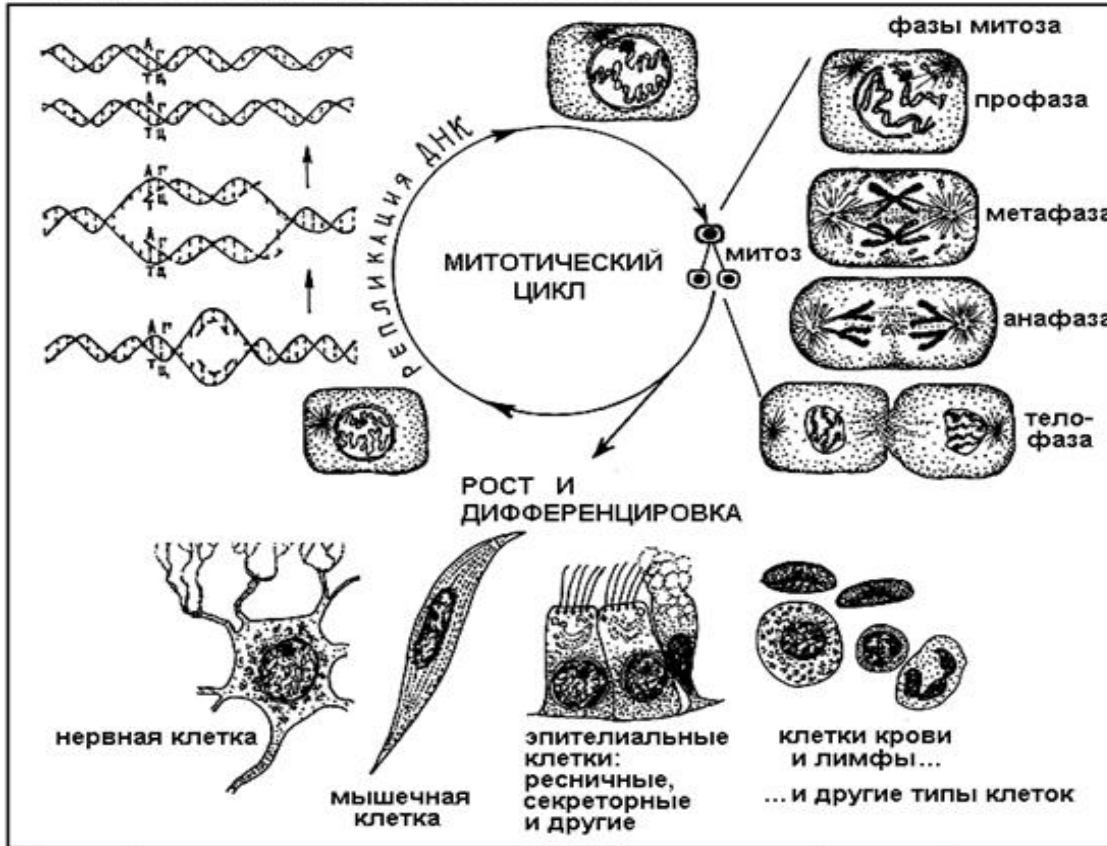
Развитие складывается из двух процессов:

- 1) Размножение - копирование генотипа путем репликации ДНК и деления клеток;
- 2) Рост - построение фенотипа в результате синтеза белков.

ДНК кодирует первичную структуру (набор аминокислот) белков. Реализация этой генетической программы идет в две стадии: транскрипция - синтез информационной РНК ("переписывание" информации); трансляция - синтез самого белка ("передача" информации). Все процессы: репликация, транскрипция и трансляция - являются матричными синтезами.



Цикл деления и дифференцировка клеток.



В интерфазе митотического цикла происходит репликация (удвоение) молекул ДНК, входящих в хромосомы. Во время митоза хромосомы спирализуются и делятся по дочерним клеткам. Через несколько циклов деления клетки приступают к дифференцировке.

ГЕННЫЕ МУТАЦИИ

ИИ вызывает хромосомные aberrации (поломку хромосом), за которыми следуют соединения разорванных концов в новых сочетаниях. Это приводит к изменению генного аппарата, а следовательно, к образованию дочерних клеток, не идентичных с исходным.

Возникновение стойких хромосомных aberrаций в половых клетках ведет к мутациям, т.е. к появлению у облученных особей потомства с другими признаками.

Полезные – когда приобретенные признаки способствуют повышению жизнестойкости организма.

Вредные – врожденные пороки у потомства.

Большинство мутаций, возникающих спонтанно или под действием ИИ или других факторов внешней среды, оказываются вредными.



- Генетические эффекты, так же как и соматические отдаленные последствия, относятся к категории стохастических процессов.
- Наблюдения за последствиями облучения человека дают мало информации для определения генетической опасности, обусловленной ИИ, особенно при воздействии малых доз.
- Оценка вероятности базируется на экспериментах на животных и экстраполяции данных, полученных при больших дозах облучения. *Основные наблюдения за лицами, переживших бомбардировку Хиросиму и Ногасаки, аварии на АЭС и др.*
- К настоящему времени радиобиологические данные дают основания полагать, что при непрерывном облучении какой-либо группы населения излучением с низкой ЛПЭ следует ожидать не более 20 дополнительных случаев наследственных заболеваний на 1 млн. человек потомства в первом поколении, реализованная доза за поколение (30 лет) составит 0,01 Гр (может быть получена и за более короткий срок). Естественного числа генетических нарушений у новорожденных может наблюдаться при дозе на популяцию 1Гр.
- В случае облучения нейтронами, протонами и др., у которых ЛПЭ больше, аналогичные эффекты будут наблюдаться при меньших поглощенных дозах.

ЗНАКИ РАДИАЦИИ



Конец 1950 г. «Трилистник» -
Атом + 3 вида излучения.



2007 г. новый знак ионизирующего
излучения. Для ничего не знающих
про ИИ.

МАГАТЭ - новый символ был создан
«для уменьшения ненужной смерти и
серьезных травм от случайного
воздействия сильных радиоактивных
источников».

О.И. ВАСИЛЕНКО, Б.С. ИШХАНОВ, И.М. КАПИТОНОВ,
Ж.М. СЕЛИВЕРСТОВА, А.В. ШУМАКОВ
РАДИАЦИЯ

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/radiation/index.html>

<http://rb.mchs.gov.ru> - Межведомственная
информационная система по вопросам обеспечения
радиационной безопасности населения и проблемам
преодоления последствий радиационных аварий.

СПАСУТ ЛИ НАС ТИХОХОДКИ ОТ РАДИАЦИИ?

[HTTPS://SCIENTIFICRUSSIA.RU/ARTICLES/SPASUT-LI-NAS-TIHOHODKI-OT-RADIACIONNOGO-VOZDEJSTVIA](https://scientificrussia.ru/articles/spasut-li-nas-tihohodki-ot-radiacionnogo-vozdejstvia)

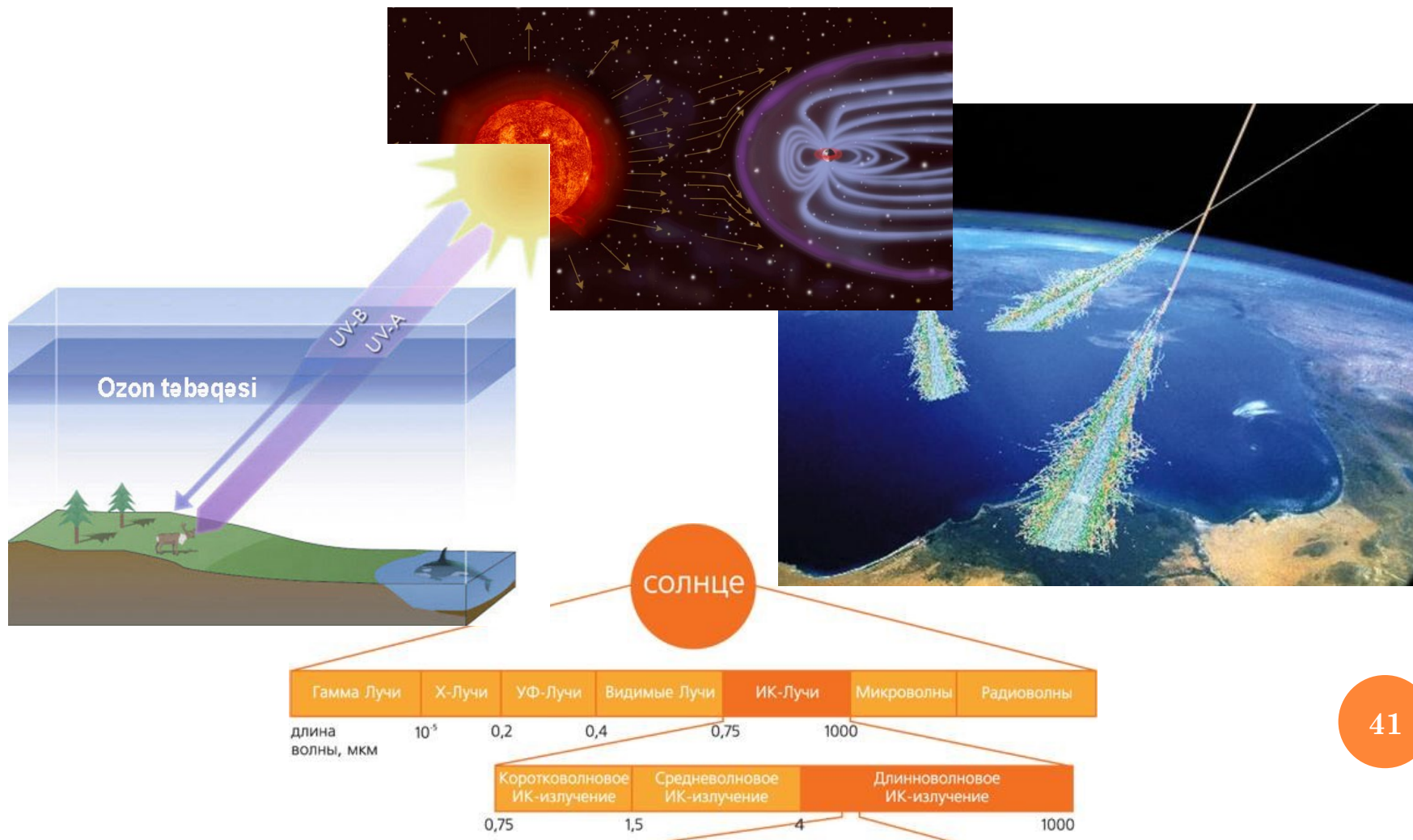
В 2007 году в открытый космос была выпущена тихоходка (водяной медведь). Она пережила воздействие низких температур, космической радиации и полный вакуум. Тихоходки обладают телом менее 1 мм и встречаются по всей Земле. Они обитают во влажной почве, лесной подстилке и в мху. Когда условия резко ухудшаются, они впадают в «спячку», приобретая возможность противостоять низким температурам и обезвоживанию.



Естественные источники ионизирующего излучения.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИИ.

Естественные источники радиации - это объекты окружающей среды и среды обитания человека, которые содержат природные радиоактивные изотопы или излучают радиацию.



Все живые существа, населяющие нашу планету, в том числе и человек, развиваются в условиях постоянного воздействия различных естественных источников ИИ.

При оценке опасности, обусловленной ИИ, и определении критериев к установлению допустимых пределов облучения крайне важно знать характер и уровни облучения от различных естественных источников излучения

Особенность излучения от естественных источников – воздействие на все население земного шара, а также его постоянный относительно высокий уровень воздействия.

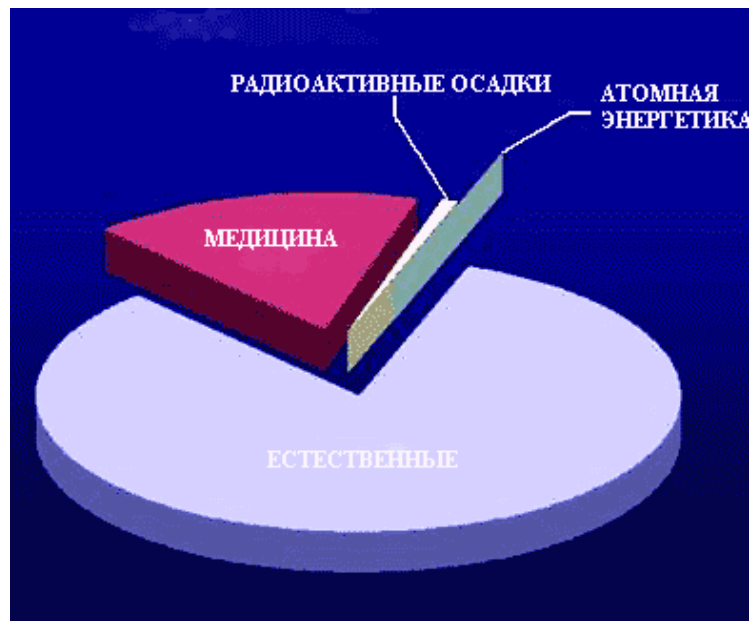


Рис. Вклад различных источников излучения в дозовую нагрузку населения (Общая схема);

В РФ вклад природных источников составляет 20%

Техногенных – 40%

Медицинское использование ИИ – 40%

ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ

КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

излучения от естественных радионуклидов, рассеянных в атмосфере, литосфере, гидросфере и находящихся в составе биологических организмов

ЕСТЕСТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ЗЕМЛИ

2000 мкЗв/год на человека

97%

ИСКУССТВЕННЫЕ

совокупность ионизирующих излучений и радиоактивных веществ, образующихся в результате ядерных взрывов, деятельности атомных электростанций, извлечения полезных ископаемых из недр Земли, применения ИИ и РВ в медицине, науке, в других отраслях хозяйственной деятельности человека

ИСКУССТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ЗЕМЛИ

3%

Радиационный фон Земли складывается из трех компонентов :

1. космическое излучение;
2. излучение от рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов;
3. излучение от искусственных (техногенных) радионуклидов.

Облучение по критерию месторасположения источников излучения делится на внешнее и внутреннее.

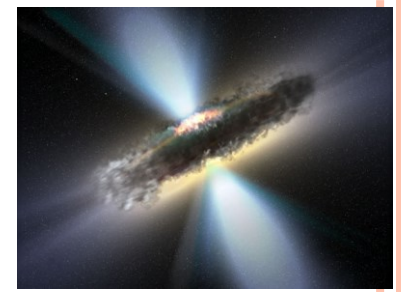
Внешнее облучение обусловлено источниками, расположенными вне тела человека. Источниками внешнего облучения являются космическое излучение и наземные источники.

Источником внутреннего облучения являются радионуклиды, находящиеся в организме человека.

КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Различают первичное и вторичное.

ПЕРВИЧНОЕ – поток частиц высоких энергий, попадающих в земную атмосферу из межзвездного пространства. *(преобладает на высоте 45км)*




Состоит в основном из протонов (~90%) и α – частиц – ядер гелия (~10%). Около 1 %- нейтроны, фотоны, электроны и ядра легких элементов (Li, Be, B, C, N, O, F).

Большая часть первичного космического излучения возникает в пределах нашей Галактики в результате извержения и испарении материи при звездных взрывах и образовании сверхновых звезд. Длительность прохождения из Галактики («возраст») $\sim 10^6$ - 10^7 лет, поэтому нет излучения нейтронов (распадается на протон и позитрон).

Энергия частиц галактич. Космич. Излуч. = 10^{12} - 10^{14} МэВ. (Для сравнения энергия частиц, возникающих при солнечных вспышках 1-40 МэВ)


Поскольку солнечное космическое излучение обладает сравнительно низкой энергией, оно обычно не приводит к заметному увеличению дозы излучения на поверхности Земли.

ПЕРВИЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



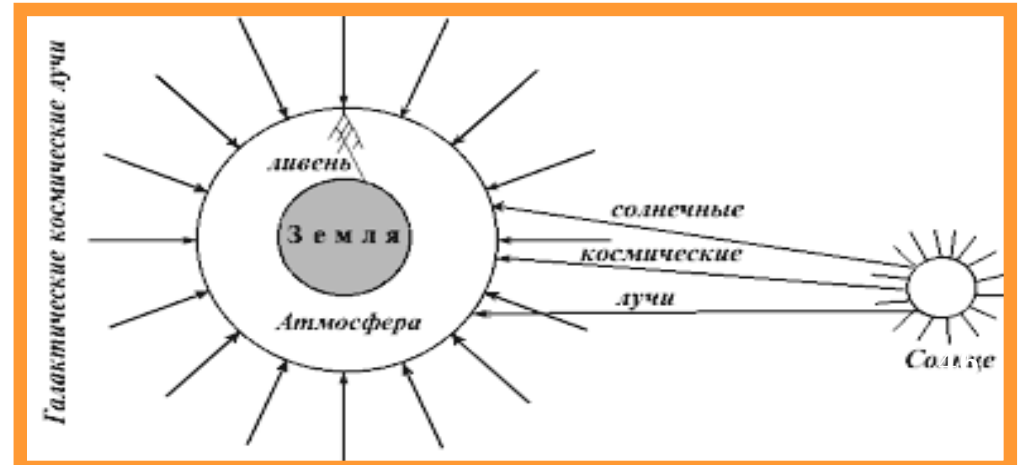
Галактические Космические лучи

Протоны – 92%,
 α -частицы – 7%, ядра
атомов лития,
бериллия, углерода,
азота и кислорода и
др., электроны,
позитроны, γ -кванты и
нейтрино
 10^6 - 10^{20} эВ



Солнечные Космические лучи

Протоны – 98%,
ядра атомов
гелия 2%
 10^5 - 10^{11} эВ



ВТОРИЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- Имеет сложный состав и состоит практически из всех известных в настоящее время элементарных частиц (*протонов, нейтронов, электронов, фотонов, мюонов, пионов и др.*)
- Образуется в результате взаимодействия частиц первичного космич. излучения с ядрами нуклидов, входящих в состав воздуха.

У поверхности Земли вторич. космич. излучение состоит в основном из фотонов, электронов и позитронов с энергией до 100 МэВ и μ^\pm -мезонов (600 МэВ) – это ***слабоионизирующая компонента космич. излучения.***

Фотоны, электроны и позитроны формируют слабопроникающую и низкоэнергетическую составляющую космического излучения. Она практически *полностью поглощается слоем свинца толщиной 8-10 см.*

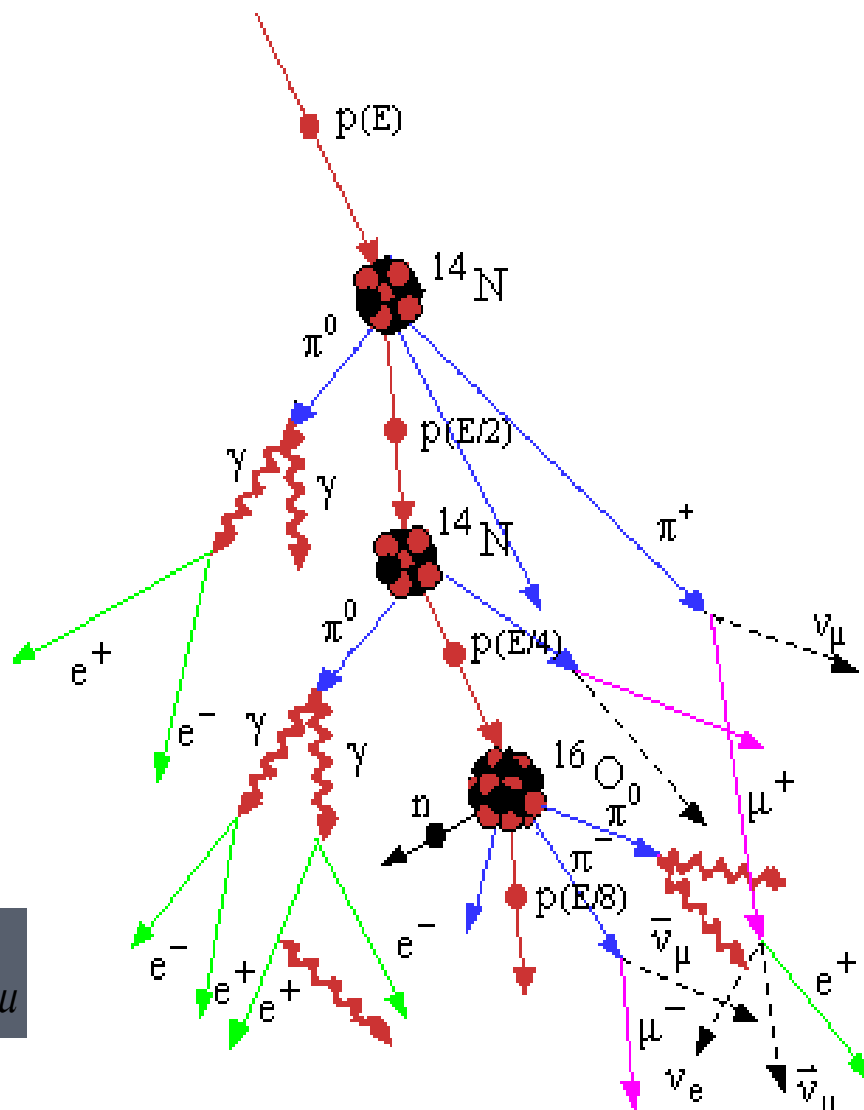
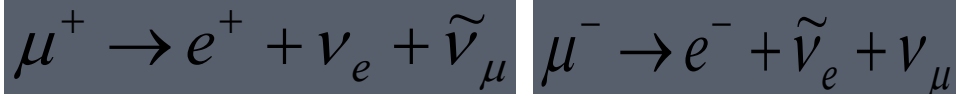
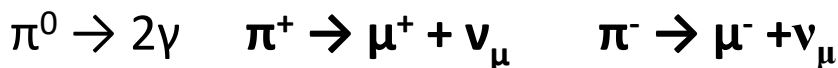
Нейтронная компонента – нейтроны с энергией 10-15 МэВ, образовавшиеся в результате расщепления ядер.

Максимальная интенсивность на высоте 20-25 км. С уменьшением высоты его интенсивность падает и достигает минимума на уровне моря.

ВТОРИЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Образуется в результате процессов взаимодействия первичных космических лучей с атмосферой Земли.

Первичное ядро высокой энергии (обычно протон) разрушает ядра атмосферного азота или кислорода и порождает каскад вторичных частиц, поток которых условно разделяют на 3 компоненты: электронно-фотонную (1), мюонную (2) и нуклонную (3).



На высоте примерно 45 км преобладает первичное космическое излучение.

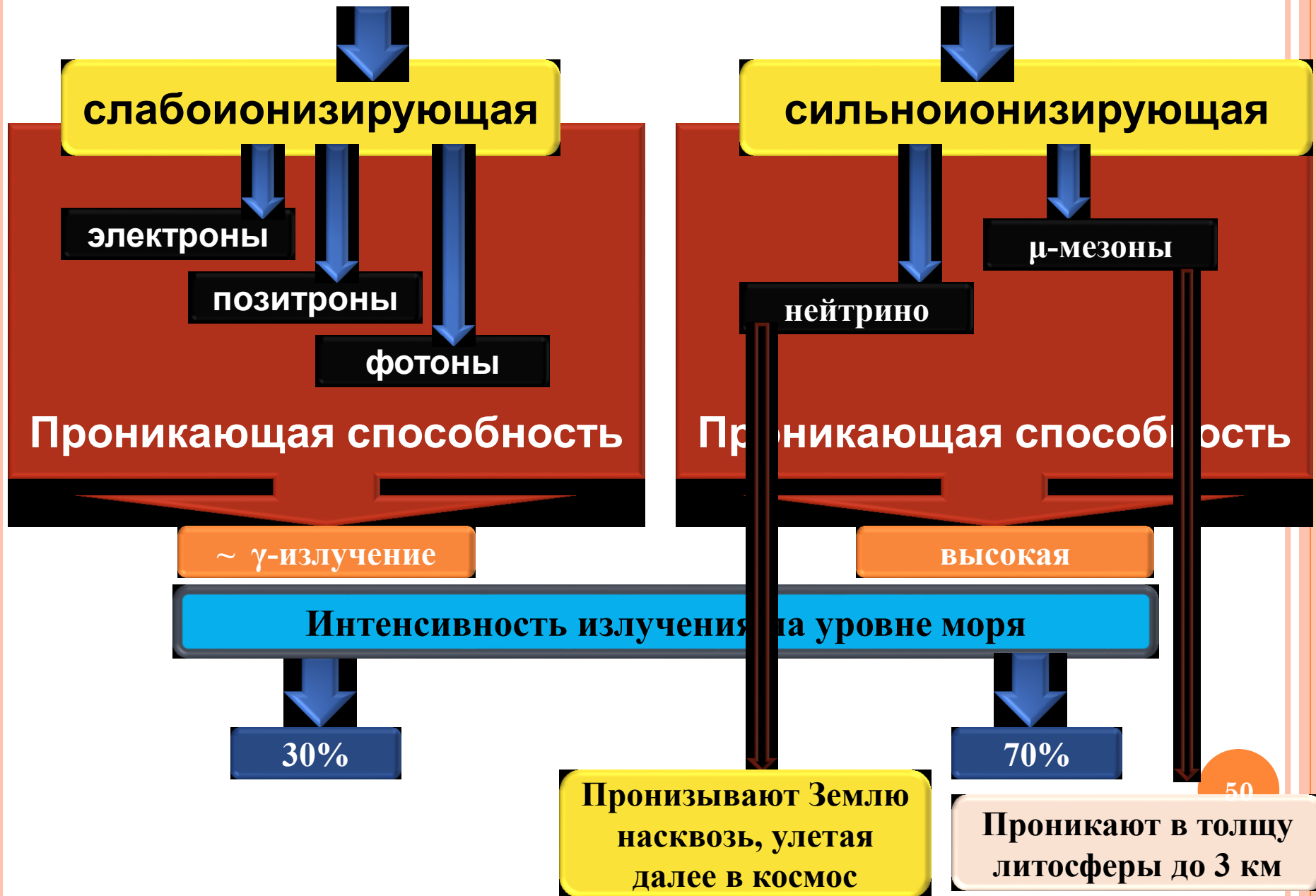
На основании обобщения многочисленных экспериментальных данных **Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР)** рекомендует принимать среднее значение мощности поглощенной дозы, создаваемой сильно- и слабоионизирующими компонентами космического излучения на уровне моря **$D = 3,2 \cdot 10^{-2}$ мкГр/ч (3,2 мкрад/ч) или $2,8 \cdot 10^{-1}$ мГр/год (28 мрад/год).**

Учитывая состав и энергию частиц сильноионизирующей компоненты, а также ее вклад в поглощенную дозу, можно принять, что для космического излучения у поверхности Земли коэффициент качества $k=1,1$. Следовательно, ***эквивалентная мощность дозы***, обусловленная сильно и слабоионизирующими компонентами космич. излучения равна **$3,5 \cdot 10^{-2}$ мкЗв/ч (3,5 мкбэр/ч) или 0,31 мЗв/год (31мбэр/год).**

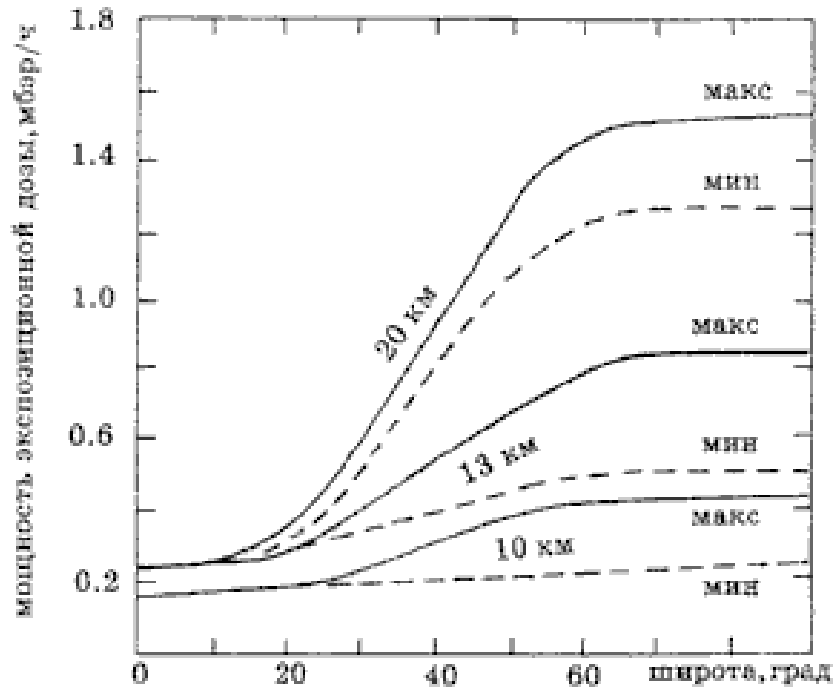
Вклад нейтронов в эквивалентную дозу космического излучения на уровне моря составляет ~1%.

Таким образом, средняя суммарная эквивалентная доза, создаваемая всеми компонентами космического излучения на уровне моря в год **$H = 0,32$ мЗв (32 мбэр).**

КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Космическому внешнему облучению подвергается вся поверхность Земли. Однако облучение это неравномерно. Интенсивность космического излучения зависит от солнечной активности, географического положения объекта и возрастает с высотой над уровнем моря. Наиболее интенсивно оно на Северном и Южном полюсах, менее интенсивно в экваториальных областях. Причина этого - магнитное поле Земли, отклоняющее заряженные частицы космического излучения. Наибольший эффект действия космического внешнего облучения связан с зависимостью космического излучения от высоты.

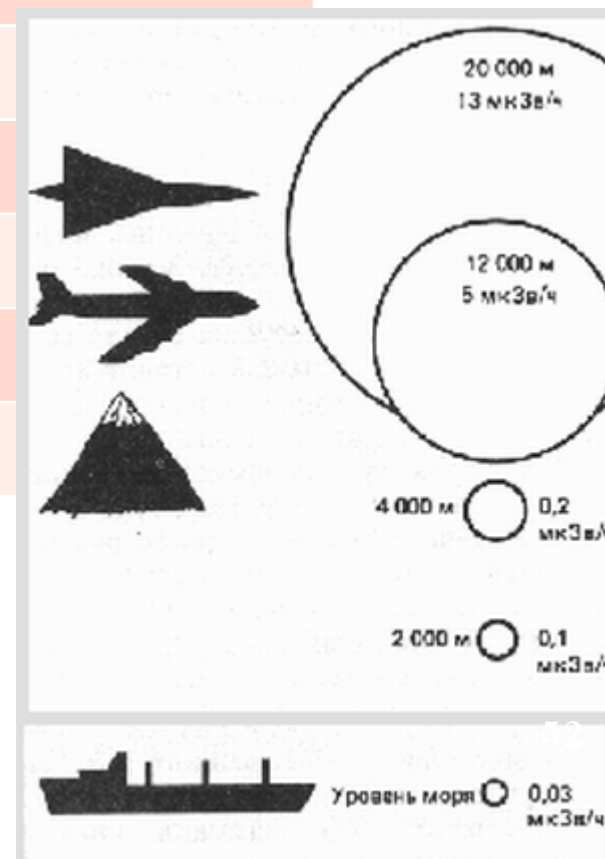


Величина солнечного излучения во время максимальной и минимальной активности солнечного цикла в зависимости от высоты местности над уровнем моря и географической широты.

Среднее значение мощности поглощенной дозы компонентами космич.излуч. на уровне моря	$3,2 \times 10^{-2}$ мкГр/ч
Эквивалентная мощность дозы	$3,5 \times 10^{-2}$ мкЗв/ч (0,31 мЗв)
Средняя суммарная эквивалентная доза, создаваемая всеми компонентами космич.излуч. на уровне моря в год	0,32 мЗв (32 мбэр)
<u>Эквивалентная доза</u>	
<i>На уровне моря (10% от год.дозы)</i>	0,5 мЗв
<i>На высоте 4-5 км</i>	5 мЗв
<i>На высоте 10-15 км</i>	50 мЗв

За $T_{\text{полета}} \approx 2.5$ часовой полет из Европы в Америку на сверхзвуковом самолете эквивалентна доза пассажира – 0,04 мЗв. На обычных турбовинтовом самолетах 0,05 мЗв на 20% выше, чем на сверхзвуковых, т.к. время полета больше - $T_{\text{полета}} \approx 7.5$ часа.

Что же происходит при орбитальных полетах?



Годовая коллективная доза для населения земного шара, обусловленная воздействием космического излучения при полетах на современных самолетах составляет $6 \cdot 10^3$ чел.*Зв ($6 \cdot 10^5$ чел *бэр).

При орбитальных полетах на высоте 200-400 км доза облучения космонавтов сравнительно невелика и не превышает за 1 сут. 0,05 Зв (5мбэр). Для таких полетов не требуется создания специальных защитных устройств.

Космонавты могут подвергаться облучению частицами первичного космического излучения и излучения, возникающего при солнечных вспышках. *Доза излучения при солнечной вспышке может быть значительной и достигать нескольких сотен зивертов за вспышку.* Это обстоятельство учитывается при планировании полётов человека путем оценки вероятности возникновения вспышки за время полета любой продолжительности.

Значительно более высокие уровни облучения возможны при пересечении радиационных поясов Земли, которые являются основным источником радиационной опасности при дальних космических полетах в околоземном пространстве.

Мощность эквивалентной дозы протонов в центральной зоне внутреннего радиационного пояса, расположенной на расстоянии 2-3 тыс. км от поверхности Земли, достигает 8 Зв/сут (800 бэр/сут).

На периферийных участках на высоте 450 и 11000 км она снижается до 10^{-3} Зв/сут). Кратковременное пересечение радиационного пояса в принципе возможно при размещении экипажа в специальном защищенном отсеке.

Радиационные пояса Земли

Внутренний электронный пояс:
600 – 5000 км

Промежуток (безопасная зона):
6000 – 12 000 км

Внешний электронный пояс:
20 000 – 50 000 км

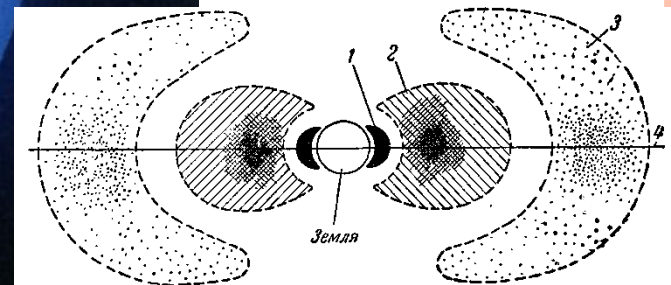
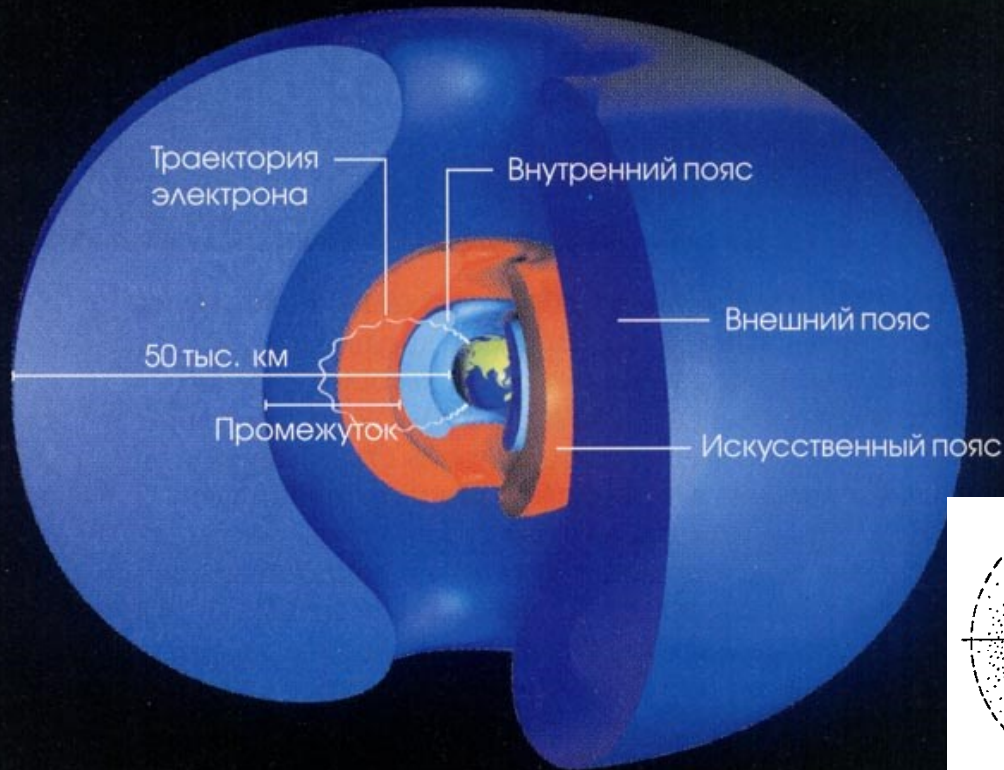
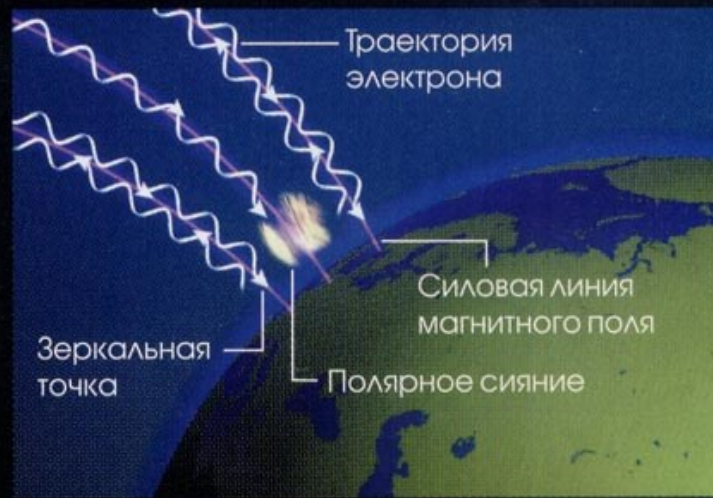
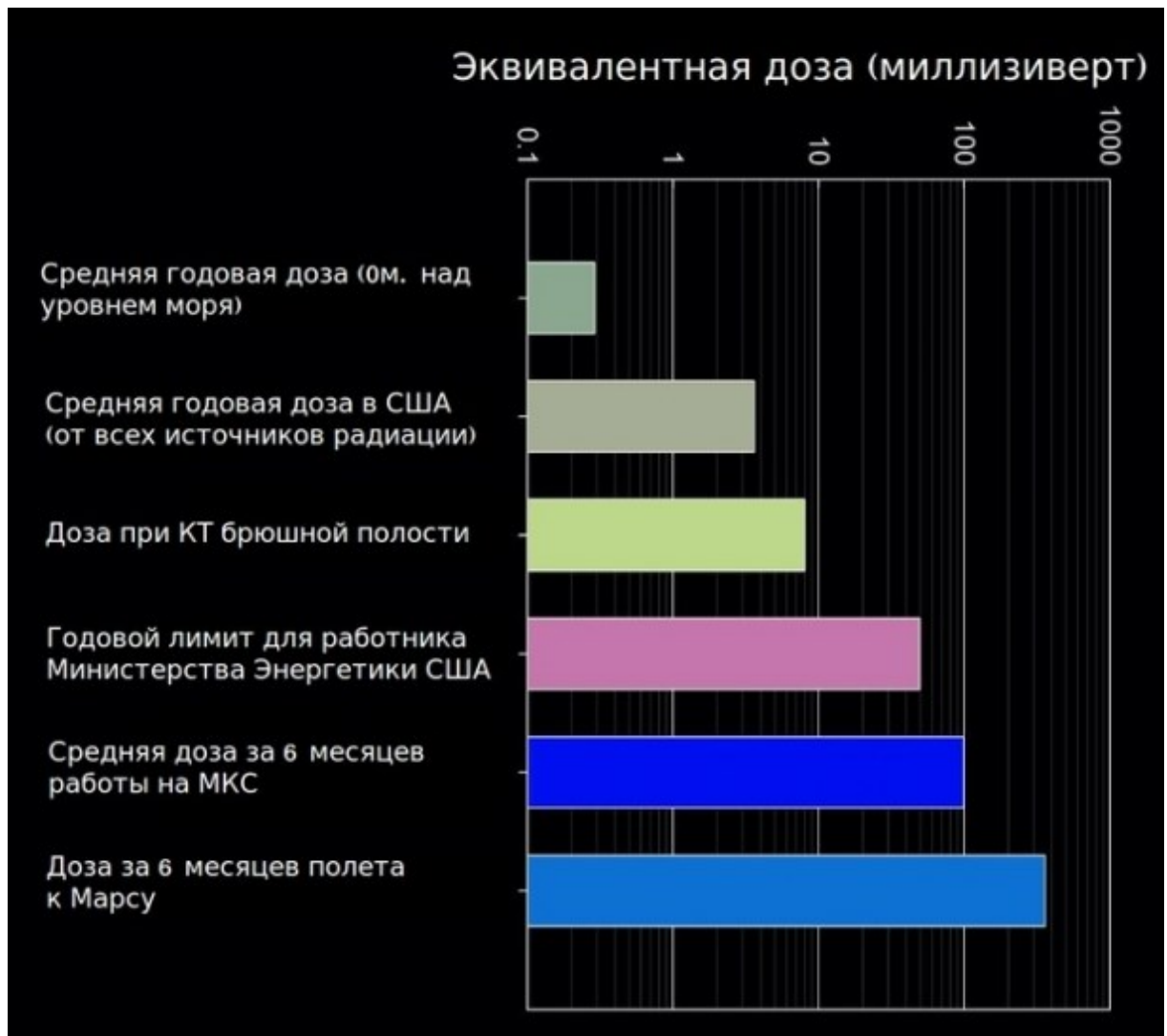


Рис. 24. Схема расположения радиационных поясов вокруг Земли.
1 — внутренний пояс; 2 — внешний пояс; 3 — самый внешний пояс; 4 — геомагнитный экватор.

Сравнение эквивалентной дозы облучения при различных условиях, включая дозу, рассчитанную на основе измерений RAD (Radiation Assessment Detector, Радиационный детектор), установленного внутри аппарата, доставившего Кьюриосити к Марсу.



Обратите внимание, что шкала на диаграмме сверху нелинейная, и доза, которую космонавт может получить за 6 месяцев перелёта к Марсу в 3 раза выше, чем доза, которую получают космонавты за 6 месяцев работы на МКС.

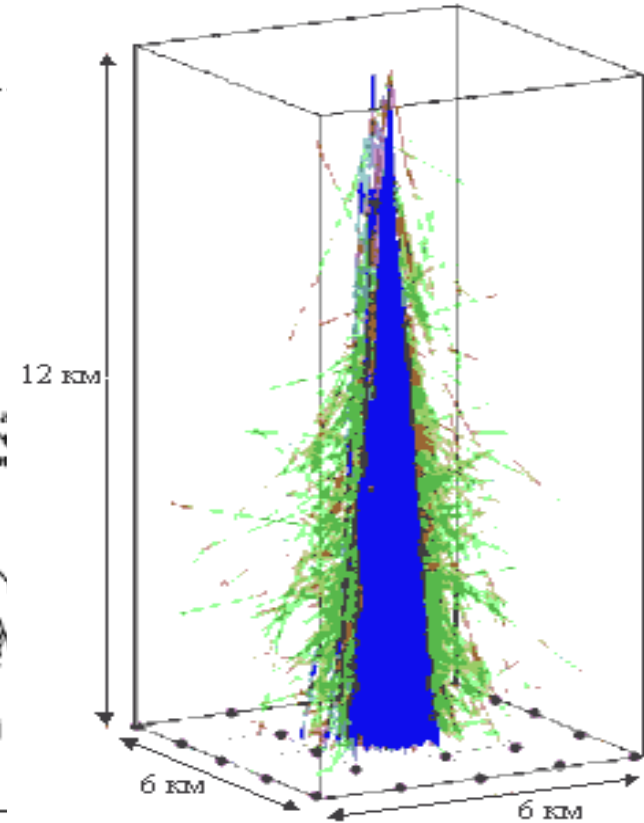
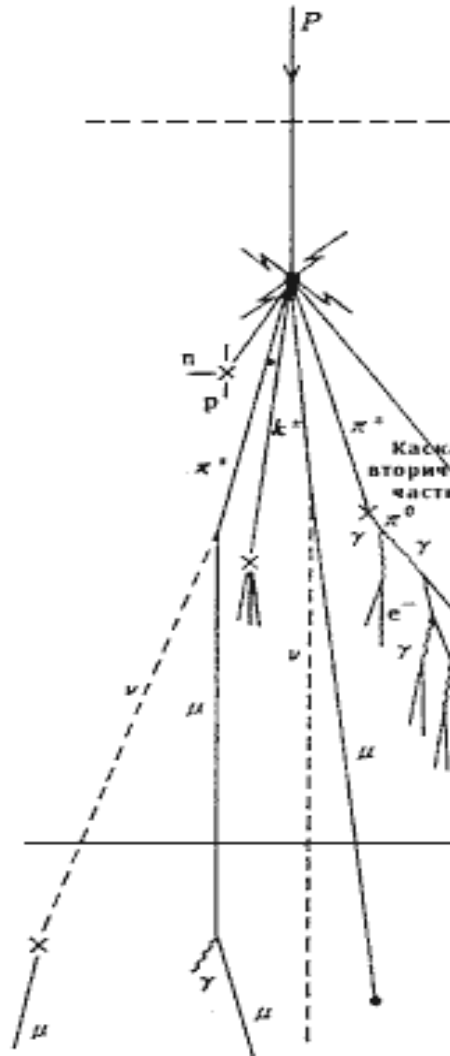
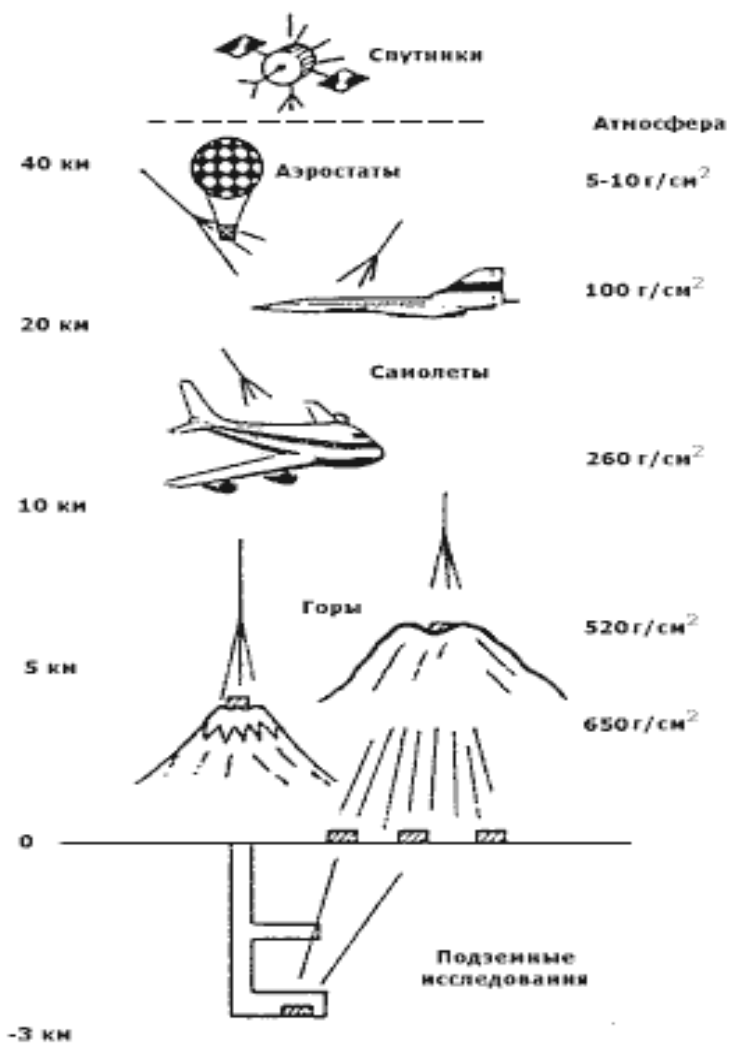
ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ ЗА ВРЕМЯ ПОЛУГОДОВОГО ПОЛЁТА НА МАРС РАССЧИТАНА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ RAD (RADIATION ASSESSMENT DETECTOR)

Согласно измерениям, средняя дневная доза, полученная Кьюриосити, составила 1,8 миллиЗв. Основным источником радиации стало галактическое излучение (доля солнечной радиации составила от 3 до 5%). Таким образом, в течение 6-ти месячного перелёта к Марсу доза облучения команды космического корабля может достигнуть 330 миллиЗв. Это как *если бы они делали компьютерную томографию всего тела один раз каждые 5 или 6 дней.*

Для сравнения, **средняя годовая доза облучения на Земле** составляет не более **5 миллиЗв**. И это только за время перелёта.

Дополнительную дозу облучения космонавты получают на поверхности Марса, где уровень радиации всего в два раза ниже, чем в межпланетном пространстве.

ВТОРИЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



Пространственное распределение компонент широкого атмосферного ливня

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

