

быстрых нейтронов проявляются в 10 раз сильнее, чем для рентг. излучения. Т. о., знание поглощённой Д. недостаточно для оценки радиац.-индуцированного эффекта. Биол. эффекты, индуцируемые любым видом ионизирующего излучения, принято сравнивать с биол. эффектами, возникающими в поле рентг. излучения с граничной энергией фотонов $\mathcal{E}=250$ кэВ, приймаемого за образцовое. Это сравнение определяет понятие относительной биол. эффективности:

$$ОБЭ = \frac{D_x}{D_x},$$

где D_x — Д. данного вида излучения, D_0 — Д. образцового излучения, при к-ром наблюдаемый биол. эффект такой же.

Для оценки степени радиац. опасности при хронич. облучении вместо ОБЭ используют т. н. коэф. качества k . Он показывает, во сколько раз радиац. опасность в случае хронич. облучения человека (при сравнительно малых Д.) для данного вида излучения выше, чем в случае образцового излучения при одинаковой поглощённой Д. Коэф. качества является регламентированной величиной ОБЭ, устанавливаемой на основании медико-биол. данных. Для эл.-магн. излучения $k=1$, для тепловых нейтронов $k=3$, для нейтронов с энергией $\mathcal{E}=0,5$ МэВ $k=10$, а для $\mathcal{E}=5$ МэВ $k=7$. На основании зависимости ОБЭ от ЛПЭ устанавливаются значения k для разл. диапазонов ЛПЭ (табл. 1).

Табл. 1. — Значения k , рекомендованные Национальной комиссией по радиационной защите в зависимости от Л

Вид излучения	$L_{ср}$ в воде, КэВ/мкм	Ср. уд. ионизация в воде, число пар ионов/мкм	k
Эл.-магн. излучение	$\leq 3,5$	≤ 100	1
Электроны, позитроны	"	"	"
Тяжёлые ионизирующие частицы	3,5—7,0	100—200	1—2
	7,0—23	200—650	2—5
	23—53	650—1500	5—10
	53—175	1500—5000	10—20

Для интерполяции значений k можно пользоваться Ф-лой: $k=0,8+0,16 L$.

Эквивалентная доза. Мерой ожидаемой радиац. опасности при облучении живых организмов служит эквивалентная Д.:

$$H = kD.$$

Единицей эквивалентной Д. в СИ наз. зиверт (Зв), 1 Зв = 1 Дж/кг. В практике распространена внесистемная единица — бэр, 1 бэр = 10^{-2} Зв.

Естеств. фон ионизирующего излучения (космич. лучи, радиоактивность почвы, воды, воздуха и т. д.) создаёт в среднем мощность эквивалентной Д. 0,125 сЗв в год. Эквивалентная Д. $H > 4$ Зв, полученная в короткое время при тотальном облучении тела, может привести к смертельному исходу (если не принимать спец. медицинских мер). Однако такая же эквивалентная Д., полученная человеком равномерно в течение всей его жизни, не приводит к видимым изменениям в состоянии здоровья. Мощность эквивалентной Д. 5 сЗв в год считается допустимой при профессиональном облучении в течение 50 лет без опасности как для здоровья самого человека, так и для последующих поколений. Эквивалентные Д., применяемые в терапевт. целях при местном облучении отд. органов или тканей, могут составлять десятки Зв.

При облучении организма отд. органы и ткани вносят разл. вклад в ожидаемый биол. эффект на уровне всего организма; для одной и той же ср. поглощённой Д. в поле одного и того же излучения радиобиол. эффект

оказывается зависящим от распределения Д. по органам и тканям. В этом случае мерой неблагоприятных последствий облучения может служить эфф. эквивалентная Д.:

$$H_э = \sum_i W_i H_i,$$

где H_i — эквивалентная Д. в i -м органе или ткани; W_i — коэф., определяющий вклад данного органа или ткани в неблагоприятные последствия для организма при его равномерном облучении: $\sum W_i = 1$ (табл. 2).

Табл. 2. — Значения W_i для различных органов и тканей, рекомендованные Международной комиссией по радиологической защите

Ткань или орган	W_i	Ткань или орган	W_i
Гонады	0,25	Щитовидная железа	0,03
Молочная железа	0,15	Поверхностная, костная ткани	0,03
Красный костный мозг	0,12	Остальные	0,30
Лёгкие	0,12		

Коллективные дозы. На практике возникает необходимость оценивать меру воздействия и меру ожидаемого эффекта при облучении больших групп людей на популяционном уровне. Для этих целей применяют коллективные (поглощённую и эквивалентную) Д. Коллективная Д. за интервал времени от t_1 до t_2 :

$$D_S = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}_S(t) dt,$$

$$\mathcal{P}_S(t) = n_0 \int_0^\infty f(\mathcal{P}_t) \mathcal{P}_t d\mathcal{P}_t, \quad (2)$$

где $f(\mathcal{P}_t)$ — распределения облучаемых лиц по мощности Д. в момент времени t , n_0 — полное число облучаемых людей. Т. к. $f(\mathcal{P}_t)$ зависит от времени, то коллективная Д. учитывает как общее число облучённых лиц, так и динамику индивидуальных Д. Ф-ла (2) определяет либо коллективную поглощённую, либо коллективную эквивалентную Д. в зависимости от того, какой смысл придаётся \mathcal{P}_t .

Разновидностью коллективной Д. является т. н. ожидаемая (парциальная) Д. D_S^k , к-рую можно ожидать за бесконечно большое время в результате к.-л. конкретного события (напр., ядерной аварии). При наличии неск. событий полная ожидаемая Д. равна сумме парциальных. Ожидаемая Д.:

$$D_S^k = \int_0^\infty \mathcal{P}_S^k(t) dt,$$

где $\mathcal{P}_S^k(t)$ — парциальная коллективная мощность Д. в момент t . Коллективная Д. выражается в человеко-Гр, коллективная эквивалентная Д. — в человеко-Зв.

Профессиональная доза — эквивалентная Д., сформированная в конкретном органе или живой ткани в течение 50 лет с момента однократного поступления внутрь организма радиоакт. вещества (50 лет соответствуют продолжительности трудовой деятельности):

$$D_{50} = \int_{t_0}^{t_0+50} \mathcal{P}_э(t) dt.$$

Здесь $\mathcal{P}_э$ — мощность эквивалентной Д. в момент времени поступления радиоактивности в организм. Изменение $\mathcal{P}_э(t)$ во времени должно учитывать как скорость распада радиоакт. вещества, так и скорость его биол. выведения из организма (измеряется в Зв).