Определение поступления продуктов распада радона в органы дыхания прямым методом

РУЗЕР Л. С.

УДК 621.039.766

Определение поглощенных доз внутреннего облучения легких горнорабочих при вдыхании короткоживущих продуктов распада радона является актуальной задачей. До настоящего времени она решалась путем измерения концентраций изотопов на рабочих местах и подсчета поглощенной дозы по заданным скоростям вдыхания и коэффициентам задержки аэрозолей в органах дыхания. Но значение коэффициента задержки зависит от физико-химических свойств аэрозолей и не может быть измерено с достаточной точностью. Значение скорости вдыхания также достаточно неопределенно, поскольку она зависит от физической нагрузки (характер работы) и изменяется в широких пределах.

Весьма существен вопрос о трактовке величины измеряемой концентрации. Концентрация изотопов в воздухе на одном и том же месте подвержена значительным изменениям. Например, изменение интенсивности вентиляции даже на короткий промежуток времени приводит к изменению концентрации радона в несколько раз. Кроме того, содержание изотопов непосредственно в зоне дыхания горнорабочих может значительно отличаться от величины, измеряемой обычными приборами. Наконец, сами понятия «рабочее место» и «концентрация на рабочем месте» неопределенны, так как горнорабочие находятся в течение смены на нескольких рабочих местах с переменной концентрацией продуктов распада радона в рудничной атмосфере.

Поскольку измерение концентраций на рабочих местах в рудниках проводится один — два раза в месяц, точного соответствия между действительными и измеренными концентрациями не может быть, и, следовательно, правильно рассчитать индивидуальные величины поступления практически невозможно.

Суммарная погрешность расчета поглощенных доз по концентрациям оценивается приблизительно в 5—10 раз по сравнению с действительными показателями внутреннего облучения [1].

В работах [2—5] описан прямой метод определения поступления продуктов радона в органы дыхания. Анализ систематических и случайных погрешностей этого метода показал, что суммарная погрешность измерения при постоянстве концентрации изотопов в зоне дыхания, коэффициента задержки и скорости дыхания, обусловливающих 0,3 величины допустимого поступления за смену, не превышает 25% [4].

Систематические погрешности, связанные с загрязненностью тела, спецодежды, а также с влиянием накопленного в жировых тканях брюшной полости радона, устраняются введением соответствующих поправок. Например, показано, что вклад γ-излучения из области брюшины в суммарную величину скорости счета при измерении активности в легких через 30 *мин* после выхода из воздушной среды, загрязненной радоном, не превышает 5%. Погрешность, связанная с загрязненностью спецодежды и тела работающего, снижается до 15 и 1% измеряемой величины соответственно, после того как снята спецодежда и принят душ. Детально проанализированы случайные погрешности, связанные с геометрическими факторами, сдвигом равновесия RaA, RaB, RaC и стабильностью фона установки.

Необходимо учитывать изменения во времени концентрации q, объемной скорости вдыхания v_t и коэффициента задержки $\varkappa$. Соответствующую поправку можно ввести экспериментальным и расчетным способами.

При экспериментальном способе прибор для измерения прямым методом размещают непосредственно под землей вблизи рабочего места [4], вследствие чего без заметных перерывов в работе можно измерять активность в легких горнорабочих.

С другой стороны, учет вариаций q, v_t, $\varkappa$ и введение соответствующей поправки δ может проводиться и расчетным путем [6].

Обозначим через $Q = qv_t\varkappa$ скорость поступления изотопов в легкие за единицу времени. Рассмотрим случай, когда Q изменяется во времени. Разобьем весь интервал времени фильтрации θ на отдельные участки $\Delta\theta$, в течение которых Q можно считать постоянной

$$\Delta\theta = \theta/k,$$

где k — кратность разбиения, определяемая требуемой величиной погрешности, с которой должно быть выполнено условие постоянства Q_i на участке разбиения.

Применим формулы для активности в случае постоянных Q последовательно к каждому интервалу разбиения и для каждого короткоживущего дочернего продукта радона. Окончательные выражения для RaA, RaB и RaC(RaC′) будут иметь вид:

$$A_{\mathrm{A}} = \sum_{i=1}^{k} Q_{\mathrm{A}}^{i} a_{\mathrm{A}}^{i}(\theta, k), \text{ где } a_{\mathrm{A}}^{i}(\theta) =$$

$$= \frac{1}{\lambda_{\mathrm{A}}}\left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda_{\mathrm{A}}\theta/k}\right) \mathrm{e}^{-\lambda_{\mathrm{A}}\theta\left(1-\frac{i}{k}\right)};$$

$$A_{\mathrm{B}} = \sum_{i=1}^{k} \left\{ Q_{\mathrm{A}}^{i}\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}\left[\theta/k;\ \theta\left(1-\frac{i}{k}\right)\right] + \right.$$

$$\left. + Q_{\mathrm{B}}^{i}\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{B}}\left[\theta/k;\ \theta\left(1-\frac{i}{k}\right)\right]\right\};$$

$$A_{\mathrm{C}} = \sum_{i=1}^{k} \left\{ Q_{\mathrm{A}}^{i}\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}}\left[\theta/k;\ \theta\left(1-\frac{i}{k}\right)\right] + \right.$$

$$\left. + Q_{\mathrm{B}}^{i}\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{B}}\left[\theta/k;\ \theta\left(1-\frac{i}{k}\right)\right] + Q_{\mathrm{C}}^{i}\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{C}}\left[\theta/k;\ \theta\left(1-\frac{i}{k}\right)\right]\right\}.$$

Выражения для $\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}$, $\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{B}}$, $\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}}$, $\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{B}}$ и $\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{C}}$ приведены в [7].

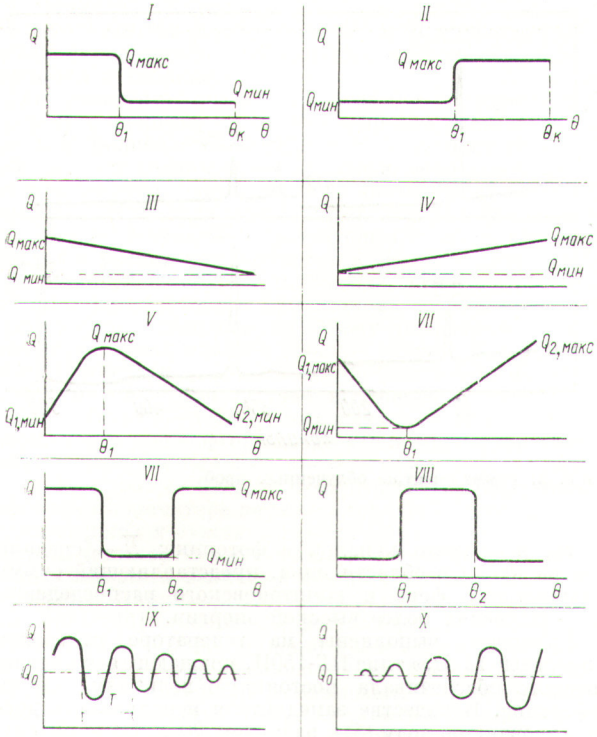
Поправку, обусловленную изменением величины Q, удобно представить в виде

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{k}\left\{Q_{\mathrm{A}}^{i}\left[\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}(\theta, k) + \Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}}(\theta, k)\right] + \right.}{\overline{Q}_{\mathrm{A}}\left[\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}(\theta) + \Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}}(\theta)\right] +} \times$$

$$\times \frac{\left. + Q_{\mathrm{B}}^{i}\left[\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{B}}(\theta, k) + \Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{B}}(\theta, k)\right] + Q_{\mathrm{C}}^{i}\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{C}}(\theta, k)\right\}}{+\overline{Q}_{\mathrm{B}}\left[\Phi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{B}}(\theta) + \Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{B}}(\theta)\right] + \overline{Q}_{\mathrm{C}}\Phi_{\mathrm{C}}^{\mathrm{C}}(\theta)} - 1,$$

где $\overline{Q}$ — средние значения скорости поступления изотопов в дыхательную систему за время θ. Величина δ зависит от вида кривой $Q(\theta)$, отношения $Q_{\text{макс}}/Q_{\text{мин}}$, сдвига равновесия и т. п.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины



Виды функций:
I — $Q = Q_{макс}$; $0 \leqslant \theta \leqslant \theta_1$; $Q = Q_{мин}$; $\theta_1 \leqslant \theta$; II — $Q = Q_{мин}$; $0 \leqslant \theta \leqslant \theta_1$; $Q = Q_{макс}$, $\theta \geqslant \theta_1$; IX — $Q = Q_0 + Q_1 e^{-bt} \sin 2\pi \frac{t}{T}$; X — $Q = Q_0 + Qe^{bt} \sin 2\pi \frac{t}{T}$

Для расчета было выбрано 10 вариантов вида функции $Q(\theta)$ [рисунок], а также ряд значений параметров, которые отражают многообразие ситуаций, возникающих в практических условиях.

Общие значения параметров для всех вариантов:

1. $\theta = 30$; 60; 90; 120; 180; 420 *мин*.
2. Число разбиений: $k = 2$; 3; 5; 7; 10; 14; 28; 42.
3. $Q_A : Q_B : Q_C = 1:1:1$; $1:0{,}8:0{,}6$; $1:0{,}6:0{,}4$; $1:0{,}5:0{,}5$; $1:0{,}4:0{,}2$; $1:0{,}3:0{,}1$; $1:0{,}5:0{,}05$; $1:0{,}1:0{,}05$; $1:0{,}1:0{,}01$; $1:0{,}05:0{,}01$; $1:0{,}01:0{,}01$;
4. $Q_{макс}/Q_{мин} = 1{,}5$; 2,0; 3,0; 5,0; 10; 15; 20; 30; 50; 100; 300; 1000.
5. $\left.\begin{matrix}\theta_1/\theta_k \\ \dfrac{\theta_2-\theta_1}{\theta_k}\end{matrix}\right\} = 0{,}1;\ 0{,}2;\ 0{,}3;\ 0{,}4;\ 0{,}5;\ 0{,}6;\ 0{,}7;\ 0{,}8;\ 0{,}9.$
6. $Q_{мин} = 50$ *расп/мин/мин* ($q = 10^{-11}$ *кюри/л*; $k = 0{,}2$; $v_t = 10$ *л/мин*).

Расчет проводился на ЭВМ БСЭМ-6 [6].

Способ введения поправки, связанной с изменением Q во времени, предполагает подбор наиболее близкой к реальному виду функции $Q(\theta)$ (варианты $I - X$, см. рисунок) и отыскание по заданным значениям $Q_{макс}/Q_{мин}$, θ_1, а также других необходимых параметров поправки δ.

Искомая величина активности (поступления) в легких $\overline{A}$ выражается через измеренное значение A следующим образом:

$$\overline{A} = \frac{1}{1+\delta} A.$$

Степень погрешности в определении δ зависит от близости выбранного варианта распределения к варианту в реальных условиях. Необходимо заметить, что поскольку наибольшую по абсолютной величине поправку δ, а значит, и наибольшее отличие A от $\overline{A}$ дают варианты I и II, можно ограничиться максимальным значением δ для этих вариантов. Это целесообразно еще и потому, что даже в этих случаях для $Q_{макс}/Q_{мин} \leqslant 30$ суммарная погрешность измерения прямым методом не превышает 40% на уровне предельно допустимых поступлений, что вполне достаточно для практических целей.

Поступило в Редакцию 1/X 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рузер Л. С.** Диссертация. М., ВНИИФТРИ, 1970.
2. **Рузер Л. С.** «Бюл. изобрет.», 1964, № 18.
3. **Рузер Л. С., Урусов С. А.** «Атомная энергия», 1969, т. 26, вып. 3, с. 301.
4. **Урусов С. А.** Диссертация. М., Ин-т биофизики. Минздрав СССР, 1972.
5. **Альтерман А. Д.** Диссертация. М., Институт гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР, 1974.
6. **Герасимов Ю. С., Рузер Л. С.** Методы определения содержания радиоактивных изотопов в организме человека. Материалы симпозиума. Л., изд. Ленингр. НИИ радиационной гигиены МЗ РСФСР, 1973, с. 58.
7. **Рузер Л. С.** Радиоактивные аэрозоли. М., изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1968.

Нейтронно-активационное определение гафния в цирконии в случае помех от фтора

ОВЕЧКИН В. В., ПАНШИН А. З., РУДЕНКО В. С.

УДК 543.53

Экспрессный нейтронно-активационный метод определения гафния, основанный на регистрации активности короткоживущего изомера ^{179m}Hf ($T_{1/2} = 19$ *сек*, $E_\gamma = 0{,}217$ *Мэв*), применяется в аналитической практике [1—3].

Большое значение сечения ^{178}Hf(n, γ)-реакции (~ 75 *барн*) на тепловых нейтронах позволяет использовать для активации наряду с реакторами также портативные источники нейтронов: низковольтные генераторы [2] и изотопные источники [3]. Наведенную

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины