

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

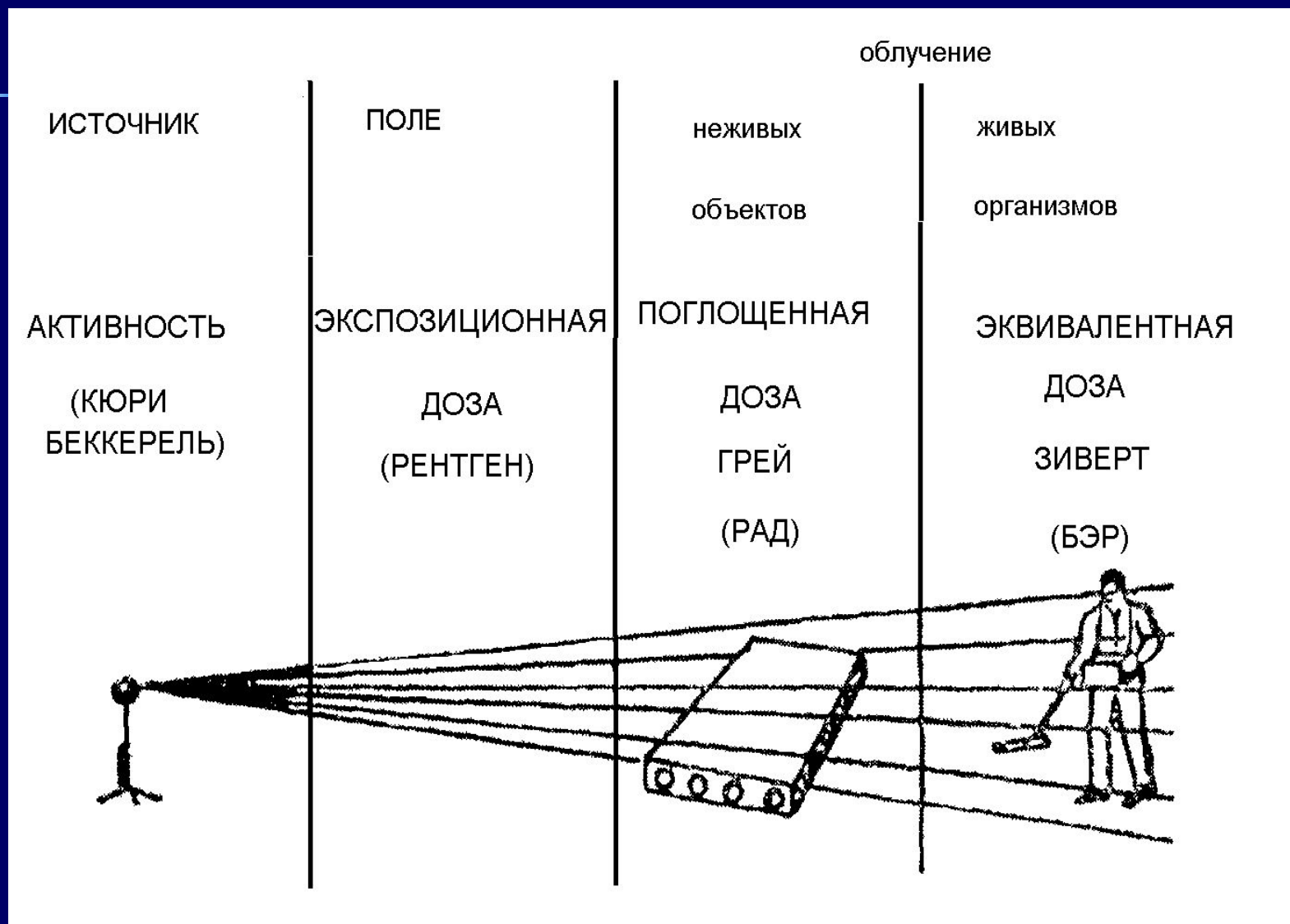
Протактиний-234 распадается почти моментально ($T_{1/2}=1,17$ минуты), а уран-238 – очень медленно (4,47 млрд лет).

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

Радационный 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

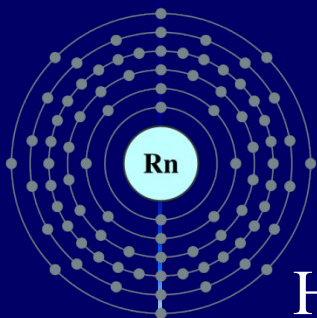
Доза естественного облучения во Франции — 5 мЗв в год, в Финляндии — 7,6 мЗв, в Швеции — 6,3 мЗв, в Красноярске — 2,3 мЗв. Самый большой природный фон в России на Кавказских Минеральных Водах. Но именно радоновые ванны — **парадокс!** — считаются целебными и помогают от множества хворей. Такая же картина 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.

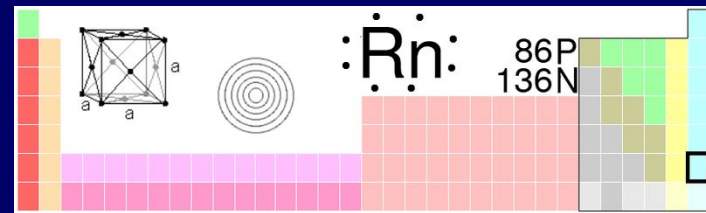
Внутреннее облучение

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 Бк/м^3 радон, согласно НРБ-99, уже представляет значимую радиационную опасность. Для старых построек допустима объёмная активность до 200 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 α -излучатель, достаточно опасен при внутреннем облучении. Однако, по-настоящему страшны радиоактивные продукты его распада, в особенности α -активные полоний-218 и полоний-214. Они химически активны, достаточно прочно удерживаются организмом и эффективно воздействуют на живые ткани опаснейшим α -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 ($N_{эл}=1000$ 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
Всего за счет природного фона	2,46
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
Всего за счет техногенных источников	1,78
Итого	4,24

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	-

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 ³⁰)

Спасибо за внимание !