

Наукой, призванной оценить воздействие ионизирующих излучений является дозиметрия.

Дозиметрия ионизирующих излучений — наука, предметом изучения которой являются принципы и методы определения таких физических величин, характеризующих поле излучения или взаимодействие излучения с веществом, которые связаны с ожидаемым радиационным эффектом. Характеристики поля излучения определяют пространственно-временное распределение излучения в рассматриваемой среде.

Вся биосфера находится в поле излучения, создаваемого космическим излучением, радионуклидами, находящимися в подстилающих породах, почве, воде и воздухе, а также инкорпорированными в живые ткани.

Зная характеристики поля в заданной точке пространства, можно для этой точки рассчитать любую дозиметрическую величину. Воздействие этого поля на какой-либо объект принято называть его **облучением** (Термин "**облучение**" используется обычно в международных документах в общем смысле для обозначения процесса воздействия излучения или радиоактивного вещества. Облучение в этом смысле определяется создаваемыми им дозами. Английский термин «**exposure**» используется при этом в его обычном значении — подверженность чему-либо (например, излучению от какого-либо источника)).

Физические величины, связанные с наблюдаемым (ожидаемым) радиационным эффектом получили название дозиметрических. По мере становления и развития радиологии, радиобиологии и радиационной экологии представления об этих связях менялись.

Основной современной дозиметрической величиной является доза, выступающая как мера поглощенной энергии.

(Термин «**доза**» означает некоторое количество чего-либо и происходит от греческого слова dosis. Понятие «доза» мы будем воспринимать как количество чего-либо, предназначенное для передачи или переданное чему-либо (кому-либо)).

Так было далеко не всегда. С 1896 г. для оценки степени радиационной опасности стали использовать разные методы: фотографический эффект (фотодозиметры), измерение заряда ионов одного знака, возникших в результате ионизации, флюоресценцию, тепловой эффект, а также химические методы.

До 1942 г радиационная дозиметрия была призвана обслуживать, в основном, медиков-радиологов, а основными видами ионизирующих излучений, используемых человеком, были рентгеновское излучение и γ -излучение радия.

В качестве количественной меры поля излучения применяли результат измерения ионизации воздуха вблизи рентгеновских трубок или аппаратов.

Возникла область дозиметрии — **рентгенометрия**. Именно в рентгенометрии определились основные величины, подлежащие измерению, и сформировались основы современной дозиметрии.

Первым количественным физическим понятием стала **ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА**, характеризующая **ТОЛЬКО** поле фотонного излучения в воздухе.

Экспозиционная доза — D_{exp} равна абсолютному значению полного заряда ионов одного знака, которые образуются в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, освобожденных фотонами в единице массы воздуха.

$$D_{\text{exp}} = dQ/dm, \quad ()$$

dQ — суммарный заряд всех ионов одного знака, созданных в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, освобожденных фотонным излучением в массе воздуха dm .

Заряд dQ включает заряд всех ионов одного знака, созданных в результате полного использования кинетической энергии электронов и позитронов в воздухе независимо от места образования этих ионов; имеется в виду, что эти ионы созданы только теми электронами и позитронами, которые возникли в массе воздуха dm .

Единица в системе СИ — Кл/кг,

однако продолжают широко использовать старую внесистемную единицу

рентген (Р); $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

(Вначале условились считать, что доза 1 Р накапливается за 1 час на расстоянии 1 м от источника радия массой 1 г, т. е. активностью 1Ки. Затем появилась новая формулировка: 1Р соответствует такому количеству пар ионов, которое излучение образует в 1 см^3 сухого воздуха, находящегося при атмосферном давлении и при температуре $+18^\circ\text{C}$. И, наконец, было принято, что экспозиционной дозе в один рентген, соответствует $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов (примерно два миллиарда пар ионов) в 1 см^3 воздуха)

D_{exp} и любая другая доза излучения зависит от времени облучения: **с течением времени доза накапливается.**

Изменение дозы в единицу времени называется мощностью дозы.

Мощность экспозиционной дозы:

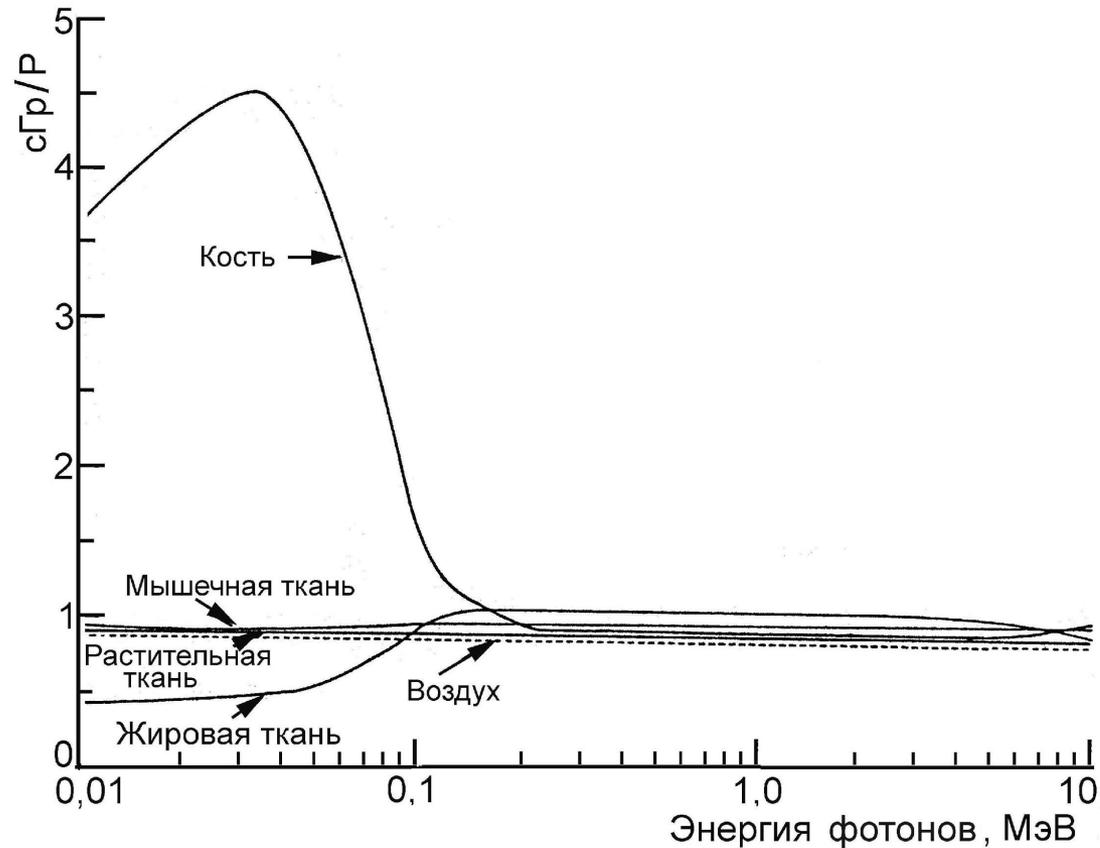
$$P_{\text{exp}} = dD_{\text{exp}}/dt, \quad ()$$

где dD_{exp} — изменение экспозиционной дозы за время dt . Мощность дозы в общем случае является функцией времени — $P(t)$.

Поглощение рентгеновского излучения в веществе сильно зависит от Z . Когда вещество образуется из атомов нескольких химических элементов, то его можно характеризовать эффективным атомным номером $Z_{\text{эф}}$. Значения этого параметра для воздуха (**7,64**) и для мягких тканей (**7,42**), подвергающихся облучению, практически совпадают. Таким образом, измеряя ионизационный эффект в воздухе и характеризуя так поле рентгеновского излучения в интересующей нас области, можно достаточно корректно оценивать ионизацию мягкой ткани, помещенной в это же поле. Для костных тканей $Z_{\text{эф}}$ **~13,8** и поэтому в поле излучения с данным значением D_{exp} мы уже не можем пренебречь различием в $Z_{\text{эф}}$ так, как мы это делали в случае воздуха и мягких тканей.

При данном значении D_{exp} из-за большего значения $Z_{\text{эф}}$ в костной ткани будет образовываться большее число фотоэлектронов и происходить большая передача энергии. В одном и том же поле излучения, воде будет передана меньшая энергия, чем веществу середины таблицы Менделеева и, тем более, тяжелым элементам.

Пусть радиационное поле обусловлено фотонами и приводит к экспозиционной дозе для любых энергий фотонов от 0,01 до 10 МэВ равной 1 рентгену. Величина поглощенной энергии в разных биологических тканях в этом случае будет зависеть от энергии, см. рис. Получается что экспозиционная доза в этом случае не адекватно характеризует обстановку.



В дозиметрию вошло понятие: **поглощенная доза** — энергия, поглощенная единицей массы вещества, на которое действует поле излучения

(В общем случае для перехода от экспозиционной дозы (характеристики поля) к поглощенной дозе (характеристике взаимодействия поля и облучаемой среды) необходимо знать свойства облучаемого объекта).

Поглощенная доза принята в настоящее время в дозиметрии как **самая фундаментальная, количественная мера действия ионизирующего излучения на вещество**. Часто ее называют **просто доза излучения**. Согласно определению, **доза излучения — это рассчитанная на единицу массы облученного вещества поглощенная энергия излучения**.

Если в элементе объема, содержащем массу вещества dm , средняя поглощенная энергия равна dE , то (поглощенная) **доза излучения D** определяется выражением:

$$D = dE/dm. \quad ()$$

Её единица в системе СИ — джоуль на килограмм — называется **грей (Гр)**. До 1980-х гг. использовалась внесистемная единица — **рад** (Рад это аббревиатура от английских слов "radiation absorbed dose", т.е. "поглощенная доза излучения").

1 Гр = 100 рад.

Для мягких тканей, находящихся в поле рентгеновского или γ -излучения, экспозиционной дозе 1 Р примерно соответствует поглощенная доза 1 рад.

Так как в течение более чем 50 первых лет работы с ионизирующими излучениями измерения сводились обычно к определению экспозиционной дозы, то для пересчетов к поглощенной дозе стали использовать соотношение: 1 Р ~ 1 рад, хотя

если быть точнее, то **1 Р = 0,88 рад**.

В определенных пределах между поглощенной дозой и радиационным эффектом существует прямая зависимость: чем больше поглощенная доза, тем больше радиационный эффект.

Самой эффектной демонстрацией зависимости радиационного эффекта от дозы облучения является почернение фотопленки в поле рентгеновского излучения.

Как только мы **обращаемся к последствиям воздействия** то обнаруживаем: Биологическое **действие** ионизирующих излучений определяется ионизацией живой ткани, а свойства ионов не зависят от причины, в результате которой они возникли, а следовательно, и от природы ионизирующих частиц.

Биологические **эффекты** облучения, при прочих равных условиях, оказываются разными для разных видов излучения.

Приходится учитывать то, что **результат воздействия излучения определяется не только поглощенной энергией, но и характером распределения этой энергии в облучаемом объекте, распределением облучения во времени, видом излучения и другими факторами**

Физической величиной, призванной учитывать пространственное распределение переданной энергии, является линейная передача энергии — **ЛПЭ** — L_{Δ} . (Понятие ЛПЭ было введено Р. Цирклем в 1954 г. За единицу ЛПЭ принимают 1 кэВ/мкм ткани. В зависимости от значения ЛПЭ все ионизирующие излучения принято делить на редко- и плотноионизирующие. Редкоионизирующие излучения это те, для которых ЛПЭ <10 кэВ/мкм, а плотноионизирующие — те, для которых ЛПЭ превышает эту величину.)

Она определяется соотношением

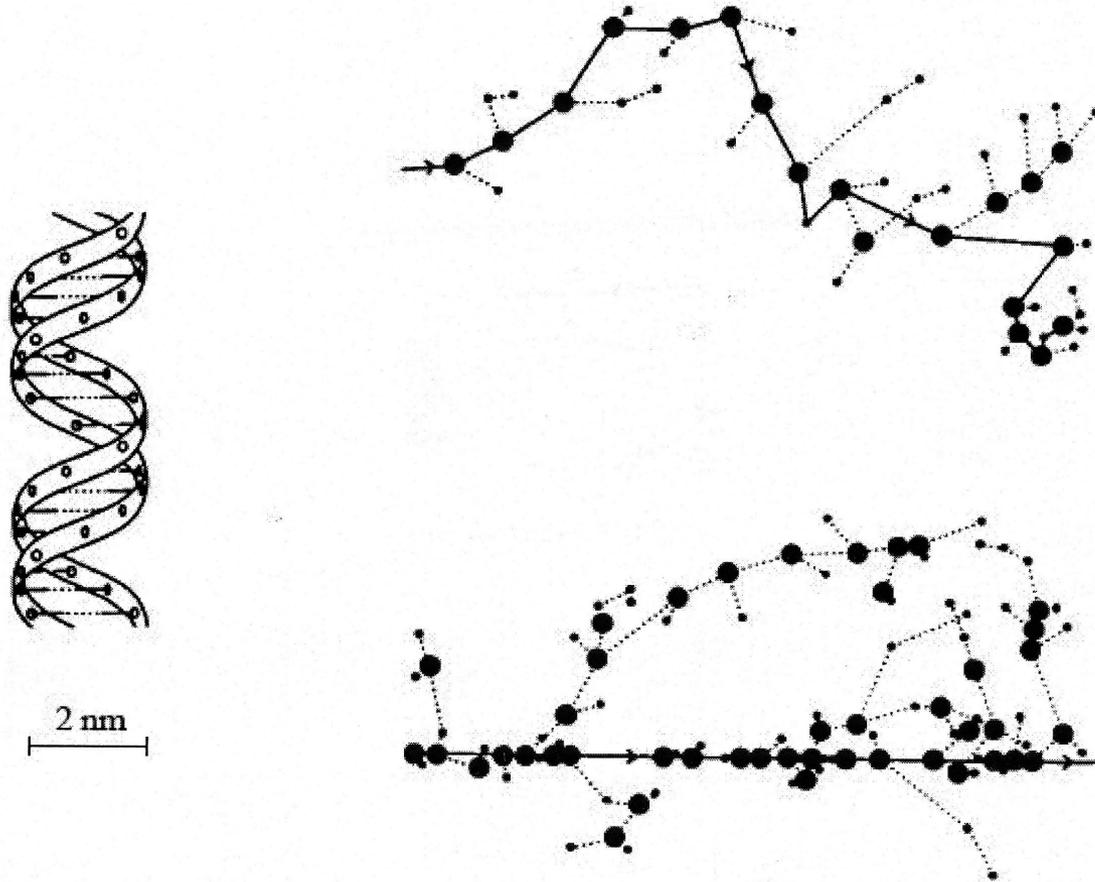
$$L_{\Delta} = (dE/dl)_{\Delta} \quad (),$$

напоминающим выражение для тормозной способности вещества. Здесь dE — средние энергетические потери, обусловленные такими столкновениями на пути dl , при которых переданная энергия меньше заданного значения Δ . Пороговую энергию Δ , входящую в формулу, обычно соотносят с энергией δ -электронов.

При рассмотрении проблем, связанных с радиационной экологией, пороговая энергия не ограничена и линейная передача энергии L совпадает с тормозной способностью.

Энергия частицы уменьшается по мере проникновения ее в глубь вещества. Как следствие, изменяется и значение **ЛПЭ**.

Рассчитанные методом Монте-Карло трек электрона с энергией 500 эВ — вверху и часть трека α -частицы с энергией 4 МэВ — внизу. Для масштаба слева представлен сегмент ДНК. Большие кружки соответствуют актам ионизации, а малые — актам возбуждения.



ЛПЭ выступает как **характеристика качества излучения**.

Под качеством в дозиметрии понимается такая характеристика излучения, которая имеет одно и то же значение у разных видов излучения, если при одинаковых условиях облучения данного объекта и одинаковой дозе наблюдается один и тот же радиационный эффект.

Радиационное действие излучений одинакового качества, в том числе излучений разных видов, должно быть одинаковым при равных дозах. Строго говоря, **универсальной величины, которая полностью определяла бы качество излучения, нет.**

Основные сведения о явлении радиоактивности, радионуклидах, ионизирующих излучениях и взаимодействии этих излучений с веществом **необходимы, но недостаточны для понимания биологических последствий облучения.** Как следствие, они недостаточны и для понимания процессов, приводящих к радиоэкологическим эффектам, если последние имеют место.

Для дальнейшего прогресса дозиметрии стало необходимым в той или иной степени учесть биологические эффекты воздействия излучений.