

Для того чтобы предупредить загрязнение кишечной палочкой и возможное инфицирование микробами кишечной группы мороженого, покрытого шоколадной глазурью, и изделий со сливочным кремом, следует осуществлять предварительный контроль масла, используемого в качестве сырья. Масло, предназначенное для изготовления шоколадной глазури и сливочного крема, при исследовании ускоренным способом не должно совершенно давать роста колоний на среде Эндо.

Поступила 19/VII 1965 г.

УДК 614.73:615.777.99-033-015.35

РАСЧЕТ ТКАНЕВЫХ ДОЗ ОТ ЦЕЗИЯ-137

В. М. Малыхин, А. А. Моисеев, В. П. Шамов

Наиболее важной характеристикой радиационной обстановки в том или ином районе, сложившейся в результате выпадения радиоактивных осадков, являются данные о возможных уровнях накопления радиоактивных продуктов взрывов в организме местных жителей и формируемых ими тканевых дозах облучения. В настоящем сообщении рассмотрены дозовые характеристики, приведены аналитические выражения и кривые для расчета уровней накопления цезия-137 (Cs^{137}) в организме и тканевых доз облучения населения от этого изотопа.

Задержка Cs^{137} в организме человека после однократного введения хорошо описывается двухкомпонентной экспоненциальной моделью вида:

$$Q(t) = Q_0 f_1 f_2 \sum_{i=1,2} p_i e^{-(\lambda_i + \lambda_p)t}, \quad (1)$$

где $Q(t)$ — содержание Cs^{137} в теле человека в момент времени t после однократного поступления в организм активности Q_0 ; p_i — доля изотопа, выводящаяся из организма с i — периодом биологического полувыведения; λ_p — постоянная физического распада; λ_i — постоянные биологического выведения (Richmond и соавторы; Cohn и соавторы; Rundo и Newton; Rundo); f_1 и f_2 — коэффициенты, показывающие, какая доля активности поступает из желудочно-кишечного тракта в кровь и из крови в критический орган соответственно (Радиационная защита).

На основании этой модели выведено соотношение, позволяющее рассчитывать уровень накопления Cs^{137} в теле человека $Q(t)$ в случае продолжительного поступления этого изотопа в организм с рационом, и интегрированием по времени получена общая формула для определения дозы облучения D за счет инкорпорированного Cs^{137} .

Из этих общих выражений можно вывести соотношения, позволяющие определить $Q(t)$ и $D(t)$ для частных случаев, относящихся к различным срокам, прошедшим после испытаний ядерного оружия в атмосфере: 1) при сравнительно кратковременном поступлении Cs^{137} в организм человека во время испытаний и непосредственно после их окончания, когда радиоактивное загрязнение рациона обусловлено главным образом оседанием этого изотопа из атмосферы с радиоактивными выпадениями непосредственно на листву, стебли и соцветия растений ($\lambda_b = 0$); 2) при непрерывном поступлении Cs^{137} в организм в течение длительного времени (соизмеримого с продолжительностью жизни человека) после завершения в основном радиоактивных выпадений. Для второго случая, типичного в наши дни и представляющего наибольший

интерес с точки зрения радиационной гигиены, можно принять, что Cs^{137} поступает в рацион человека по пищевым цепочкам преимущественно из почвы; установлено динамическое равновесие между уровнями содержания Cs^{137} в различных звеньях пищевых цепочек; концентрация Cs^{137} в звеньях этих цепочек, в том числе и в рационе человека, спадает по экспоненте с $\lambda = \lambda_p + \lambda_b$.

Данные экспериментальных исследований показывают, что небольшая доля (10—15%) изотопа быстро выводится из организма с периодом биологического полувыведения порядка 1—2 дней, практически не создавая дозы, что позволяет определять $Q(t)$ и $D(t)$ по упрощенным формулам:

$$Q(t) = q_0 f_1 f_2 P_1 \frac{e^{-(\lambda_p + \lambda_b)t} - e^{-(\lambda_p + \lambda_1)t}}{\lambda_1 - \lambda_b}, \quad (2)$$

$$D(t) = \frac{q_0 f_1 f_2 P}{\lambda_1 - \lambda_b} \left[\frac{1 - e^{-(\lambda_p + \lambda_b)t}}{\lambda_p + \lambda_b} - \frac{1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_p)t}}{\lambda_p + \lambda_1} \right], \quad (3)$$

где q_0 — активность рациона в момент времени $t=0$; λ_b — постоянная вымывания Cs^{137} из почвы; t — время хронического поступления Cs^{137} в организм; P — мощность дозы от активности, равномерно распределенной в теле «стандартного» человека.

Ошибка в величине накопления и дозы при использовании этих формул (где в соответствии с пренебрежением быстро обменивающейся компонентой: $P_2=0$, $P_1=0,85$) не превосходит 1% (Richmond и соавторы; Rundo и Newton). Для кратковременного (менее 20 дней) поступления цезия формулы могут уточнять однокомпонентный вариант модели до 15%.

Результаты расчета уровней накопления Cs^{137} в теле человека $Q(t)$ приведены на рис. 1. На рис. 2 показана зависимость от времени дозовых коэффициентов: $C_{\text{Двнешн.}}$ — дозы внешнего облучения на начальный уровень 1 мкюри/км²; $C_{\text{Двнутр.}}$ — дозы внутреннего облучения на начальный рацион $1 \cdot 10^{-11}$ кюри Cs^{137} ; C_{ID} — дозы на содержание

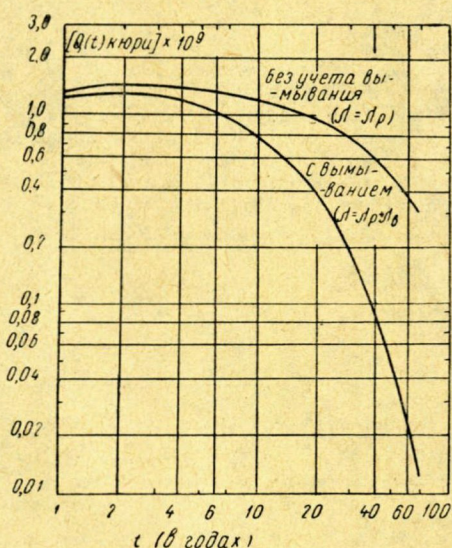


Рис. 1. Содержание Cs^{137} в организме $Q(t)$ мкюри в зависимости от времени t для начальной активности рациона $q_0 = 1 \cdot 10^{-11}$ кюри Cs^{137} . Верхняя кривая без учета вымывания.

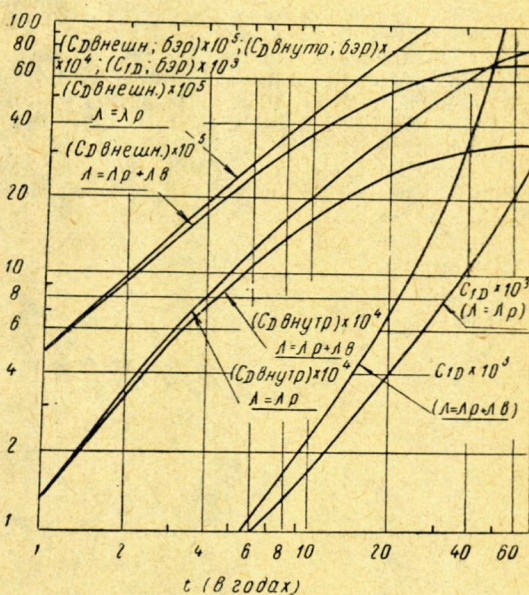


Рис. 2. Зависимость от времени дозовых коэффициентов. Пояснения в тексте.

$1 \cdot 10^{-9}$ кюри Cs^{137} в организме ко времени t . Величина коэффициента $C_{\text{Д}}$ и $C_{1\text{Д}}$ дана в бэрах с учетом и без учета фактора вымывания из активного слоя почвы.

При расчетах принималось, что λ_b равна $4,63 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$ (Barbier и соавторы; Gale и соавторы), эффективный период полувыведения медленно выводимой части активности $\text{Cs}^{137} - T_{1/2\text{эф.}}$ равен 120 дням ($\lambda_{\text{эф.}} = 2,11 \text{ год}^{-1}$). Последняя величина совпадает с экспериментальными результатами большинства различных авторов (Anderson и соавторы; McNeil и соавторы; Baarli и соавторы; Taylor и соавторы; доклад Научного комитета ООН; Richmond и соавторы; Rundo и Newton; Rundo).

Ввиду трудностей учета фактора вымывания Cs^{137} из активного слоя почвы, связанных с неопределенностью оценок величины постоянной вымывания (доклад Научного комитета ООН) и некоторыми особенностями, наблюдаемыми в ряде районов земного шара, например на Крайнем Севере (Pruitt и соавторы), доза $D(t)$ и нагрузка $Q(t)$ вычислялись также при $\lambda_b = 0$, т. е. без учета вымывания Cs^{137} из почвы. Полученные при этом величины характеризуют максимально возможные уровни накопления Cs^{137} в организме человека и интегральные тканевые дозы.

При произвольных значениях уровня начальной активности рациона q_0 , нагрузки на организм $Q(t)$ ко времени измерения t и начальной плотности загрязнения почвы a мкюри/км² Cs^{137} интегральные тканевые дозы определяются выражениями 3, 4 и 5:

$$D_{\text{внутр.}} = C_{\text{Д}} \cdot q_0, \quad (3)$$

$$D_{\text{внутр.}} = C_{1\text{Д}} \cdot Q(t), \quad (4)$$

$$D_{\text{внешн.}} = C_{\text{Д внешн.}} \cdot a \quad (5)$$

Коэффициент $C_{1\text{Д}}$ удобен при расчете тканевых доз от инкорпорированного Cs^{137} , измеренного *in vivo* непосредственно с помощью установки для определения активности тела человека или косвенно — по уровню выделения Cs^{137} из организма.

ЛИТЕРАТУРА

Радиационная защита. М., 1961. — Anderson E. C. et al., Science, 1957, v. 125, p. 1273. — Baarli J. et al., Nature, 1961, v. 191, p. 436. — Barbier C. et al., C. R. Acad. Agric. (Paris), 1958, v. 44, p. 874. — Cohn S. H. et al., Radiat., Res., 1963, v. 19, p. 655. — Gale H. I. et al., Nature, 1964, v. 201, p. 257. — McNeil K. G. et al., Canad. J. Phys., 1959, v. 37, p. 528. — Pruitt W. O. et al., Audubon Mag., 1963, v. 65, p. 284. — Richmond C. R. et al., Hlth Phys., 1962, v. 8, p. 201. — Rundo J., Newton D., Nature, 1962, v. 195, p. 851. — Taylor M. P. et al., Phys. in Med. Biol., 1962, v. 7, p. 157.

Поступила 18/XI 1964 г.