

Радиоактивность и ядерные излучения

УО ГГУ имени Франциска Скорины

Геолого-географический факультет

Кафедра экологии

2020 г.

Что такое радиоактивность:

- ◆ Процесс радиоактивного распада. Радиоактивный распад-это спонтанное изменение состава или внутреннего строения атомных ядер путём испускания элементарных частиц, гамма-квантов или ядерных фрагментов.

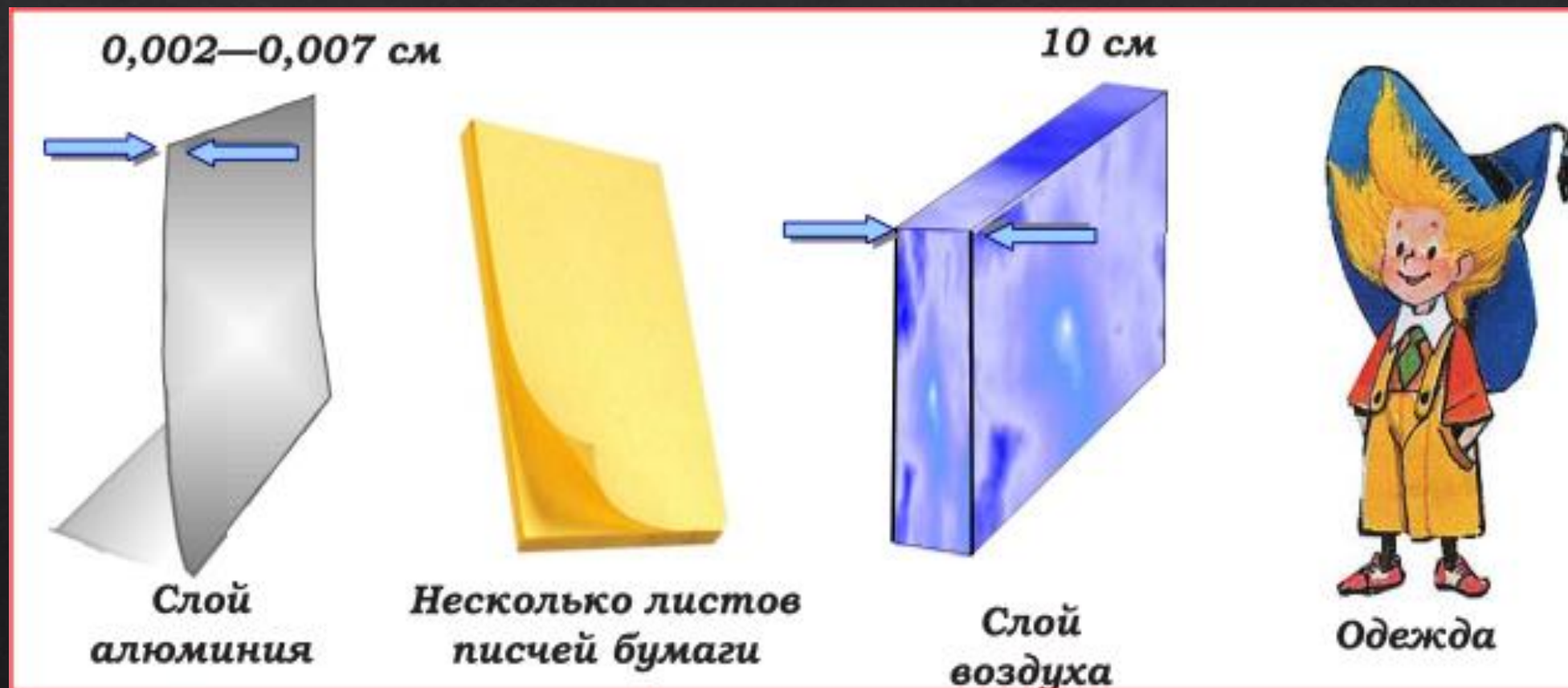
Виды излучения:

- ◇ Корпускулярное излучение представляет собой поток быстро движущихся частиц:
 - ◇ альфа-,
 - ◇ бета-,
 - ◇ протонное,
 - ◇ нейтронное и др.
- ◇ Электромагнитное (фотонное) излучение это разновидность электромагнитных волн:
 - ◇ рентгеновское,
 - ◇ гамма-излучение
- ◇ Все виды электромагнитных волн излучаются и переносят
- ◇ энергию в пространстве строго определенными порциями — квантами или фотонами.

Альфа-излучение (α):

- ♦ Альфа-излучение (α) — это поток положительно заряженных частиц. Каждая альфа-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой.
- ♦ Альфа-частицы представляют собой ядра атомов гелия ${}^4\text{He}$: имеют массу, равную 4 а. е. м., а заряд — +2.
- ♦ Альфа-частицы образуются при ядерном распаде тяжелых радиоактивных элементов.
- ♦ В результате альфа-распада заряд ядра уменьшается на 2 относительные единицы, а его масса — на 4 атомные единицы массы, то есть положение полученного в результате распада атома смещается в Периодической системе элементов на 2 позиции влево.

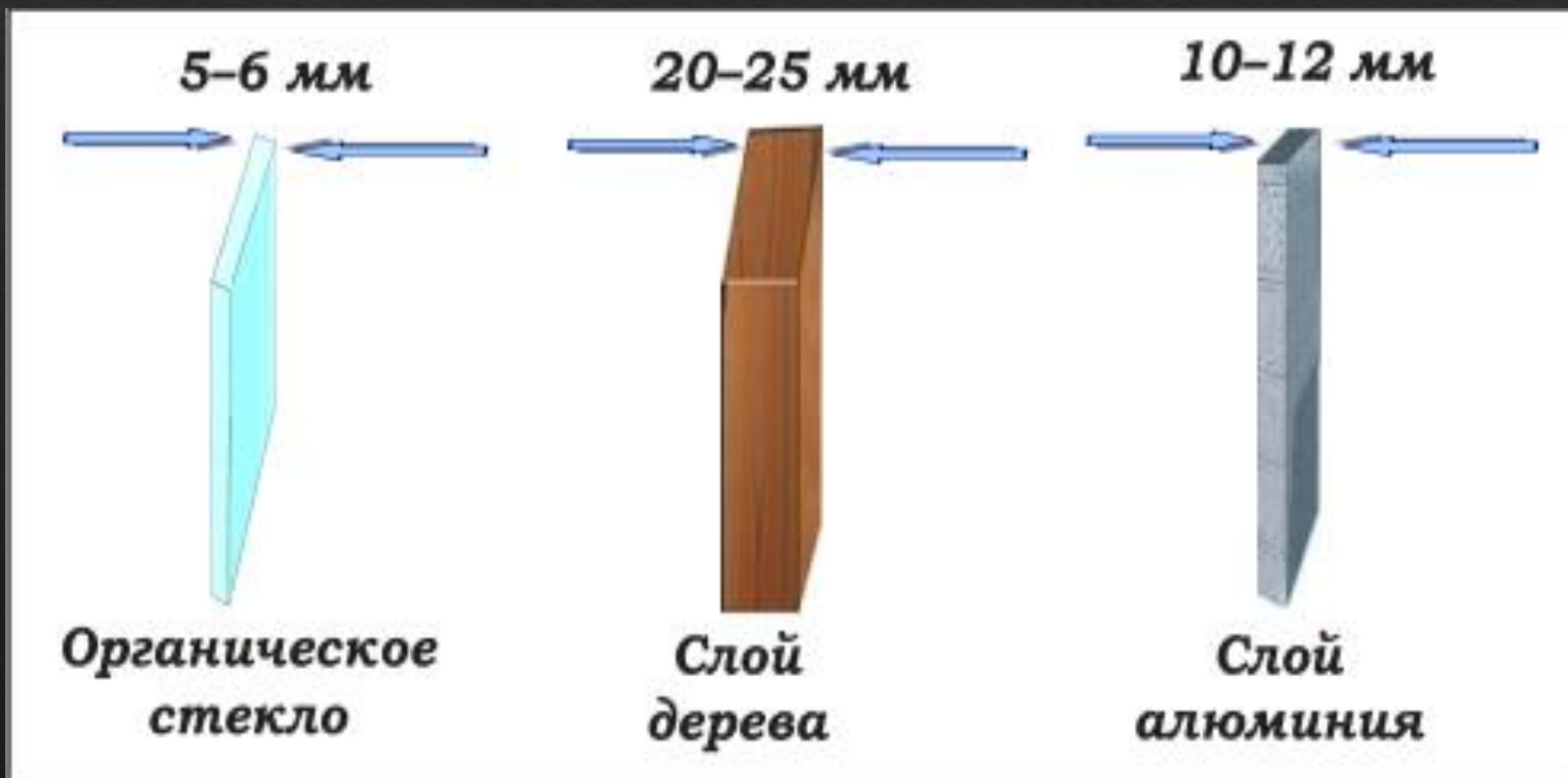
Альфа-излучение задерживают:



Бета-излучение (β):

- ✧ Бета-излучение (β) – это поток быстро движущихся свободных электронов.
- ✧ По размерам и массе они значительно уступают альфа-частицам. Так, масса электрона в 7 344 раза меньше массы альфа-частицы.
- ✧ Заряд электрона по абсолютной величине вдвое меньше заряда альфа-частицы.
- ✧ Бета-частицы испускаются, например, в результате распада радионуклидов с избыточным содержанием нейтронов в ядре.
- ✧ В основе бета-распада лежит происходящее в ядре атома превращение нейтрона в протон.
- ✧ В результате бета-распада заряд ядра атома увеличивается на единицу, а его масса остается практически без изменения.

Бета-излучение задерживают:



Гамма-излучение (γ) и рентгеновское излучение:

- ♦ Гамма-излучение (γ) и рентгеновское излучение относятся к электромагнитным (фотонным) излучениям.
- ♦ Они характеризуются короткими длинами волн (большими частотами) и, как любое электромагнитное излучение, испускаются строго определенными порциями (квантами, или фотонами).
- ♦ Оба вида излучения отличаются высокой энергией фотонов.
- ♦ Гамма-излучение (γ) и рентгеновское излучение имеют одинаковую природу, их кванты (фотоны) не несут электрического заряда.
- ♦ Оба вида излучения представляют собой электромагнитные волны, которые, как и все виды электромагнитных волн, распространяются в вакууме со скоростью света (300 000 км/с).
- ♦ Отличаются эти разновидности электромагнитного излучения по длине волны и энергии фотонов.
- ♦ Рентгеновское излучение имеет длины волн от 10^{-5} до 100 нм (от 10^{-14} до 10^{-7} м). 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м (одна миллиардная часть метра).
- ♦ Отличаются эти виды излучения и по способам получения. Рентгеновское излучение можно получить искусственно в рентгеновской трубке, работающей на электрической энергии. При отключении электрического питания рентгеновское излучение прекращается.

Слой половинного ослабления гамма-излучения с энергией гамма-квантов 1 МэВ для разных веществ составляет:

- свинец — 13 см,
- железо — 3,3 см,
- бетон — 26 см,
- вода — 26 см.

Слой бетона толщиной 50 см более чем в 100 раз ослабляет гамма-излучение, сопровождающее распад ^{137}Cs .

Характеристики основных видов ионизирующего излучения

Характеристики	И з л у ч е н и е		
	альфа-частицы (α)	бета-частицы (β)	гамма-кванты (γ)
Вид излучения	ядра атомов гелия	электроны	электромагнитное излучение
Заряд, отн. ед.	+2	-1	0
Масса покоя, г	$6,64 \cdot 10^{-24}$	$9,11 \cdot 10^{-28}$	0
Относительная проникающая способность при одинаковой энергии	1	100	1 000

Основные дозиметрические величины:

- ♦ Дозиметрия - это раздел прикладной ядерной физики, в котором изучают величины, характеризующие ионизирующее излучение и его взаимодействие с веществом.

Величины, характеризующие ионизирующее излучение и последствия его воздействия на облучаемый объект, называют дозиметрическими. Различают базовые и нормируемые дозиметрические величины.

- ♦ Нормируемые дозиметрические величины

Нормируемые дозиметрические величины связывают дозу облучения с медико-биологическими последствиями действия ионизирующего излучения на организм человека при средних и малых дозах, являются мерой вреда от воздействия ионизирующих излучений на человека.

Позволяют оценить вероятность возникновения стохастических эффектов в результате воздействия малых и средних доз ионизирующего излучения на организм человека.

Не могут быть измерены непосредственно. Их оценивают по величине, которая может быть непосредственно измерена (например, по величине поглощенной дозы), путем умножения ее на определенные коэффициенты.

Эквивалентная и эффективная дозы – нормируемые дозиметрические величины.

Детекторы

Детектором называют устройство, в котором энергия ионизирующего излучения преобразуется в электрическую или другие виды энергии, что позволяет регистрировать излучение.

Регистрация каждого вида излучения (*альфа*-, *бета*-, *гамма*- или др.) имеет свои особенности. Существует множество разновидностей детекторов в зависимости от типа регистрируемого излучения и типа прибора.

Важнейшие характеристики детектора ионизирующего излучения:

- эффективность регистрации,
- энергетическое разрешение,
- быстродействие.

Эффективность регистрации

Доля частиц или гамма-квантов, регистрируемых детектором из числа всех, попавших в рабочий объем детектора

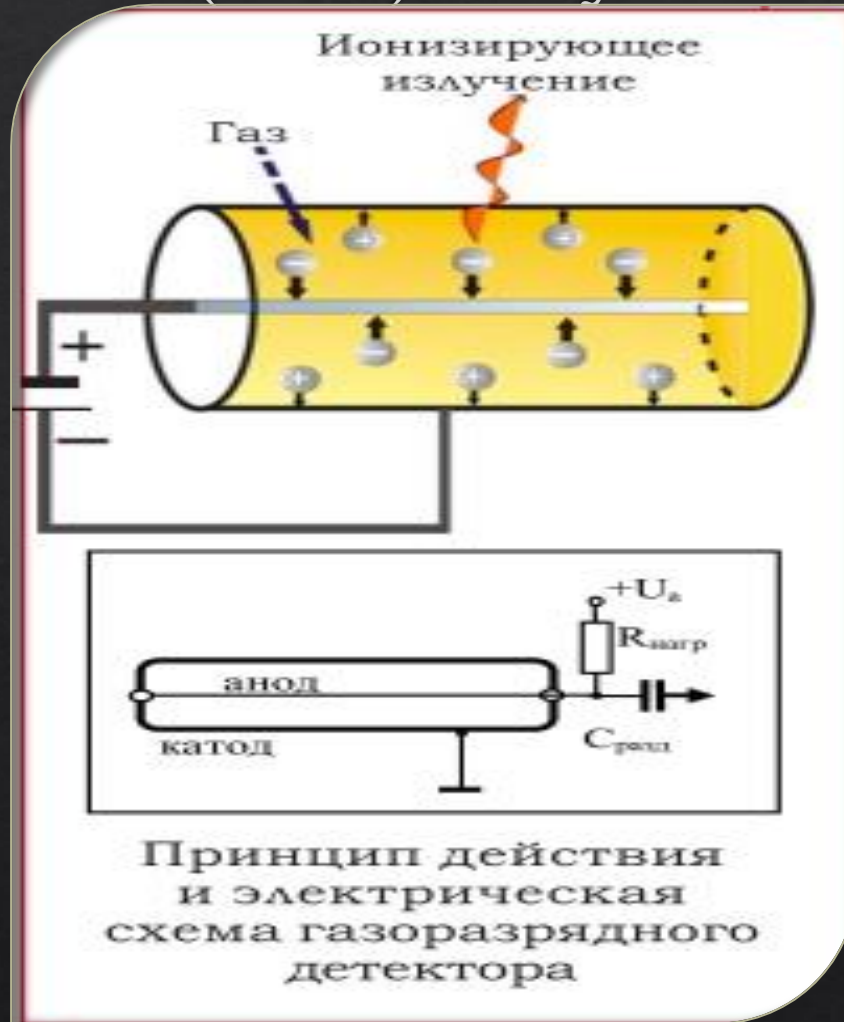
Энергетическое разрешение

Способность различать частицы или гамма-кванты разных энергий

Быстродействие

Максимальное число частиц или гамма-квантов излучения, поступающих в рабочий объем детектора в единицу времени и регистрируемых детектором как отдельные события

Работа газоразрядных, (ионизационных) детекторов основана на ионизации рабочего вещества (газа) излучением.



Пропорциональные детекторы и счетчики Гейгера-Мюллера:

- ✧ это разновидности приборов на основе газоразрядных детекторов.
- ✧ Они отличаются относительно высоким анодным напряжением, что позволяет значительно усиливать электрические сигналы, вызываемые ионизирующим излучением.
- ✧ Корпус (катод) детектора чаще всего изготавливается из алюминия, его толщина обычно не превышает 0,1 мм.
- ✧ При еще более высокой напряженности поля (область Гейгера) начинает играть роль возбуждение молекул электронно-ионной лавиной.
- ✧ При возврате в основное состояние молекулы испускают фотоны с энергией, достаточной для образования фотоэлектронов на катоде.
- ✧ Эти электроны становятся инициаторами новых лавин.
- ✧ Поскольку фотоны испускаются молекулами
- ✧ в различных направлениях, лавины
- ✧ охватывают весь рабочий объем счетчика.



Полупроводниковые детекторы:

- ◆ Относятся к ионизационным.
- ◆ По принципу действия они подобны ионизационным камерам, но вместо газа в качестве рабочего вещества используют полупроводниковые материалы (область p-n-перехода, включенного в обратном направлении).
- ◆ Длина пробега альфа-частиц в твердом теле невелика, поэтому для их регистрации достаточно тонкого слоя полупроводника.
- ◆ Для регистрации бета- и гамма-излучений нужен более толстый слой полупроводникового материала.
- ◆ Полупроводниковые детекторы позволяют хорошо различать частицы, близкие по энергии, то есть обладают высоким энергетическим разрешением.
- ◆ Некоторые виды полупроводниковых детекторов работают лишь при температуре жидкого азота, что значительно усложняет их конструкцию и эксплуатацию.



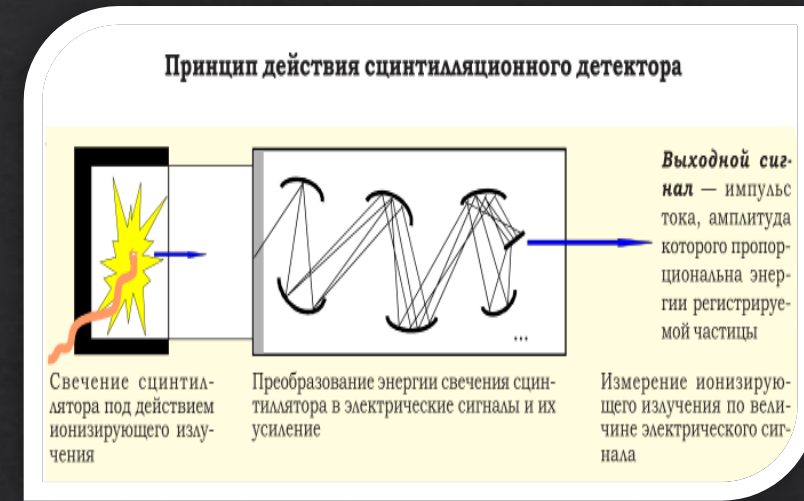
Полупроводниковые
детекторы

Сцинтилляционные детекторы:

- ◇ Сцинтилляционные детекторы широко распространены.
- ◇ Их работа основана на способности некоторых соединений светиться под действием ионизирующего излучения.
- ◇ При попадании в детектор излучение возбуждает молекулы этих соединений, то есть переводит электроны молекул на более высокие энергетические уровни.
- ◇ Возврат молекул в основное энергетическое состояние происходит спустя очень короткий промежуток времени и сопровождается испусканием фотонов.
- ◇ Световые вспышки регистрируются.
- ◇ Такой способ детектирования ионизирующих излучений нашел широкое применение с появлением фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) – устройств, позволяющих измерять сверхслабые (вплоть до единичных фотонов) световые вспышки.



- ❖ В качестве сцинтилляторов используют неорганические и органические соединения в твердом и жидком состоянии.
- ❖ Для регистрации гамма-квантов широко используют сцинтилляторы на основе монокристаллов NaI и CsI. В этом случае эффективность регистрации гамма-излучения составляет десятки процентов.
- ❖ При регистрации бета-излучения предпочтительнее использовать органические сцинтилляторы, в том числе и жидкие.
- ❖ В случае альфа-излучения применяют сцинтилляторы на основе сульфида цинка или кадмия.
- ❖ Сцинтилляционные детекторы имеют неплохое энергетическое разрешение, однако в этом отношении уступают полупроводниковым. Оба типа детекторов отличаются высоким быстродействием.



Внешнее облучение жителей Земли. Источники:

- ◇ космическое излучение,
- ◇ радионуклиды земной коры,
- ◇ медицинские источники,
- ◇ промышленные источники.
- ◇ Внутреннее облучение жителей Земли.

Способы поступления радионуклидов в организм человека:

ингаляционный (через органы дыхания), пероральный (с пищей и водой), через кожу, слизистые оболочки глаз.

- ◇ Радионуклиды естественного происхождения поступают в организм человека:

вместе с вдыхаемым воздухом:

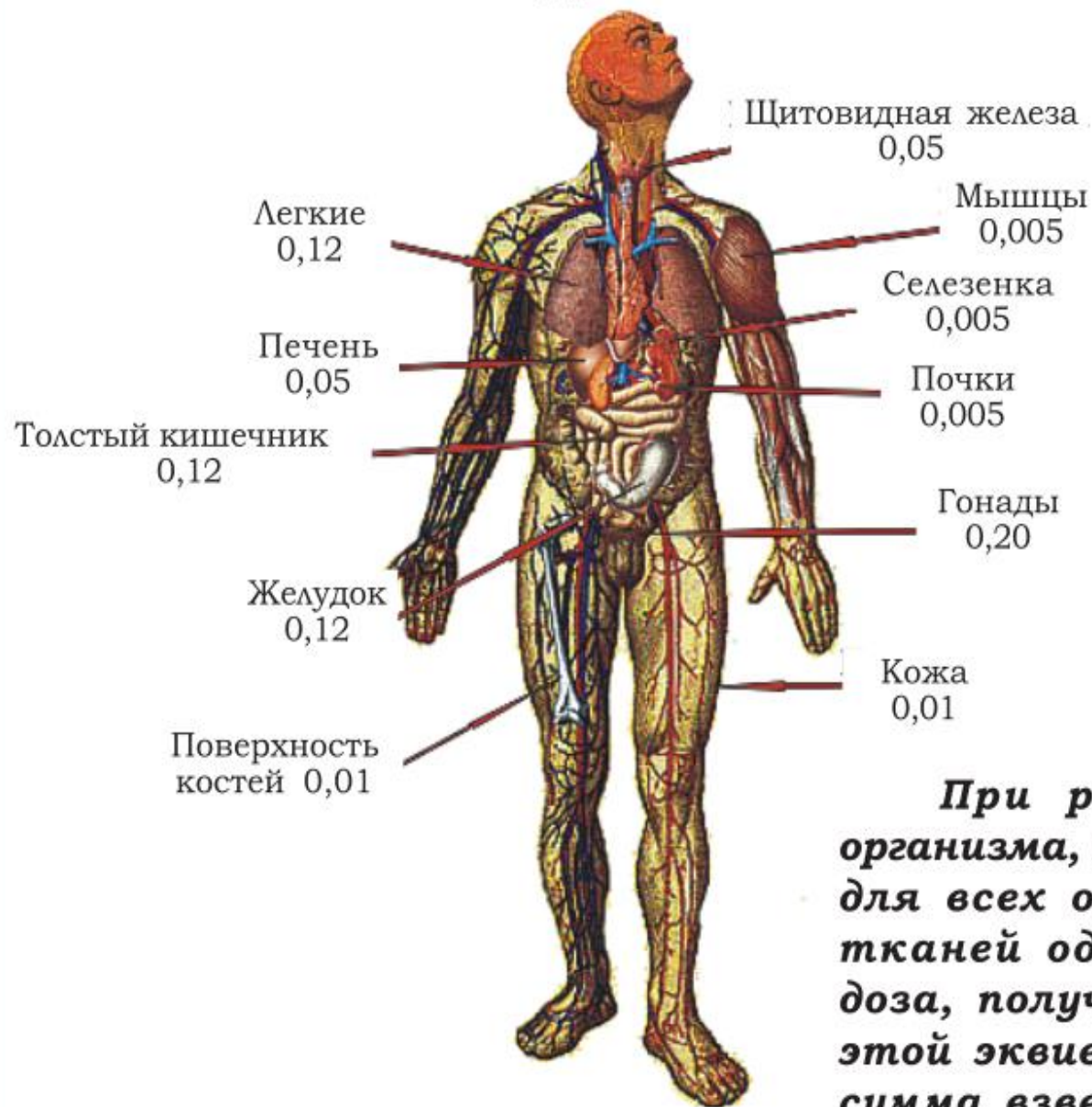
изотопы радона (^{222}Rn , ^{220}Rn), являющиеся промежуточными членами естественных радиоактивных семейств урана и тория, которые образуются в верхних слоях атмосферы под действием космического излучения, и др.; радиоактивные углерод (^{14}C) и тритий.

с пищей и водой :

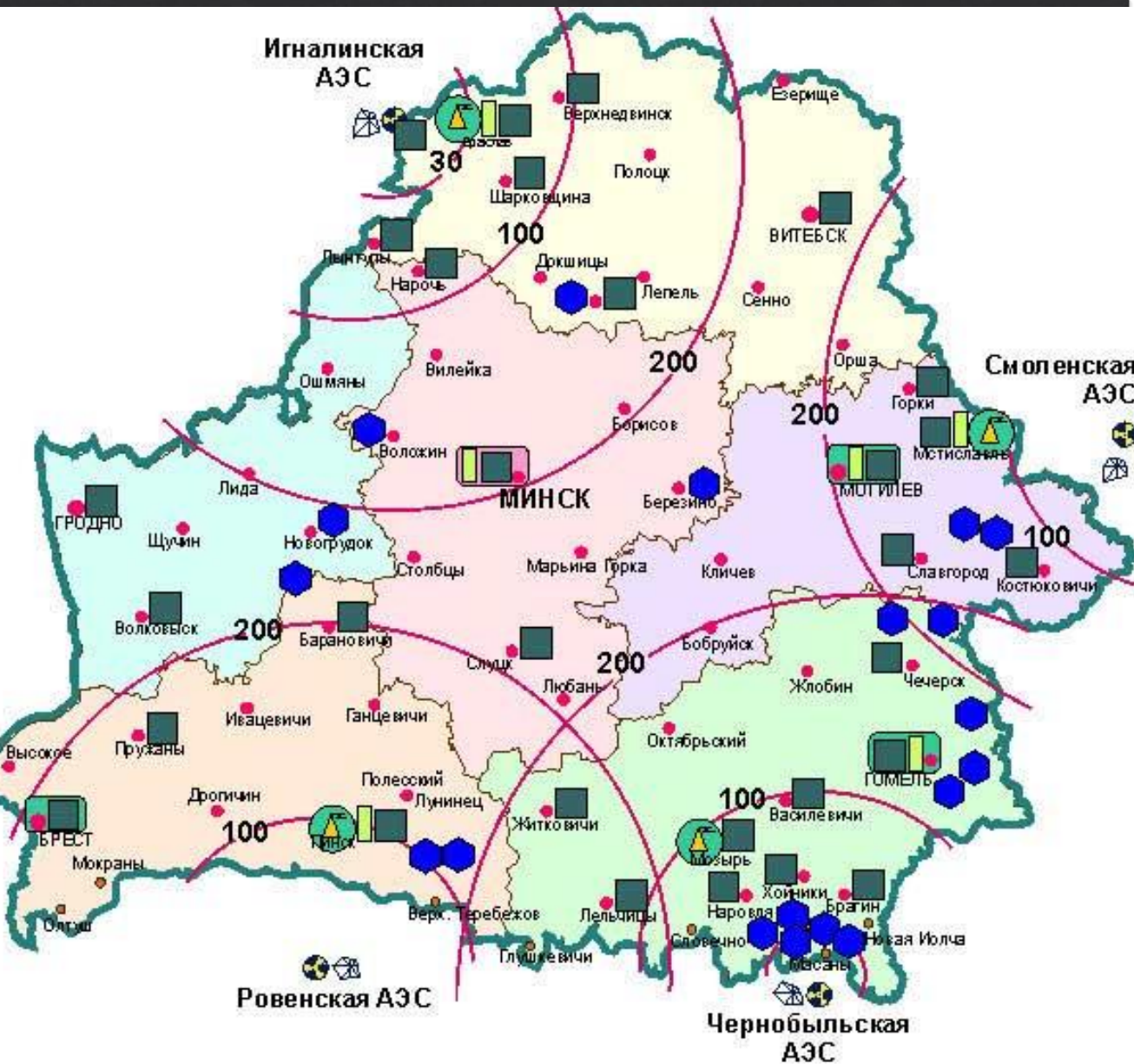
радионуклиды, входящие в состав естественных радиоактивных семейств ^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U ,

радиоактивный калий (^{40}K).

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов человека (W_T)



При равномерном облучении организма, когда эквивалентная доза для всех органов и биологических тканей одинакова, эффективная доза, полученная человеком, равна этой эквивалентной дозе. Поэтому сумма взвешивающих коэффициентов равна 1,00.



Словные обозначения:



Преобладающее направление ветра - "среднегодовая роза ветров"



АЭС



Удаление от АЭС



Измерение уровней мощности дозы гамма-излучения



Пункты отбора проб радиоактивных аэрозолей в приземном слое атмосферы



Пункты отбора проб радиоактивных выпадений



Ландшафтно-геохимические полигоны



Пункты автоматизированного измерения уровней мощности дозы гамма-излучения



Национальный центр реагирования



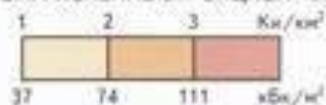
Региональный центр реагирования



Локальный центр реагирования

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СТРОНЦИЕМ - 90



ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПЛУТОНИЕМ - 238, 239, 240



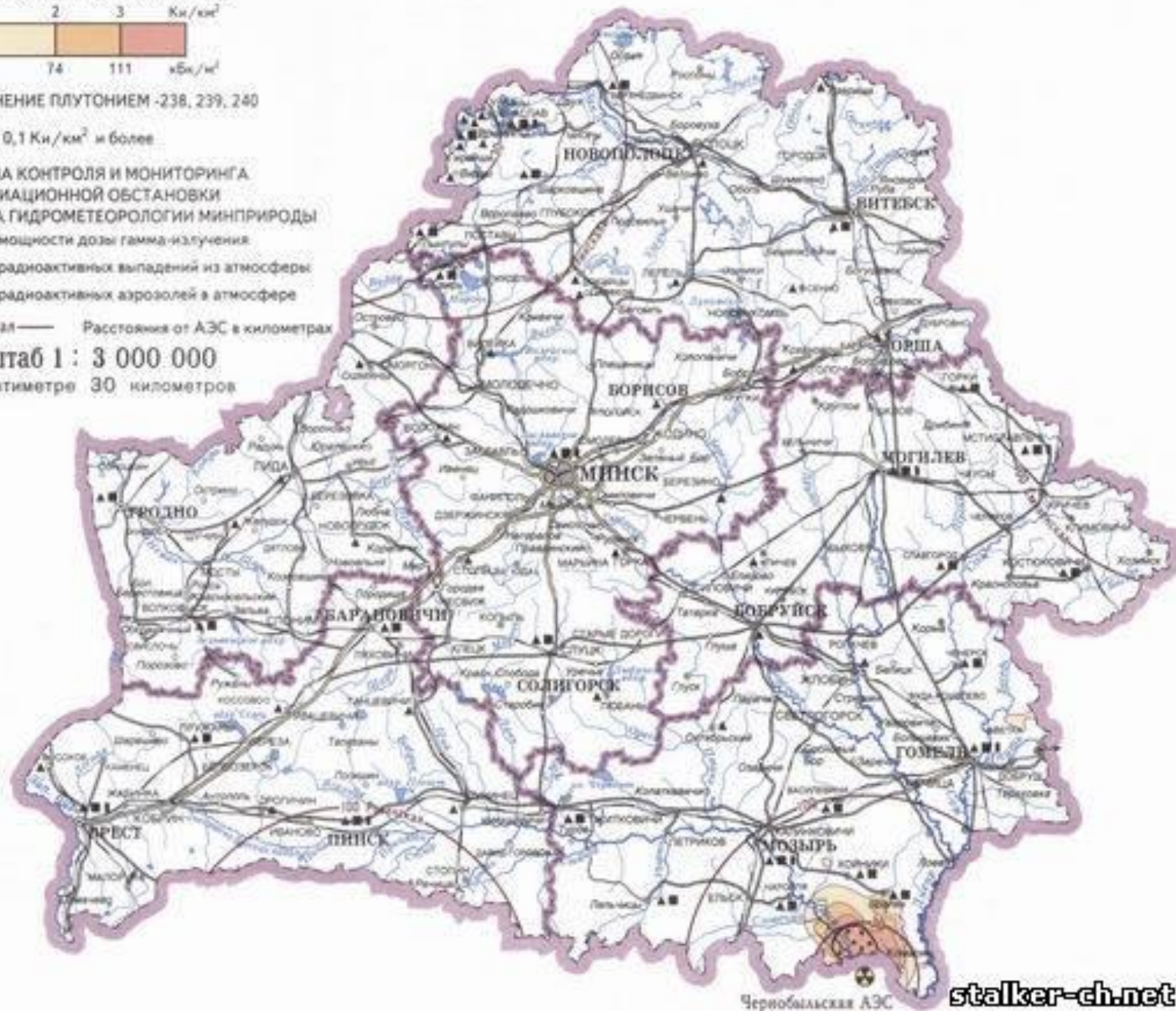
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА
РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ
ДЕПАРТАМЕНТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ МИНПРИРОДЫ

- ▲ измерения мощности дозы гамма-излучения
- измерения радиоактивных выпадений из атмосферы
- измерения радиоактивных аэрозолей в атмосфере

— 100 Игналинский — Расстояния от АЭС в километрах

Масштаб 1 : 3 000 000

в 1 сантиметре 30 километров



Чернобыльская АЭС

stalker-ch.net

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЦЕЗИЕМ-137

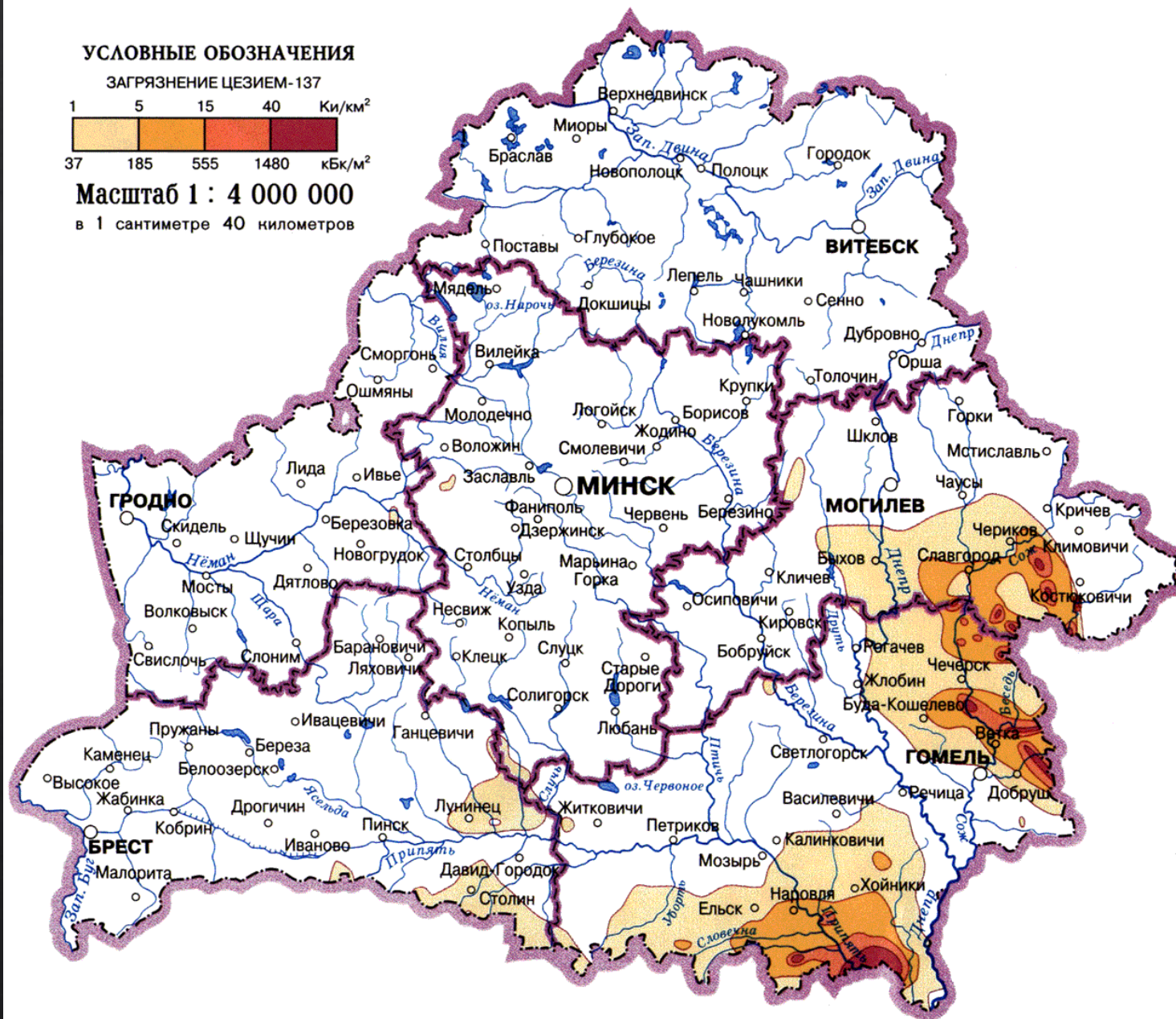
1 5 15 40 Ки/км²



37 185 555 1480 кБк/м²

Масштаб 1 : 4 000 000

в 1 сантиметре 40 километров



Реакция организма человека на действие ионизирующего излучения в больших дозах:

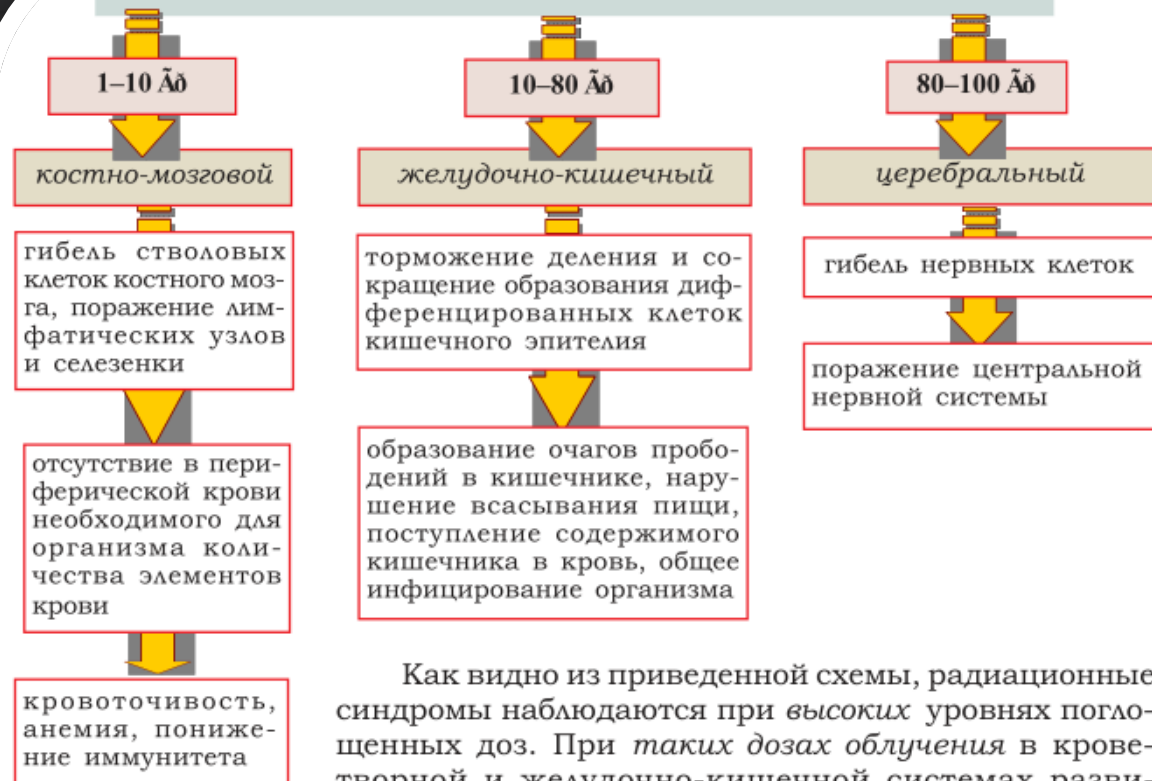
- ◆ Первичная реакция: тошнота, рвота, общая слабость, головные боли, потливость, сонливость
- ◆ Фаза клинического благополучия: исчезновение всех симптомов. Изменения состава крови и костного мозга.
- ◆ Фаза выраженных клинических последствий: резкое ухудшение самочувствия, слабость, повышение температуры, кровоизлияния, поражение кишечника, снижение содержания лейкоцитов и лимфоцитов в крови, анемия, ослабление иммунитета, возникновение воспалительных процессов.
- ◆ Данная фаза продолжается от одной до трех недель: стадия раннего восстановления (в случае благоприятного исхода) или возможность отдаленных последствий облучения.



Реакция органов человека на действие гамма- (или рентгеновского) излучения

Орган или система органов		Доза (Гр)	Эффекты
Орган или система органов		Доза (Гр)	Эффекты
Печень		1	Возникновение хромосомных aberrаций в 15–20 % клеток. Поскольку клетки печени практически не делятся, возникающие нарушения не ведут к гибели организма
		40	Развитие фиброза печени в течение одного месяца после облучения
Костный мозг		1	Возникновение хромосомных aberrаций в 15–20 % клеток
Половые железы	семенники	0,15	Временная стерильность
		2 и выше	Вероятность постоянной стерильности
	яичники	1–2	Возникновение временного бесплодия
		2,5–6	Развитие стойкого бесплодия
Кожа		5	Клетки эпидермиса (верхнего слоя кожи) могут восстанавливать повреждения
		10	Необратимые нарушения
Органы зрения		2	Появление воспалительных процессов
		2–6	Возникновение катаракты (помутнение хрусталика)
Сердце		5–10	Появления изменений в миокарде
		20	Поражение эндокарда и других структур сердца
Почки		30	Развитие нефросклероза
Легкие		50	100%-ная смертность
Центральная нервная система		100	Гибель клеток

Радиационные синдромы



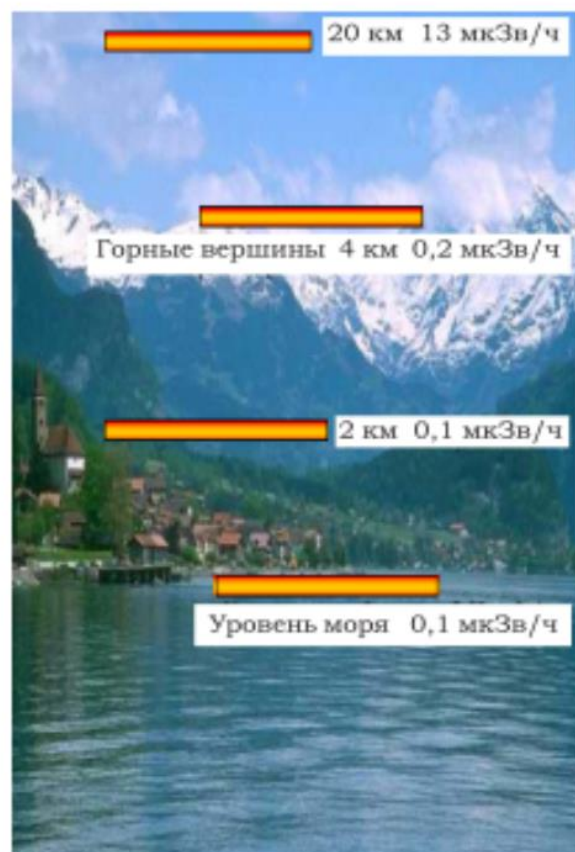
Как видно из приведенной схемы, радиационные синдромы наблюдаются при *высоких* уровнях поглощенных доз. При *таких дозах облучения* в кровеносной и желудочно-кишечной системах развиваются сходные изменения:

- происходит гибель молодых, делящихся клеток,
- прекращается клеточное деление и возобновление клеток.

Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение

Поглощенная доза, Гр	Реакция организма
0–0,25	Отсутствие явных повреждений
0,2–0,5	Возможное изменение состава крови
0,5–1	Изменения в крови, усталость, слабая тошнота
1–2	Изменения в составе крови, рвота, явные патологические изменения. Развитие легкой степени лучевой болезни
2–4	Кровоизлияния. Стерильность
3–5	Тяжелая степень лучевой болезни. Смертность приближается к 50 %
6	Повреждения центральной нервной системы. Смертность приближается к 100 %
> 8	Смерть практически неизбежна

**Мощность дозы
от космического
излучения на разной
высоте над уровнем
моря**



**Средние эффективные дозы внешнего облучения
от земных источников радиации в мкЗв/год**



Средняя эффективная доза внешнего облучения жителей Республики Беларусь, Украины, средней полосы европейской части Российской Федерации от земных источников радиации составляет 0,35 мЗв в год. Однако есть места на земном шаре, где уровни радиации значительно выше, например, на побережье юго-западной Индии, в Бразилии (неподалеку от города Посус-ди-Калдас), Иране (вблизи города Рамсер).

Использование источников ИИ в медицине:

- ◇ Источники ионизирующего излучения широко используются в медицине. Можно выделить следующие области их применения:
 - ◇ лучевая диагностика,
 - ◇ радиоизотопная диагностика,
 - ◇ радиационная терапия.
- ◇ Эффективные дозы облучения жителей Земли от источников ионизирующего излучения, применяемых в медицине, составляют, в среднем, 0,4 мЗв в год.
- ◇ Доза облучения, получаемая человеком при рентгенографии грудной клетки, – 0,1 мЗв.

Томография :

- ♦ метод неразрушающего послойного исследования внутренней структуры объекта посредством просвечивания его в различных направлениях (так называемое «сканирующее просвечивание»).
- ♦ При использовании метода компьютерной томографии пациенты получают в 10 раз более высокие дозы облучения, чем при обычной рентгенографии, поэтому ее используют лишь в тех случаях, когда обычная рентгенография неэффективна.
- ♦ В настоящее время существует несколько разновидностей метода томографии:
 - ♦ рентгеновская,
 - ♦ ядерно-Магнитнорезонансная
 - ♦ (ЯМР),
 - ♦ протонная,
 - ♦ ультразвуковая,
 - ♦ гамма-томография.



Радиоизотопная диагностика:

- ❖ Радиоактивные изотопы широко используются в медицине в диагностических целях.
- ❖ Радиоизотопная диагностика основана на регистрации излучения от введенных в организм человека радиоактивных препаратов (*in vivo*) или радиометрии взятых у пациента биологических проб при добавлении к ним радиоактивных веществ (*in vitro*).

Использование радионуклидов для диагностики <i>in vivo</i>	
Радионуклид	Что помогает установить?
^{131}I	Состояние щитовидной железы
^{75}Se	Функционирование поджелудочной железы
^{24}Na	Скорость кровотока и проницаемость кровеносных сосудов
^{42}K	Нарушения биологических процессов с участием калия
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Опухоли головного мозга, патологию слюнных желез, крупных сосудов, скелета, почек, печени, сердца

