

УДК 614.876:574.3:630.22

## ФОРМИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А.Ф. Мирончик, Д.А. Литская

Описан механизм накопления радиоактивных веществ в организме человека при их поступлении через желудочно-кишечный тракт. На основании проведенных расчетов показана значимость пищевой составляющей в формировании дозы внутреннего облучения сельского жителя.

### Введение

В случае загрязнения радиоактивными веществами (РВ) больших территорий с различными почвенными и климатическими условиями, которое наблюдается после катастрофы на Чернобыльской АЭС, значительно варьирует вклад различных путей поступления радионуклидов в степень облучения населения (рисунок 1). В областях с преимущественно песчаными и торфяными почвами, к которым относится большинство загрязненных земель Белоруссии, России и севера Украины, долговременное внутреннее облучение  $^{137}\text{Cs}$  преобладает над внешним облучением населения [1–3].



Рисунок 1 – Пути поступления, переноса и выделения радионуклидов

Применение защитных агрономелиоративных и зоотехнических мероприятий наряду с естественным распадом короткоживущих радионуклидов позволило уменьшить в общественном секторе производство молока, превышающего нормативы по содержанию  $^{137}\text{Cs}$ , с 13,8% в 1986 г. до 0,001% в 2006 г. мяса – с 4,3% до 0,0005% соответственно. В общественном секторе, где сельскохозяйственное производство ведется интенсивными методами с использованием сельскохозяйственных машин, применением минеральных удобрений и севооборота, накопление радионуклидов в производимом сырье ниже, чем в продукции частных хозяйств, где обработка почвы сведена к минимуму, редко применяются удобрения для повышения

производства продукции. Домашние животные, как правило, находятся на свободном выпасе, часто используются лесные пастбища, неудобицы и заливные луга [4].

Внутреннее облучение организма обусловлено потреблением загрязненных продуктов питания, основными из которых являются молоко и молочные продукты, картофель, мясные продукты, хлеб, а также овощи и фрукты. Помимо них определенная часть населения традиционно использует в пищу продукцию лесов и водоемов – грибы, ягоды, мясо диких животных, рыбу. Вклад этих продуктов в формирование дозы является значительно меньшим, чем молока и картофеля вследствие более низкого потребления или меньшего перехода цезия из почвы. Тем не менее, они могут быть важны для определенных критических групп населения [5], так как, например, максимальное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в тушах диких животных, добытых в последние годы на территории Могилевской области, составило 9620–19910 Бк/кг, Гомельской области – 11407–21000 Бк/кг. В частном секторе производства по данным Минздрава за 1991–1997 гг. 15–25% проб молока, которое более чем на 60%, формирует дозовую нагрузку детей в сельской местности, имели содержание  $^{137}\text{Cs}$  выше допустимого уровня [6].

Из всей совокупности дозообразующих радионуклидов и путей облучения ими организма основной вклад за послеаварийный период внесли: внутреннее облучение от короткоживущих радионуклидов йода и теллура, поступивших в организм ингаляционно и перорально с загрязненными продуктами питания; внешнее облучение от  $\gamma$ -излучающих нуклидов, выпавших на поверхность почвы; внутреннее облучение от долгоживущих радионуклидов, поступивших перорально с загрязненными продуктами питания.

Выпадение радионуклидов на обширной территории после катастрофы на Чернобыльской АЭС и, в основном, экономические и организационные факторы не позволяют ежегодно выделять в необходимом объеме средства на проведение защитных мероприятий в сельском хозяйстве. Это означает, что на значительных территориях, например, Гомельской области, нет возможности обеспечить производство местных продуктов питания, которые бы не превышали допустимых уровней содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Так как правительством республики взят курс на реабилитацию этих регионов, то необеспеченность этого процесса защитными мероприятиями может привести к росту потребления загрязненных продуктов питания и увеличению дозовой нагрузки [3, 7, 8]. Поэтому целью выполнения данного исследования явилось определение основных видов продуктов питания, формирующих внутреннюю дозовую нагрузку, описание механизма накопления РВ в организме человека при их поступлении через желудочно-кишечный тракт, а также расчет величины и значимости пищевой составляющей в формировании дозы внутреннего облучения сельского жителя.

### Результаты исследований и их обсуждение

Неравномерность загрязнения почвы, ее тип, изменение доступности некоторых видов местных продуктов питания сказываются на трудности определения доз облучения населения, рассчитанных на основе уровней потребления и содержания радионуклидов в продуктах питания без подробной информации по каждому населенному пункту. Используемое среднее значение уровня регионального потребления может дать возможность прогнозирования примерной дозы. Для южных районов Гомельской области авторами [9] оценено поступление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в организм сельского жителя. Примерно 85 % суточного поступления  $^{137}\text{Cs}$  происходит за счет молока, мяса и картофеля. Основными продуктами, определяющими содержание  $^{90}\text{Sr}$ , являются молоко, картофель и овощи (до 84 %). Анализ вклада в общую дозу основных дозообразующих продуктов показывает, что 40–45 % годовой дозовой нагрузки жители загрязненных регионов будут получать за счет потребления молока даже с допустимым содержанием  $^{137}\text{Cs}$ . По расчетам В.Б. Нестеренко [10, 11] для обеспечения выполнения требований Закона в части непревышения дозовой нагрузки в 1 мЗв/год, целесообразно проведение защитных мероприятий для снижения фактического содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке до 74 Бк/л, мясе – до 185 Бк/кг.

Радиоактивные вещества, попавшие в организм, подвергаются сложным процессам распределения, накопления и выведения, которые зависят от способа поступления, путей обмен-

на, растворимости вещества и прочности связи химического соединения. Эти вещества распределяются по органам и тканям за определенное время (рисунок 1). Радионуклиды, поступившие в кровь, распределяются в сосудистой системе за период времени, измеряемый минутами, и выводятся из крови частично в результате накопления их различными тканями, а также за счет выведения с мочой. РВ, поступившие в ткани, обычно возвращаются в кровь. Скорость их накопления и выведения значительно различается в разных тканях. Для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  процесс накопления происходит относительно быстрее, чем процесс выведения, поэтому основную часть дозы ткань получает в период фазы выведения. При таких обстоятельствах дозу в ткани рассчитывают, принимая мгновенное накопление и последующее равномерное снижение концентрации радиоактивности в ткани.

Перенос радионуклида в теле принято описывать простой моделью, которая упрощает расчеты и позволяет оценить дозы с достаточной точностью. Для целей дозиметрии тканевое распределение представляют стабильной совокупностью отдельных систем (камер), связанных между собой реакциями первого порядка, т.е. описываемыми дифференциальными уравнениями I порядка. Предположение, что реакции между системами являются реакциями I порядка, означает, что число нуклидов, покидающих данную систему в единицу времени, пропорционально имеющемуся количеству радиоактивности. Согласно биокинетической модели, когда орган или ткань могут состоять из одной или нескольких камер, после поступления радионуклида в организм изотоп перемещается в жидкости тела со скоростью, определяемой константами скорости для различных камер в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) и константами радиоактивного распада данного радионуклида. При этом принимается, что кинетика очищения этой камеры от радионуклида описывается уравнением I порядка с периодом полувыведения 0,25 суток. Условно принято, что ядерные превращения, происходящие в переходной камере, равномерно происходят во всем теле массой 70 кг. Принимается также, что из каждой камеры органа или ткани радионуклид выносится с соответствующей скоростью по путям выведения. Для упрощения принимают, что обратного поступления (подпитки) в переходную камеру не происходит. Следует отметить, что из-за этого допущения количество нуклида в переходной камере на любой момент времени после поступления в ЖКТ не может быть использовано для расчета количества этого нуклида в жидкостях тела в определенный момент времени. Согласно такой модели, активность  $A(t)$  в любой камере в момент времени  $t$  определяется следующими уравнениями:

– в переходной камере а:

$$\frac{d}{dt} A_a(t) = i(t) - \lambda_a \cdot A_a(t) - \lambda_r \cdot A_a(t), \quad (1)$$

– в ткани, описываемой камерой б:

$$\frac{d}{dt} A_b(t) = b \cdot \lambda_a \cdot A_a(t) - \lambda_b \cdot A_b(t) - \lambda_r \cdot A_b(t), \quad (2)$$

где  $i(t)$  – скорость поступления радионуклида в жидкости тела на время  $t$  после его заглатывания;

$\lambda_a, \lambda_b$  – константа скорости выведения стабильного изотопа данного элемента из переходной камеры а, б;

$\lambda_r$  – константа радиоактивного распада радиоактивного изотопа данного элемента;

$b$  – фракции стабильных изотопов элемента, переносимых из жидкостей тела в камеру б, значения этих констант получают из данных о метаболизме отдельных элементов.

Решение линейных дифференциальных уравнений (1) и (2) в конечном итоге дает экспоненциальную зависимость процесса выведения радиоактивности из организма человека. Обычно скорости выведения нуклидов определяются по периоду времени, в течение которого содержание радионуклида в ткани или организме уменьшается в два раза по сравнению с начальным значением. Выведение радиоактивности из ткани характеризуют биологическим

периодом полувыведения (БПП)  $T_b$ :

$$T_b = \frac{\ln 2}{\lambda_b}, \quad (3)$$

где  $\lambda_b$  – скорость выведения активности, определяющая относительное снижение радиоактивности ткани в единицу времени, обусловленная биологическими процессами.

БПП колеблется в широких пределах в зависимости от ткани и химической природы изотопа. Например, период полувыведения  $^{131}\text{I}$  из щитовидной железы составляет от нескольких дней до нескольких месяцев при среднем значении около трех недель. Физический распад и биологическое выведение являются независимыми и одновременно происходящими процессами, поэтому общая доля радиоактивности, выводимая из ткани в единицу времени, представляет собой эффективный период полувыведения:

$$T_{эфф} = \frac{\ln 2}{\lambda_r + \lambda_b} = \frac{\ln 2}{\lambda_{эфф}}. \quad (4)$$

Следует отметить, что эффективный период полувыведения нуклида из ткани не может быть точно предсказан по многим причинам, наиболее значимой является сложность его связей со скоростями передачи и отложения радиоактивности в тканях, которые, в свою очередь, являются функциями физического и психического состояния субъекта.

Многочисленными исследованиями установлено, что в ЖКТ независимо от потребностей организма всасываются как нужные для него, так и бесполезные или даже вредные вещества, которые способны превратиться в простые химические соединения. Роль различных участков ЖКТ в осуществлении процесса всасывания неодинакова. Например, у человека наиболее интенсивно этот процесс протекает в тонком кишечнике, где поверхность и время соприкосновения между питательными веществами и стенкой пищеварительной трубки больше, чем в других участках ЖКТ. Было предпринято немало попыток объяснить процессы всасывания на основе таких физико-химических явлений, как диффузия, осмос и фильтрация. Однако со временем от этого механистического подхода отказались, так как экспериментальными работами было доказано существование в организме и таких явлений, как избирательность, односторонняя проницаемость, проникновение веществ против градиента концентрации, которые невозможно объяснить только физико-химическими законами. Стало очевидным, что слизистая оболочка ЖКТ – это не просто полупроницаемая мембрана, а прежде всего ткань, предназначенная для выполнения определенной физиологической функции.

Очевидно, что в общем случае только некоторая часть из попавшего в ЖКТ вместе с пищей и водой РВ попадает в организм, в то время как оставшаяся часть проходит через ЖКТ «транзитом». Для того, чтобы количественно характеризовать процесс всасывания РВ из ЖКТ в кровь и лимфу, в радиобиологии используется специальная величина, называемая коэффициентом всасывания, или резорбции. Дальнейшая судьба той части РВ, которая перешла из ЖКТ в кровь и лимфу, определяется наличием у него химического родства к какому-либо из элементов, входящих в состав тканей тела, или потребностью в нем организма. Оставшаяся в ЖКТ часть РВ через некоторое время удаляется из него вместе с содержимым и слизью, выстилающей стенки кишечника.

Более упрощенно годовая эффективная доза внутреннего облучения жителей населенного пункта (НП)  $E_{int,y}$  может быть рассчитана по формуле [5]:

$$E_{int,y} = \sum_k \cdot \sum_i e_{k,i} \cdot \eta_i \int_{t_1}^{t_2} I_{k,i}(t) \cdot dt, \quad (5)$$

где  $e_{k,i}$  – эффективная доза, создаваемая в организме представителя возрастной группы  $i$ , при поступлении по определенному пути в организм единичной активности нуклида  $k$ ;

$\eta_i$  – доля представителей возрастной группы  $i$  в возрастной структуре НП;

$I_{k,i}(t)$  – временная функция поступления радионуклида  $k$  соответствующим путем в организм представителя возрастной группы  $i$ ;

$t_1, t_2$  – пределы интегрирования по времени.

Величина годового поступления радионуклида  $k$  в организм человека определяется интегрированием функции  $I_{k,i}(t)$  за период времени один год:

$$AI_{k,i} = \int_{t_1}^{t_2} I_{k,i} dt \quad (6)$$

В случае поступления радионуклидов цезия и стронция в организм человека годовое поступление может быть определено по содержанию радионуклидов в рационе питания:

$$AI_{k,i} = \sum_n C_{k,n} \cdot M_{n,i}, \quad (7)$$

где  $C_{k,n}$  – среднегодовая концентрация радионуклида  $k$  в продукте питания  $n$ ;  
 $M_{n,i}$  – среднегодовое потребление продукта  $n$  для представителя возрастной группы  $i$ .

В таблице 1 представлены рацион питания взрослого человека, использованный при расчете дозы внутреннего облучения жителей Беларуси, и рационы питания городских и сельских жителей Гомельской области. При сопоставлении пищевых компонентов рациона, например, жителей Грузии, оказалось, что основными поставщиками  $^{90}\text{Sr}$  глобальных выпадений являются хлебопродукты (49,6%), молочные продукты (18,2%), овощи (9%), пряная и салатная зелень (4%), фасоль (4,2%), мясопродукты (3,5%), фрукты (5,1%), картофель (2,9%) и рыба (0,4%). Рацион питания для представителей младших возрастных групп отличается от рациона взрослого и по количеству и по структуре. В таблице 2 представлены для всех возрастных групп Беларуси значения поправочных коэффициентов ( $v_{n,i}$ ) для отдельных компонентов и общего весового количества рациона.

Таблица 1 – Среднегодовое потребление продуктов питания городскими и сельскими жителями

Продукт питания	Среднегодовой рацион питания (кг/чел)		
	средний	городское население	сельское население
Мясомолочный компонент			
Молоко	197,10	116,80	237,25
Молочные продукты	65,06*	40,15	62,05
Мясо	63,51	83,95	94,9
Грибы свежие	1,00	0,73	0,37
Грибы сухие	0,05	0,01	0,1
Растительный компонент			
Картофель	211,70	156,95	262,80
Хлеб	161,33	116,80	182,50
Овощи	86,14**	65,70	94,90
Фрукты, ягоды	35,14	29,20	51,10
Всего	785,89	610,28***	985,87***

Примечание: \* – в состав молочных продуктов включены: молоко снятое (16,43 кг), сметана и сливки (35,04 кг), творог (5,48 кг), масло сливочное (5,48 кг), молочные консервы (1,68 кг), сыр (0,95 кг);

\*\* – в состав овощей вошли: капуста (28,47 кг), огурцы и помидоры (31,39 кг), корнеплоды (11,68 кг), прочие овощи (14,60 кг);

\*\*\* – в состав годового рациона не включено потребление яиц (14,6-18,25 кг)

Таблица 2 – Значения поправочного коэффициента ( $\nu_{n,i}$ ), учитывающего различия в среднесуточном потреблении продуктов питания для разных возрастных групп

Продукт питания	Значение поправочного коэффициента ( $\nu_{n,i}$ ), отн. ед.					
	< 1 года	1–2 лет	2–7 лет	7–12 лет	12–17 лет	> 17 лет
Молоко	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Молочные продукты	0,17	0,17	0,20	0,28	0,33	0,33
Мясо	0,00	0,11	0,12	0,28	0,31	0,32
Грибы свежие	0,00	0,00	0,002	0,004	0,005	0,005
Грибы сухие	0,00	0,00	0,0001	0,0002	0,00025	0,00025
Картофель	0,00	0,22	0,36	0,82	0,99	1,00
Хлеб	0,00	0,17	0,46	0,64	0,74	0,76
Овощи	0,16	0,17	0,35	0,34	0,41	0,41
Фрукты, ягоды	0,00	0,28	0,20	0,14	0,17	0,17
Весь рацион	0,39	0,52	0,67	0,88	0,99	1,00

При расчете дозовых нагрузок было обосновано и принято представлять поступление радионуклидов с продуктами питания в организм двумя составляющими эффективного рациона – «мясомолочной» и «растительной». При этом «мясомолочный» компонент рациона отражает поступление радиоактивности с продуктами питания животного происхождения и грибов, а «растительный» – с продуктами питания растительного происхождения. Деление рациона на два компонента позволяет представить среднегодовую концентрацию нуклидов в каждом из элементов рациона через их концентрацию в соответствующих базовых элементах компонентов эффективного рациона, т.е. через молоко и картофель. В таблице 3 приведены взвешивающие коэффициенты ( $\omega_{n,k}^m$ ) и ( $\omega_{n,k}^p$ ) для продуктов питания  $n$  «мясомолочного» и «растительного» компонентов рациона и нуклидов  $k$ , полученные для условий Беларуси.

Таблица 3 – Взвешивающие коэффициенты ( $\omega_{n,k}^m$ ) и ( $\omega_{n,k}^p$ ) для продуктов питания  $n$  «мясомолочного» и «растительного» компонент рациона и радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$

Продукт питания	Значения взвешивающего коэффициента, отн. ед.				Продукт питания
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	
$\omega_{n,k}^m$ для мясомолочного компонента					
Молоко	1,0	1,0	20,0	2,0	Грибы свежие
Молочные продукты	0,6	0,3	186,0	15	Грибы сухие
Мясо	2,3	1,8			
$\omega_{n,k}^p$ для растительного компонента					
Картофель	1,00	1,0	1,0	1,3	Овощи
Хлеб	0,05	1,0	0,9	1,1	Фрукты, ягоды

Выражение (7) с учетом таблиц 2 и 3 может быть преобразовано к виду

$$AI_{k,i} = C_k^m \cdot M_{\text{взр}}^m \sum_n \omega_{k,n}^m \cdot \nu_{i,n} + C_k^p \cdot M_{\text{взр}}^p \sum_n \omega_{k,n}^p \cdot \nu_{i,n}, \quad (8)$$

где  $M_{\text{взр}}^m$  и  $C_k^m$  – годовое потребление молока взрослым и среднегодовая концентрация радионуклида  $k$  в молоке соответственно;

$M_{\text{взр}}^p$  и  $C_k^p$  – годовое потребление картофеля взрослым и среднегодовая концентрация радионуклида  $k$  в картофеле соответственно;

$\omega_{k,n}^m$  и  $\omega_{k,n}^p$  – взвешивающие коэффициенты (таблица 3);

$\nu_{i,n}$  – поправочный коэффициент (таблица 2).

Обозначим

$$V_{k,i}^m = M_{\text{взр}}^m \cdot \sum_n \omega_{k,n}^m \cdot v_{i,n} \quad \text{и} \quad V_{k,i}^p = M_{\text{взр}}^p \cdot \sum_n \omega_{k,n}^p \cdot v_{i,n}. \quad (9)$$

Очевидно, что  $V_{k,i}^m$  представляет собой «мясомолочную» составляющую эффективного рациона для нуклида  $k$  представителя возрастной группы  $i$ , а  $V_{k,i}^p$  – «растительную» составляющую.

Основное поступление трансурановых элементов происходило ингаляционным путем в период прохождения радиоактивного облака и за счет пылеобразования в первый год после аварии. Для оценки дозы внутреннего облучения приняты следующие допущения: радионуклиды  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  поступают в организм человека алиментарным путем с пищей; трансурановые элементы (изотопы  $^{238,239,240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$ ) поступают в организм ингаляционным путем; учитываются возрастные зависимости поступления нуклидов в организм человека и дозовых коэффициентов. Так как источником внутреннего облучения являются инкорпорированные в организме человека радионуклиды, то в общем случае для перорального и ингаляционного путей поступления нуклидов может быть использован один и тот же алгоритм расчета, то есть один и тот же математический аппарат, который рассмотрим на примере  $^{137}\text{Cs}$ .

Эффективная эквивалентная доза внутреннего облучения жителей НП от алиментарного поступления  $^{137}\text{Cs}$  в организм согласно с формулами (5), (7) выражается

$$E_{\text{Cs}} = \sum_i e_{\text{Cs},i} \cdot \eta_i \cdot AI_{\text{Cs},i}, \quad (10)$$

С учетом уравнения (8) формула (10) преобразуется к виду

$$E_{\text{Cs}} = M_{\text{взр}}^m \cdot C_{\text{Cs}}^m \cdot \sum_i e_{\text{Cs},i} \cdot \eta_i \cdot \sum_n \omega_{\text{Cs},n}^m \cdot v_{i,n} + M_{\text{взр}}^p \cdot C_{\text{Cs}}^p \cdot \sum_i e_{\text{Cs},i} \cdot \eta_i \cdot \sum_n \omega_{\text{Cs},n}^p \cdot v_{i,n} \quad (11)$$

В результате подстановки выражения (11) в уравнение (10) получим

$$E_{\text{Cs}} = K_{\text{Cs,мол}} \cdot C_{\text{Cs,мол}} + K_{\text{Cs,карт}} \cdot C_{\text{Cs,карт}}, \quad (12)$$

где  $C_{\text{Cs,мол}}$  и  $C_{\text{Cs,карт}}$  – концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в молоке и картофеле соответственно т.е. в «мясомолочной» и «растительной» компонентах;

$K_{\text{Cs,мол}}$  и  $K_{\text{Cs,карт}}$  – коэффициенты пересчета от величины концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в молоке («мясомолочный» компонент) и картофеле («растительный» компонент) к годовой эффективной дозе внутреннего облучения.

Коэффициенты  $K_{\text{Cs,мол}}$  и  $K_{\text{Cs,карт}}$  определяются из выражений:

$$K_{\text{Cs,мол}} = \sum_i e_{\text{Cs},i} \cdot \eta_i \cdot V_{\text{Cs},i}^m, \quad (13)$$

$$K_{\text{Cs,карт}} = \sum_i e_{\text{Cs},i} \cdot \eta_i \cdot V_{\text{Cs},i}^p. \quad (14)$$

В таблице 4 значения параметров, входящих в выражения (10) и (12) вместе со значениями  $K_{\text{Cs,мол}}$  и  $K_{\text{Cs,карт}}$ , рассчитаны для радиационных условий Беларуси.

Таблица 4 – Табличные значения некоторых параметров

Параметры	Возраст, лет					
	< 1	1–2	2–7	7–12	12–17	> 17
$\eta_i$	0,012	0,011	0,07	0,08	0,077	0,75
$E_{137,и}, \text{мЗв Бк}^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
$K_{\text{Cs,мол}}, \text{мЗв год}^{-1} \text{Бк}^{-1} \text{кг}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$					
$K_{\text{Cs,карт}}, \text{мЗв год}^{-1} \text{Бк}^{-1} \text{кг}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$					

В соответствии с формулами (10) и (12), средняя годовая эффективная доза внутреннего облучения жителей НП, обусловленная поступлением  $^{90}\text{Sr}$  в организм,  $E_{\text{Sr}}$ , выражается

$$E_{\text{Sr}} = C_{\text{сут}} \cdot \sum_i e_{\text{Sr},i} \cdot \eta_i \cdot 365, \quad (15)$$

где  $e_{\text{Sr},i}$  – эффективная доза, создаваемая в организме представителя возрастной группы  $i$ , при поступлении в организм единичной активности  $^{90}\text{Sr}$ ;

$C_{\text{сут}}$  – суточное поступление  $^{90}\text{Sr}$  в организм человека (расчетные данные);

$\eta_i$  – доля представителей возрастной группы  $i$  в возрастной структуре НП;

365 – количество дней в году.

Детальный расчет доз внутреннего облучения, получаемых сельским населением при проживании на загрязненной территории Могилевской области и потреблении местных продуктов питания, приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Средние значения индивидуальных доз, получаемых населением при потреблении местных продуктов питания (Могилевская область)

Вид продукта	Индивидуальные дозы (мкЗв)				Вид продукта
	$^{137}\text{Cs}$ за 1 год	$^{90}\text{Sr}$ за 70 лет	$^{137}\text{Cs}$ за 1 год	$^{90}\text{Sr}$ за 70 лет	
Хлеб	7,2	88,2	7,9	0,3	Грибы
Картофель	7,9	16,4	4,4	0,2	Ягоды
Молоко	75,8	59,7	0,6	0,01	Дичь
Говядина	4,4	0,4	0,045	0,005	Рыба
Свинина	11,3	2,1	119,6	167,1	Всего

Исходя из анализа полученных результатов, можно утверждать, что продуктами питания, формирующими основную долю внутренней дозовой нагрузки сельского жителя Могилевской области из-за поступления  $^{137}\text{Cs}$ , является животноводческая продукция (молоко, свинина, говядина), а основную долю внутренней дозовой нагрузки из-за поступления  $^{90}\text{Sr}$  – хлебобулочные изделия и молоко.

### Заключение

Проведенные расчеты индивидуальных доз внутреннего облучения жителей сельской местности подтверждают актуальность проблемы возможного переоблучения отдельных групп населения, что требует производства продуктов питания, содержащих минимальное количество РВ (особенно для основных дозообразующих продуктов). В питании детей, когда в рационе необходимо присутствие значительного количества цельного молока, решение проблемы производства «чистого» молока для отдельных регионов республики нуждается в его технологической переработке, позволяющей снизить дозу внутреннего облучения [4]. Результаты дозиметрического контроля сельских жителей показал, что в семьях учителей, медработников уровень внутреннего накопления нуклидов в 10–20 раз ниже, чем у остальных жителей [5, 10, 11]. Поэтому все жители Чернобыльской зоны должны не только получить четкие рекомендации по ведению личного подсобного хозяйства, методам снижения концентрации радионуклидов в производимой продукции при ее технологической переработке, возможности очистки организма от накопившихся радионуклидов, но и выполнять их.

### Литература

- 1 Последствия Чернобыльской катастрофы в Республике Беларусь. Национальный доклад. – Минск : МЧС, НАН РБ, 1996. – С. 37.
- 2 Богдевич, И.М. Проблемы получения качественной продукции на загрязненных радионуклидами землях / И.М. Богдевич / Фундаментальные и прикладные аспекты радиобиологии: биологические эффекты малых доз и радиоактивное загрязнение среды : Тез. докл. междунар. научн. конф. – Минск: МЧС РБ, ИРБ НАН Беларуси, 1998. – С. 21.



- 3 Проблемы ликвидации в Республике Беларусь последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС : Доклады на парламентских слушаниях Палаты представителей и Совета Республиканского Национального собрания Республики Беларусь 21 апреля 1999 года / Под ред. И.В. Ролевича / МЧС РБ, Комитет по пробл. последств. катастроф. на ЧАЭС. – Барановичи: Укрупн. тип., 1999. – С. 18, 83.
- 4 Мирончик, А.Ф. Снижение дозы внутреннего облучения населения посредством использования разработанных технологий переработки мясного и молочного сырья, содержащего радиоактивные вещества : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 29.01.01 / Ин-т радиационной безопасности. – Минск : БелРАД, 2000. – 20 с.
- 5 Совместный научный проект JSP-5 : Анализ путей переноса и дозовое распределение / Под ред. П. Якоба и И. Лихтарева. – Брюссель. – 1995. – 129 с.
- 6 Мирончик, А.Ф. Влияние технологической переработки мясного и молочного сырья на снижение дозы внутреннего облучения населения / А.Ф. Мирончик / Европа – наш общий дом : Экологические аспекты : тезисы междунар. конф. – Минск : Научный совет при Исполнительном Комитете Союза Беларуси и России, НАН Беларуси, РАН, 1999. – С. 268.
- 7 Научное решение проблем чернобыльской катастрофы (итоги 1997 года) / Под ред. И.В. Ролевича, Е.Ф. Конопли. – Минск : БГУ, 1998. – С.37, 88.
- 8 Сборник информационных материалов для специалистов по социальной защите населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС / МЧС РБ; Сост. В.В. Кудин, Н.Н. Тушин. – Минск, 1997. – 92 с.
- 9 Пятнов, Ю.Н. Поведение  $Sr^{90}$  в трофических цепочках южных районов Гомельской области / Ю.Н. Пятнов, Э.Н. Цуранков, В.С. Аверин / Итоги научных исследований в области радиозоологии окружающей среды / Под ред. С.К. Фирсаковой. – Гомель, 1996. – С. 99–103.
- 10 Нестеренко, В.Б. Радиологическая защита населения / В.Б. Нестеренко. – Минск : Право и экономика, 1997. – 172 с.
- 11 Нестеренко, В.Б. Радиационный мониторинг жителей и их продуктов питания в Чернобыльской зоне Беларуси : Информ. бюл. № 19 / В.Б. Нестеренко. – Минск: Право и экономика, 2000. – 82 с.

*Поступила в редакцию 22.03.2010*