

AEROSOLS AND LUNG MODELS

РАДИОАКТИВНЫЕ АЭРОЗОЛИ КАК ФАКТОР ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

БАДЫН В.И., БАТОВА З.Г., ПАРХОМЕНКО Г.М.

Институт биофизики Министерства здравоохранения СССР, Москва

Союз Советских Социалистических Республик

In this report we consider the problem of determining the probable accumulation of the isotopes in the organism. These questions are solved on the basis of values of mean air contamination.

The experimental results were applied to the regulation of the air contamination.

Authors have proposed to use the term "the standard work conditions" in radiation protection practice. These "conditions" are characterized by the hygienical safety factor equal to 5, which should be included in the values of regulated PMS.

Общеизвестные принципы организации производства позволяют обеспечить безопасные условия труда для персонала только на базе норм радиационной безопасности, в основе которых лежит лимитирование дозовых нагрузок (первичные дозиметрические характеристики), определяющих степень опасности непосредственно для индивидуума.

Одновременно действует статус среднегодовых допустимых концентраций (вторичных дозиметрических характеристик), относящихся к параметрам среды, в которой работает персонал, и характеризующих безопасные условия труда.

Именно здесь, по мнению авторов, существуют принципиальные трудности как в подходах к определению этих норм РБ, так и в оценках лучевых нагрузок по показателям загрязненности воздушной среды.

В первую очередь в проблеме "Радиоактивные аэрозоли как возможный фактор внутреннего облучения" возникает задача перехода от величины экспериментально определяемого среднего загрязнения воздуха к вероятному накоплению изотопа в организме на основе данных по статистическим закономерностям распределения концентраций и различным дозиметрическим характеристикам радиоактивных аэрозолей.

Во всех случаях при качественной характеристике вдыхаемого радиоактивного вещества фактически ведется речь о модели аэрозолей, в той или иной степени аргументированной. Например, некоторая модель аэрозолей может представляться как суперпози-

ция в том или ином соотношении газообразных соединений изотопа, мелкодисперсной и грубодисперсной аэрозольной компоненты различной растворимости.

В качестве примера остановимся на влиянии дисперсности пыли на величину отложения в дыхательном тракте. Радиоактивные аэрозоли дезинтеграции "горячих" лабораторий, как правило, относятся к классу грубодисперсных, а распределение размеров аэрозольных частиц с достаточной точностью описывается логарифмически нормальным законом, характеризующимся в случае плутония следующими параметрами: $\sigma_g = 1,6 \pm 3,4$ мкм, $\beta_g = 2,0 \pm 2,7$ аэродинамический $\sigma_{ae} = 2,4 \pm 5$ мкм и активным среднегеометрическим аэродинамическим радиусом σ_{ag} аэр. = 20 ± 50 мкм. Учитывая вышеприведенную дисперсность, можно считать, что мгновенное распределение активности по дыхательной системе характеризуется следующими величинами: для носоглотки мгновенный общий коэффициент задержки активности равен K_{a_1} общ = 90%, для области трахеи - бронхиальное дерево K_{a_2} общ = 4%, для собственно легких (от дыхательных бронхиол и ниже) K_{a_3} общ = 2% /1/.

Таким образом, первоначальное отложение активности в собственно легких в этом примере будет значительно в 5-10 раз ниже, чем по принятой в настоящее время модели расчета СДК.

Весьма важным для ряда изотопов, которые могут находиться как в дисперсной фазе, так и в дисперсионной среде (например, тритий, углерод, ртуть, иод и др.), является вопрос об относительной роли перкутанного поступления в организм из воздуха.

На примере паров ртути сравним перкутанный и ингаляционный пути поступления. Авторами совместно с Ю.М. КОВАЛЕНКО было показано, что равновесное содержание ртути в организме в мкюри для первого случая выражается формулой $A_1 = 33 \left(\frac{c}{c_0} \right)^2 \times S c / \lambda$ (1) а для второго $A_2 = K_a^{отм} \times S c / c_0$, где S - концентрация паров ртути в мкюри/см³, c/c_0 - относительная упругость паров ртути, S - поверхность тела человека в см², λ - постоянная выведения ртути из организма в мин⁻¹, v - скорость дыхания в см³/мин.

Отсюда $\frac{A_2}{A_1 + A_2} = \left[33 \frac{S}{v K_a^{отм}} \left(\frac{c}{c_0} \right)^2 + 1 \right]^{-1}$. (2)
Анализ показывает, что для стандартного человека через кожу поступает от 2% до 65% всей ртути при изменении относительной упругости от 1% до 10%.

Анализ радиационной обстановки при загрязнении воздушной среды радиоактивными аэрозолями показал, что распределение их концентраций во времени и пространстве подчиняется логарифмически нормальному закону. Последнее представляется объяснимым, если, в частности, предположить, что распределение интенсивности источников загрязнения описывается усеченным гиперболическим законом, когда вероятность появления концентрации "с" обратно пропорциональна ее величине. Тогда распределение логарифмов концентраций будет равновероятным, а композиция таких распределений приводит к логарифмически нормальному закону.

Величина такого важного параметра, как стандартное геометрическое отклонение концентраций ($\beta_g \geq 1$) является при прочих равных условиях хорошим показателем степени радиационной надежности технологического процесса, а также определяет и вероятную величину дозовой нагрузки и ее разброс. Значение β_g для эмпирических распределений, как видно из таблицы лежит в пределах 2-13. Поскольку дозу внутреннего облучения можно приближенно представить как произведение трех случайных величин загрязнение воздушной среды помещения, времени пребывания человека в них

и проскока аэрозолей через средства индивидуальной защиты, то при условии, что каждая из них независима и подчиняется лог-нормальному закону с дисперсиями $\lg^2 \beta_{\text{дс}}$, $\lg^2 \beta_{\text{дт}}$, $\lg^2 \beta_{\text{дк}}$, соответственно, дисперсия дозы будет равна:

$$\lg^2 \beta_{\text{д}} = \lg^2 \beta_{\text{дс}} + \lg^2 \beta_{\text{дт}} + \lg^2 \beta_{\text{дк}}. \quad (3)$$

Если величина загрязнения воздушной среды помещения и время пребывания в нем человека скоррелированы (коэффициент корреляции Γ), то

$$\lg^2 \beta_{\text{д}} = \lg^2 \beta_{\text{дс}} + \lg^2 \beta_{\text{дт}} + 2 \lg \beta_{\text{дс}} \cdot \lg \beta_{\text{дт}} \cdot \Gamma. \quad (4)$$

Поскольку обычно $\beta_{\text{д}} < \beta_{\text{дс}}$, то $\Gamma < 0$, что отражает известное положение: чем больше загрязненность, тем обычно меньше время пребывания в ней человека.

Реальные дисперсии первичных дозиметрических характеристик приведены в таблице.

Таблица

Стандартное геометрическое отклонение радиационных характеристик ($\beta_{\text{д}}$).

№№	$\beta_{\text{д}}$ внеш. для индивидуальных доз гамма-нейтронного облучения	$\beta_{\text{дн}} \approx \beta_{\text{д}}$ для величин накопления радиоактивных веществ в организме	$\beta_{\text{дн}}$ для величин поступления радиоактивных веществ в организм	$\beta_{\text{дс}}$ для концентраций радиоактивных аэрозолей	обычная при рем. эксплуат. работах
	γ	n			
1	1,8	1,9	2,8	2,8	5,7
2	2,5	1,7	2,3	2,3	4,2
3	2,3	2,4	2,3	1,8	2,5
4	2,3	2,1	2,3	5,1	6,6
5	2,1		2,3	1,7	2,4
6	2,6		5,0	2,1	2,0
7	2,3		1,8		12,9
8	1,6				
9	1,8				
10	1,7				
Среднее значение	$2,1 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,7$	$2,4 \pm 0,8$	$3,9 \pm 1,6$

Таким образом, специфика работы заключается в том, что существует разброс показателей загрязнения воздуха и соответствует ему размытие первичных дозиметрических характеристик.

Кроме того, величины накопления изотопов в организме людей, работающих в "одинаковых" условиях, имеют значительно больший разброс, чем биологические константы.

Этот факт требует введения допустимых рабочих пределов загрязнения воздуха, абсолютная величина которых меняется каждый раз в зависимости от дисперсии величин накопления изотопов в организме и отличается от СДК на коэффициент запаса.

В качестве примера рассмотрим вариант, когда распределение величин первичных дозиметрических характеристик подчиняется логарифмически нормальному закону с $\beta_{\text{д}} = 5$. В этом случае 21%

работающих будут иметь нагрузки значительно выше средней. Это означает, что при среднем загрязнении воздуха в пределах СДК и обычном режиме труда у 1/5 работающих дозовая нагрузка на организм будет превышать СДК, что нельзя считать удовлетворительным. Поэтому для оценки радиационной обстановки по усредненным значениям дозиметрических характеристик необходимо ввести новый критерий, восполняющий отсутствие у средней величины индивидуальных черт. Этот критерий может быть сформулирован следующим образом: безопасной средней величиной дозиметрической характеристики можно считать такую величину, при которой вероятность появления радиационной нагрузки, превышающей допустимую, будет приемлемо мала.

Исходя из всего изложенного, для определения допустимого рабочего предела коллективных показателей радиационной обстановки в численное значение среднегодовой допустимой величины (СДВ) или СДК в случае аэрозолей следует ввести коэффициент запаса для индивидуума $K_{\text{и}}$.

Очевидно, $K_{\text{и}}$ определяется величиной $\beta_{\text{зд}}$ и принимаемым коэффициентом риска $\beta = \frac{100}{a}$ (a - % людей, имеющих радиационную нагрузку выше допустимой).

Выражение для вычисления $K_{\text{и}}$ может быть получено следующим образом.

Доля людей ($\frac{a}{100} = \frac{1}{\beta}$) с радиационной нагрузкой больше какой-либо величины и имеющей интегральное распределение, подчиняющееся лог-нормальному закону, равна

$$1/\beta = 1 - F(m) = 0,5 [1 - \Phi(\xi)],$$

где $\Phi(\xi)$ - интеграл вероятности.

Отсюда $1 - 2/\beta = \Phi(\xi)$ или выражая ξ через обратную функцию, $\xi = \Phi^{-1}(1 - 2/\beta)$.

Коэффициент запаса $K_{\text{и}}$ определяется нами как отношение двух значений m $K_{\text{и}} = \frac{\bar{m}_1}{\bar{m}_2}$, одно из которых является среднеарифметической величиной ($\bar{m}_1$) наблюдаемого распределения первичной дозиметрической характеристики $F(m_1)$ с параметрами m_{1g} и β_g , равной среднегодовой допустимой величине ($\bar{m}_1 = \text{СДВ}$), определенной по старому критерию безопасности, делитель же соответствует среднеарифметической величине распределения $F(m_2)$ со старым стандартным геометрическим отклонением β_g , но сдвинутым относительно $F(m_1)$ таким образом, что $F(m_2 = \bar{m}_1) = 1 - \frac{1}{\beta}$, т.е. доля людей с радиационной нагрузкой больше предельно допустимой величины ($\text{ПДВ} = \bar{m}_1$), становится равной a . Вспоминая, что

$$\xi = \frac{\lg m - \lg m_g}{\lg \beta_g} \quad \text{получим} \quad \Phi^{-1}(1 - \frac{2}{\beta}) = \frac{\lg \bar{m}_1 - \lg m_{2g}}{\lg \beta_g}$$

$$\text{или} \quad m_{2g} = \bar{m}_1 \beta_g^{-\Phi^{-1}(1 - 2/\beta)}, \quad \text{но} \quad m_2 = m_{2g} \beta_g^{0,5 \lg \beta_g}$$

$$\text{и окончательно} \quad \bar{m}_2 = \bar{m}_1 \beta_g^{0,5 \lg \beta_g - \Phi^{-1}(1 - 2/\beta)}$$

соответствует по определению коэффициента запаса $K_{\text{и}} = \frac{\bar{m}_1}{\bar{m}_2}$, что

$$\text{уравнению} \quad K_{\text{и}} = \frac{\beta_{\text{зд}}}{K} \quad (5)$$

1) вторичные доз. характеристики.

В настоящем докладе авторы предлагают по аналогии с существующим термином "стандартный человек" ввести понятие "стандартных" условий труда, характеризующих коэффициентом запаса равным 5. Тогда допустимый рабочий предел загрязнения воздуха, соответствующий "стандартным" условиям, может трактоваться как новая СДН, которая будет жестче общепринятой в 5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадьин В.И., Саяпина Р.Я. "Оценка радиационной опасности короткоживущих аэрозолей, неравновесных эманаций и грубодисперсной радиоактивной пыли". Доклад, Брюссель, 19-22/IV-71 г.
2. Алферов М.И., Бадьин В.И., Батова З.Г., Пархоменко Г.М., Саяпина Р.Я., Саяпин Н.П., Суровежин Н.Н. "Оценка радиационной обстановки при работе с радиоактивными веществами", в кн. Радиационная медицина, Атомиздат, М., 1972, стр. 210-214.
3. Бадьин В.И., Саяпина Р.Я. "Принципы установления допустимых рабочих пределов показателей радиационной обстановки в профессиональных условиях". Доклад, Брюссель, 19-22/IV-71 г.
4. Бадьин В.И., Ермилов А.П., Маргулис У.Я., Хрущ В.Т. "О статистическом подходе при разработке математических моделей для оценки внутреннего облучения". Тезисы доклада, Международный конгресс по радиационной защите, Вашингтон, 1972 г.