

# Радиация и ее воздействие на живой организм

Кошелев Ф.П.  
доцент, к.т.н

Радиоактивность – отнюдь не новое явление, новизна состоит лишь в том, как люди пытались ее использовать. Радиоактивность, и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли.

Ионизирующее излучение сопровождало и Большой взрыв. С того времени радиация постоянно наполняет космическое пространство. Радиоактивные материалы вошли в состав Земли с самого ее рождения. Даже человек слегка радиоактивен, так как во всякой живой ткани присутствуют в следовых количествах радиоактивные вещества. Но с момента открытия этого универсального фундаментального явления не прошло еще и ста лет.

**Радиация** – это один из многих естественных факторов окружающей среды. Естественный радиационный фон влияет на жизнедеятельность человека, как и другие факторы окружающей среды, с которыми организм находится в состоянии непрерывного обмена.

**Радиоактивный распад** – это процесс самопроизвольного распада неустойчивых ядер атомов в другие ядра (в конечном итоге, стабильные).

**Радиация** – излучение энергии в виде быстрых элементарных частиц или электромагнитных волн. При превращениях (распадах) радиоактивных ядер атомов возникают различные виды излучения: альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское излучение, нейтроны, тяжелые ионы.

При взаимодействии с веществом энергия излучения передается атомам и молекулам, превращая их в заряженные частицы - ионы. В результате ионизации разрываются химические связи молекул в живых организмах, и тем самым вызываются биологически важные (соматические и генетические) изменения. Процесс радиоактивного распада происходит с постоянной скоростью, присущей данному виду радиоактивных ядер (радионуклидов).

Время, за которое распадается в среднем половина всех имеющихся радионуклидов, называется **ПЕРИОДОМ ПОЛУРАСПАДА ( $T_{1/2}$ )**.

Хотя все радионуклиды нестабильны, одни из них более долго живут, чем другие.

### Например

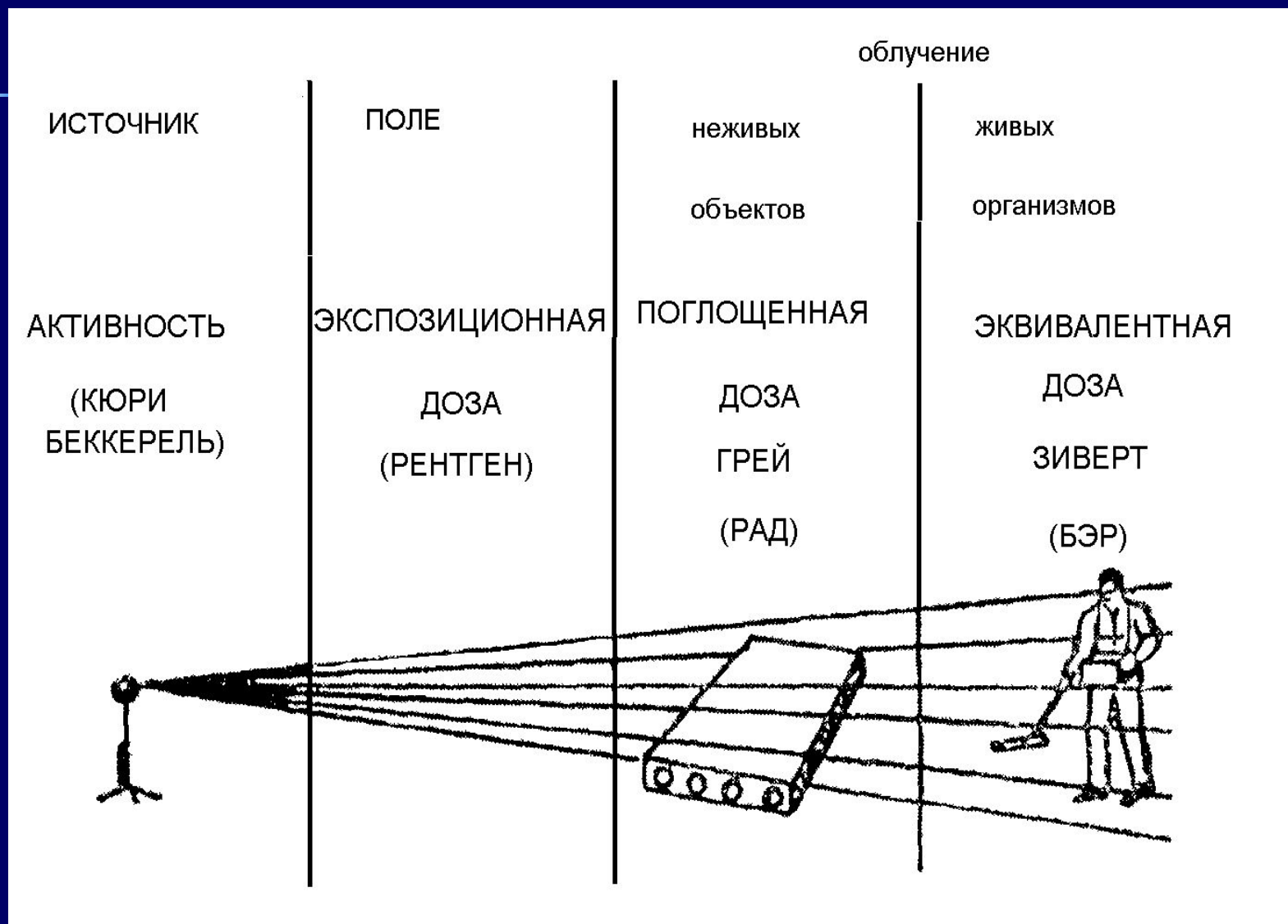
Протактиний-234 распадается почти моментально ( $T_{1/2}=1,17$  минуты), а уран-238 – очень медленно (4,47 млрд лет).

Количество распадающихся радионуклидов в единицу времени в веществе определяют термином **АКТИВНОСТЬ**.

Единицы измерения активности радиоактивных веществ – Кюри (Ки) и Беккерель (Бк). Численному значению активности 1 Ки соответствует активность 1 г радия в равновесии с продуктами его распада. За масштаб единицы 1 Бк принят 1 распад в секунду.

Между единицами активности существует взаимосвязь: 1 Ки=37 млрд Бк, 1 Бк=1 расп./с.

# ПОЛЯ, ДОЗЫ, РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ



Органы и ткани человека имеют разную чувствительность к облучению. Наиболее уязвимы красный костный мозг, гонады. Менее восприимчивы печень, щитовидная железа, мышцы и другие внутренние органы. При одинаковой дозе облучения возникновение заболевания легких более вероятно, чем щитовидной железы, а облучение гонад опасно из-за возможности генетических повреждений

# Естественное облучение

Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации. На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения падают на поверхность Земли из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре. Человек подвергается облучению двумя способами. Радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи; в этом случае говорят о внешнем облучении. Или же они могут оказаться в воздухе, которым дышит человек, в пище или в воде и попасть внутрь организма. Такой тип облучения называют внутренним.



# Естественное облучение



# Космические лучи

Радиационный фон, создаваемый космическими лучами, дает чуть меньше половины внешнего облучения, получаемого населением от естественных источников радиации. Космические лучи, в основном, приходят из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек. Космические лучи могут достигать поверхности Земли или взаимодействовать с ее атмосферой, порождая вторичное излучение и приводя к образованию различных радионуклидов.

# Космические лучи

Нет такого места на Земле, куда бы ни падал этот невидимый космический душ. Но одни участки земной поверхности более подвержены его действию, чем другие. Северный и Южный полюсы получают больше радиации, чем экваториальные области, из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные частицы (из которых в основном и состоят космические лучи). Уровень облучения растет с высотой, поскольку при этом над нами остается все меньше воздуха, играющего роль защитного экрана.

# Земная радиация

Основные радиоактивные изотопы, встречающиеся в горных породах Земли, – это калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало соответственно от урана-238 и тория-232 – долгоживущих изотопов, включившихся в состав Земли с самого ее рождения.

Средняя по миру доза природного облучения составляет 2,4 мЗв в год. Основной вклад дает газ радон. Самый большой уровень излучения в горных районах, а также там, где много песков и, особенно, горной породы - гранита. Например, в метро.

# Земная радиация

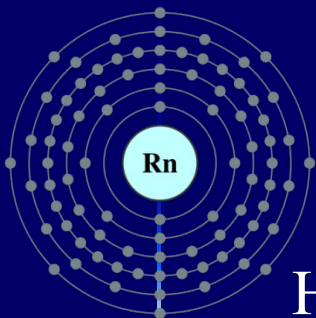
Доза естественного облучения во Франции – 5 мЗв в год, в Финляндии – 7,6 мЗв, в Швеции – 6,3 мЗв, в Красноярске – 2,3 мЗв. Самый большой природный фон в России на Кавказских Минеральных Водах. Но именно радоновые ванны – **парадокс!** – считаются целебными и помогают от множества хворей. Такая же картина в Карловых Варах, в Баден-Бадене, где природный радиационный фон также значительно выше среднего.

Рекордным местом на планете по природному фону являются пляжи Копакабаны в Бразилии, где накоплены, так называемые, монацитовые пески, способные поднять годовую дозу до 100 мЗв.

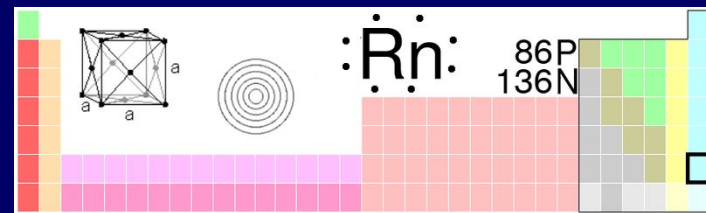
# Внутреннее облучение

В среднем примерно  $2/3$  эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой и воздухом.

Совсем небольшая часть этой дозы приходится на радиоактивные изотопы типа углерода-14 и трития, которые образуются под воздействием космической радиации. Все остальное поступает от источников земного происхождения. В среднем человек получает около 180 микроЗивертов в год за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов ряда тория-232.



# Радон



Наиболее весомым из всех естественных источников радиации является невидимый, не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ (в 7,5 раза тяжелее воздуха) радон. Согласно текущей оценке НКДАР ООН, радон вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада ответствен примерно за 3/4 годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях.

# Радон

В природе радон встречается в двух основных формах: в виде радона - 222, члена радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238, и в виде радона-220, члена радиоактивного ряда тория-232. По-видимому, радон-222 примерно в 20 раз важнее, чем радон-220 (имеется в виду вклад в суммарную дозу облучения).

При равновесной объёмной активности в воздухе свыше  $100 \text{ Бк/м}^3$  радон, согласно НРБ-99, уже представляет значимую радиационную опасность. Для старых построек допустима объёмная активность до  $200 \text{ Бк/м}^3$ . При превышении этой величины обязательны защитно-профилактические мероприятия.



# *Почему радон так опасен?*

Радон инертный газ, и, естественно, ни в каких биохимических процессах участвовать не может. Вдохнул – выдохнул...

Некоторая часть радона растворяется в крови легочной ткани и разносится по всему организму. Кроме того, он сорбируется на любых пылевых, аэрозольных и смолистых отложениях в дыхательных путях; именно поэтому радоновая опасность резко повышается для шахтеров, у которых запыленность легких, увы, нередкое явление, и для курящих – из-за смолистых и аэрозольных отложений, обусловленных табачным дымом.

# Радон

У радона сравнительно малый период полураспада, и его собственное излучение не создало бы и десятой доли возникающих проблем, даже с учетом того, что он, как и любой  $\alpha$ -излучатель, достаточно опасен при внутреннем облучении. Однако, по-настоящему страшны радиоактивные продукты его распада, в особенности  $\alpha$ -активные полоний-218 и полоний-214. Они химически активны, достаточно прочно удерживаются организмом и эффективно воздействуют на живые ткани опаснейшим  $\alpha$ -излучением. Радон играет скромную, но зловредную роль «переносчика», как грызун при распространении чумы.

# Типичные пути поступления радона в дом



1 – грунт под зданием и вокруг;

2 – насыпной грунт;

3 – горные породы;

4 – вода из водопровода;

5 – строительные материалы;

6 – выход радона

# Другие источники радиации



Уголь, подобно большинству других природных материалов, содержит ничтожные количества первичных радионуклидов. Последние, извлеченные вместе с углем из недр земли, после сжигания угля попадают в окружающую среду, где могут служить источником облучения людей.

Концентрация радионуклидов в разных угольных пластах различается в сотни раз, в основном уголь содержит меньше радионуклидов, чем земная кора в среднем.



Концентрация радионуклидов в разных угольных пластах различается в сотни раз, в основном уголь содержит меньше радионуклидов, чем земная кора в среднем.

# Другие источники радиации

Мировой выброс урана и тория от сгорания угля составляет около 40000 т ежегодно. В процессе сжигания угля теряется больше потенциальной энергии, чем выбрасывается.

ТЭЦ на угле России выбрасывают радионуклиды, превышающие 1000 т. в год по урану. Для сравнения предприятиями Росатома России в 2004 г. в водные объекты сброшено около 7 т урана, выбросу в атмосферу – 2,9 т.

ТЭЦ на угле (Nэл=1000 МВт) в течении года выделяется больше радиоактивности, чем АЭС, а в золе содержится столько урана-235, что достаточно для изготовления двух атомных бомб. Экспериментально установлено, что индивидуальные дозы облучения в районе расположения ТЭЦ мощностью 1000 МВт превышают аналогичную дозу вблизи АЭС в 5-10 раз.



# Термальные водоемы

Некоторые страны эксплуатируют подземные резервуары пара и горячей воды для производства электроэнергии и отопления домов; один такой источник вращает турбины электростанции в Лардерелло в Италии с начала нашего века. Измерения эмиссии радона на этой и еще на двух, значительно более мелких, электростанциях в Италии показали, что на каждый гигаВатт-год вырабатываемой ими электроэнергии приходится ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза 6 чел·Зв, т. е. в три раза больше аналогичной дозы облучения от электростанций, работающих на угле.

Добыча фосфатов ведется во многих местах земного шара; они используются, главным образом, для производства удобрений, которых в 1990 году во всем мире было получено около 30 млн. т. Большинство разрабатываемых в настоящее время фосфатных месторождений содержит уран, присутствующий в сырье в довольно высокой концентрации. В процессе добычи и переработки руды выделяется радон, да и сами удобрения радиоактивны, и содержащиеся в них радиоизотопы проникают из почвы в пищевые культуры. Радиоактивное загрязнение в этом случае бывает обыкновенно незначительным, но возрастает, если удобрения вносят в землю в жидком виде или если содержащие фосфаты вещества скармливают скоту. Такие вещества действительно широко используются в качестве кормовых добавок, что может привести к значительному повышению содержания радиоактивности в молоке.

## Вклад зольной пыли в облучение населения

В некоторых странах более трети зольной пыли, собираемой очистными устройствами, используется в хозяйстве, в основном в качестве добавки к цементам и бетонам. Иногда бетон на  $4/5$  состоит из зольной пыли. Она используется также при строительстве дорог и для улучшения структуры почв в сельском хозяйстве. Все эти применения могут привести к увеличению радиационного облучения.



# Воздействие радиации на живой организм

Ионизирующее излучение, действуя на живой организм, вызывает в нем цепочку обратимых и необратимых изменений, которые приводят к тем или иным биологическим последствиям.

Специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты заключается в том, что производимый им эффект обусловлен не столько количеством поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается.

Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение.

## Воздействие радиации на живой организм

Смертельная доза ионизирующего излучения для человека, равная 600 рад (600 бэр), соответствует поглощенной энергии излучения  $6 \cdot 10^4$  эрг/г. Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы тело едва ли на  $0,001^\circ\text{C}$ . Это тепловая энергия, заключенная в стакане горячего чая. Именно ионизация и возбуждение атомов и молекул обуславливают специфику действия ионизирующего излучения.

Явной ложью является бытующее сейчас только у нас мнение «о непредсказуемости последствий радиационного воздействия на людей». На деле они известны лучше, чем каждодневное действие всех других вредных факторов.

# Индивидуальные эффективные дозы облучения населения России (среднее значение)

Источник	Доза, мЗв/год
Космическое излучение	0,32
Гамма-излучение (естественные радионуклиды)	0,48
Внутреннее облучение (естественные радионуклиды)	0,37
Дочерние продукты радона	1,20
Угольная энергетика (плюс зола)	0,09
<b>Всего за счет природного фона</b>	<b>2,46</b>
Рентгенодиагностика	1,69
Ядерная энергетика	
* без Чернобыля	0,0002
* с учетом чернобыльской аварии	0,008
Профессиональное облучение	0,006
Испытание ядерного оружия	0,02
Прочие источники	0,05
<b>Всего за счет техногенных источников</b>	<b>1,78</b>
<b>Итого</b>	<b>4,24</b>

# Воздействие радиации на живой организм

Уместно напомнить, что «самое благополучное» положение с онкологической заболеваемостью в мире обнаружено в России. У нас всеми видами рака успевает заболеть не более 10–12 % населения. Самое «катастрофическое» положение сложилось в Швеции, Канаде, США, где онкологическая заболеваемость и смертность от нее составляют 20–22 % населения.

Состояние здоровья достоверно лучше у лиц, проживающих в регионах с повышенным радиационным фоном. У этих людей большая продолжительность жизни, меньше частота злокачественных новообразований и врожденной аномалии развития, более устойчива иммунная система, значительно выше репарационная способность повреждений на молекулярном и клеточном уровне.

## Риск, выраженный в сокращении средней продолжительности жизни

Деятельность, события	Сокращение средней продол. жизни в днях	Индивидуальный риск, 1/чел:год
Курение	1630	-
Работа в угольной шахте	1100	$1,2 \cdot 10^{-4}$ (США)
Излишний вес, 30 фунтов	920	-
Все несчастные случаи	450	$5,8 \cdot 10^{-4}$
Несчастные случаи на автотранспорте	200	$2,8 \cdot 10^{-4}$
Алкоголь	130	-
Самоубийство	85	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Убийство	85	$10^{-4}$
Профессиональные несчастные случаи	655	- 29

Деятельность, события	Сокращение средней продол. жизни в днях	Индивидуальный риск, 1/чел:год
Несчастные случаи на воде	42	$4 \cdot 10^{-5}$
Подъем ограничения скорости с 55 до 65 миль/час	40	-
Падения	40	$4 \cdot 10^{-5}$
Яды, удушья	38	-
Ожоги, пожар	28	$4 \cdot 10^{-5}$
Ядерная энергетика, вся энергетика США	2	-
Вся жизнь рядом с АЭС	0,05	$5 \cdot 10^{-8} \div 3 \cdot 10^{-7}$ (при дозе 1 мбэр на границе санитарной зоны <sup>30</sup> )

Спасибо за внимание !