

Нанодозиметрическая информация будет использована для вычисления D_{0R} и D_{DR} на разных стадиях клеточного цикла. Подобный синтез нанодозиметрии с молекулярной биологией представляется нам весьма существенным для построения адекватных моделей поведения клетки под действием радиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rossi H. Energy distribution of absorbed radiation. - "Advances Biol. and Med. Phys.", 1967, v. 11, p. 27-85.
2. Хуг О., Келлерер А. Стохастическая радиобиология. Пер. с нем. Под ред. В.И. Корогодина. М., Атомиздат, 1969.
3. Kellerer A., Rossi H. RBE and primary mechanism of radiation action. - "Rad. Res." 1971, v. 47, p. 15-34.
4. Иванов В.И., Лысцов В.Н. Микродозиметрия и количественная радиобиология. - В кн.: Вопросы дозиметрии и защиты от излучений. Вып. 16. Под ред. В.К. Сахарова. М., Атомиздат.
5. Kellerer A., Rossi H. The theory of dual radiation action, Curr. Topics Rad. Res. Quarterly, 1972, v. 8, p. 85-158.
6. Leenhouts H., Chadwick K. The RBE-LET relationship. - In: Fourth microdosimetry symposium, 1973, p. 381-400.
7. Dugan V., Trujillo R. On a fundamental problem in radiation biology. - "J. Theoret. Biol.", 1974, v. 44, p. 397-401.

РАСЧЕТ МИКРОРАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ИСТОЧНИКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

П. Н. Белоногий, А. П. Долгих, В. И. Иванов

На практике радиобиологи имеют ограниченное число изотопных источников заряженных частиц, используемых в большинстве радиобиологических экспериментов.

Для получения достоверных результатов при радиобиологических исследованиях на клеточном и субклеточном уровнях требуется знание микрораспределений поглощенной энергии. Очевидно, что многообразие радиобиологических опытов исключает возможность проведения микродозиметрических модельных экспериментов для каждого конкретного опыта, поэтому необходимо разработать методику расчетов, которая позволила бы по нескольким априорно заданным микрораспределениям быстро рассчитать микрораспределение поглощенной энергии для конкретного радиобиологического опыта.

Выберем слой тканезквивалентного материала толщиной s .

С помощью микродозиметрического моделирования экспериментально или теоретически [1,2] можно получить функцию $f(\Delta, s)$, представляющую собой плотность вероятности поглощения энергии в пределах от Δ до $\Delta + d\Delta$, где Δ — энергия, поглощенная в моделируемом объеме, если частица проходит путь s . Отношение Δ/s представляет собой значение энергии, поглощенной на единицу пути при фиксированном значении последнего. По определению

$\left(\frac{\Delta}{s}\right) = \left(\frac{dE}{dx}\right)$, т.е. Δ/s является микродозиметрическим аналогом $\frac{dE}{dx}$. Для любого фиксированного пути s значение

Δ/s будет представлено распределением $\varphi(\Delta/s)$ получаемым из распределения $f(\Delta, s)$ заменой переменной $\xi = \frac{\Delta}{s}$ и нормировкой. Функция $\varphi\left(\frac{\Delta}{s}\right)$ представляет плотность вероятности выделения на единицу пути энергии в пределах от $\frac{\Delta}{s}$ до $\frac{\Delta}{s} + d\frac{\Delta}{s}$ при условии, что путь фиксирован и равен s .

На рис. 1 для примера представлены значения функций $\varphi\left(\frac{\Delta}{s}\right)$ от альфа-источника плутоний-239 + плутоний-238 для слоя толщиной 0,1; 1 и 3 мкм, полученные с помощью сферического тканезквивалентного счетчика Росси. Так как $\frac{\Delta}{s}$ представляет собой конкретные потери энергии на единицу пути, а $\left(\frac{\Delta}{s}\right) = \left(\frac{dE}{dx}\right)$, то размытие функции $\varphi\left(\frac{\Delta}{s}\right)$ целиком определяется флуктуациями $\frac{dE}{dx}$ на пути s .

Значения $\frac{\Delta}{s}$ не равны линейной энергии Y , определяемой как отношение энергии, поглощенной в чувствительном объеме, к среднему пробегу, т.е. $Y = \frac{\Delta}{s} \neq \frac{\Delta}{s}$.

Покажем, как можно построить микрораспределение поглощенной энергии $p(\Delta)$ для объема произвольной формы на основе набора функций $\varphi\left(\frac{\Delta}{s}\right)$.

Пусть по условиям радиобиологического эксперимента требуется знать микрораспределение поглощенной энергии

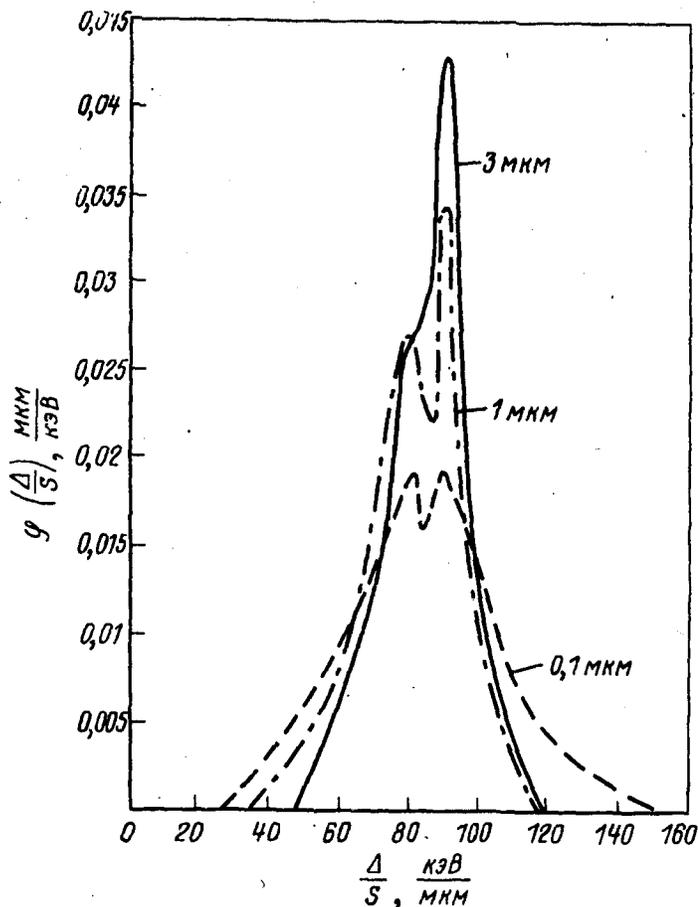


Рис. 1. Вид функции $\varphi\left(\frac{\Delta}{S}\right)$

$p(\Delta)$ (плотность вероятности поглощения энергии в пределах от Δ до $\Delta + d\Delta$, если ионизирующая частица пересекла чувствительный объем) в объеме заданной формы и размеров, пусть известны также положение в пространстве источника и чувствительного объема. Далее можно определить распределение длины пробегов ионизирующих частиц в пределах чувствительного объема $P(s)$, а также область определения s . Пусть s последовательно проходит ряд значений $0 \leq s \leq s_{\text{макс}}$ с плотностью вероятности $P(s)$. Разобьем область определения s на n участков, в пределах каждого из которых $\varphi\left(\frac{\Delta}{S}\right)$ мало изменяется от точки к точке. В пределах этого участка $0 \leq i \leq n$ выберем точку с пробегом x_i и для нее получим функцию $\varphi\left(\frac{\Delta}{x_i}\right)$. Тогда функция $f(\Delta)$ определяется по формуле

$$f(\Delta) = \sum_{i=1}^n \int_{S_{i-1}}^{S_i} \frac{P(s)}{s} \varphi\left(\frac{\Delta}{x_i} s\right) ds. \quad (1)$$

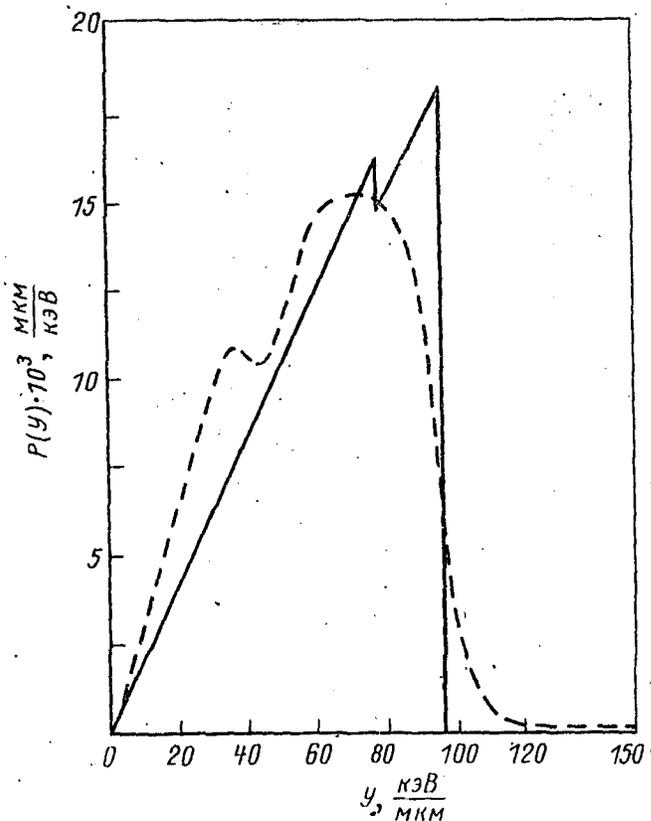


Рис. 2. Распределение функции $P(Y)$

Микродозиметрическая функция $P(Y)$ (плотность вероятности того, что линейная энергия лежит в пределах от Y до $Y+dY$ в пределах чувствительного объема) получается из функции $f(\Delta)$ заменой переменных $Y = \frac{\Delta}{d}$ для сферы (или $Y = \frac{\Delta}{s}$ для объема другой формы) и нормировкой. На рис. 2 представлены значения функции $P(Y)$, вычисленные по формуле (1) с заменой переменной $Y = \frac{\Delta}{d}$ (штриховая линия) и в приближении $\frac{\Delta}{s} = \left(\frac{dE}{dx}\right) = const$ в пределах чувствительного объема (сплошная линия) для случая, когда объем облучен плоскопараллельным источником альфа-частиц плутоний-239 + плутоний-238 (треугольное распределение) при диаметре чувствительного объема (сфера) 10 мкм. На рис. 3 представлены значения функции $P(Y)$, вычисленные по формуле (1) с заменой переменных $Y = \frac{\Delta}{d}$ (штриховая линия) и в приближении $\frac{\Delta}{s} = \left(\frac{dE}{dx}\right)$ (сплошная линия) для сферического чувствительного объема диаметром 5 мкм, облучаемого источником плутоний-239 + плутоний-238, находящимся на поверхности сферы (прямоугольное

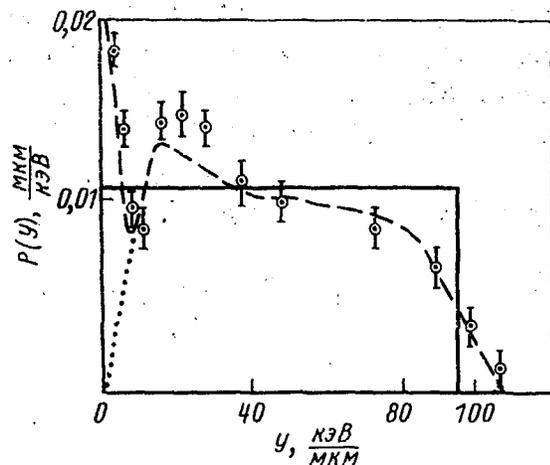


Рис. 3. Распределение функции $P(Y)$

распределение [3]), точками отмечены экспериментальные результаты, полученные с помощью счетчика Росси. Заметно лучшее соответствие между экспериментальными результатами и расчетом с использованием функций $\varphi(\frac{\Delta}{s})$, чем между экспериментальными результатами и расчетом в предположении $\frac{\Delta}{s} = (\frac{dE}{dx})$, т.е. при пренебрежении флуктуациями $\frac{dE}{dx}$. Расхождение между экспериментом и расчетом с использованием функций $\varphi(\frac{\Delta}{s})$ можно уменьшить как за счет уменьшения шага в разбиении области определения s на n участков, так и за счет повышения точности эксперимента.

В случае когда используется источник со спектром заряженных частиц $P(E)$, необходимо определить функции $\varphi(\frac{\Delta}{s})$ для каждой энергии спектра и рассчитать функции по формуле

$$f(\Delta) = \int_0^{E_{\max}} P(E) dE \sum_{i=1}^n \int_{s_{i-1}}^{s_i} \frac{P(s)}{s} \varphi\left(\frac{\Delta(E)}{x_i} s\right) ds. \quad (2)$$

Для других источников излучения необходимо определить действующий спектр вторичных заряженных частиц $P(E)$ и рассчитать по формуле (2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоногий П.Н., Иванов В.И., Макшаков Б.В. Микро-распределение поглощенной энергии в тканеэквивалентных

чувствительных объемах с линейными размерами порядка 1 мкм. - В кн.: Вопросы микродозиметрии. Вып. 2. Под ред. В.И. Иванова, М., Атомиздат, 1974, с. 20-23.

2. Сферический тканееквивалентный пропорциональный счетчик в поле нейтронного излучения. - Там же, с.14-17. Авт.: П.Н. Белоногий, В.И. Иванов, В.А. Соловьев, А.Д.Харламов.

3. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М., Атомиздат, 1970, с. 267-270.

РАСЧЕТ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

И. М. Дмитриевский, С. В. Сержников

Основная задача микродозиметрии - нахождение функции $f(z, A)$ распределения локальной плотности поглощенной энергии Z в микрообъеме с массой m при фиксированном значении дозы A .

Как правило, расчету этой функции предшествует нахождение функции $f_A(A)$ спектра событий абсорбции. Под событием абсорбции понимается прохождение частицы через интересующий нас микрообъем, сопровождающееся передачей энергии веществу.

Известные методики расчета функции $f(z, A)$ [1-3] основаны на методе Монте-Карло [1] или на аналитическом подходе с использованием метода последовательных сверток [2] либо характеристических функций [3,4]. Общим недостатком известных методик являются значительные затраты машинного времени для проведения расчетов.

В данной работе рассматривается аналитический метод расчета функций $f(z, A)$, минуя нахождение спектра событий абсорбции, что позволяет сократить необходимый объем расчетов на ЭВМ за счет появляющейся возможности аналитического решения промежуточных задач. Кроме того, предлагаемый метод не накладывает ограничений на вид спектра одного столкновения n , в частности, позволяет использовать спектр модифицированных столкновений.

Рассмотрим предлагаемую методику подробнее. Процесс формирования локальной поглощенной энергии при статистической независимости событий абсорбции является псевдо-