

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ОТ $^{90}\text{Sr}$ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель, Беларусь

Разработана модель оценки эффективной дозы облучения населения Гомельской области от  $^{90}\text{Sr}$  на основе экспериментальных данных по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  в костной и зубной тканях, полученных в результате проведения систематических и динамических исследований, а также на основе установленных закономерностей поступления радионуклида в организм взрослого человека.

**Ключевые слова:**  $^{90}\text{Sr}$ , радиохимический анализ, авария на ЧАЭС, доза внутреннего облучения от  $^{90}\text{Sr}$

### Введение

Из находящегося к моменту аварии на ЧАЭС в реакторе  $^{90}\text{Sr}$  активностью  $1,7\text{--}2,3 \cdot 10^{18}$  Бк в атмосферу было выброшено 3,5–4% ( $8 \cdot 10^{15}$  Бк).  $^{90}\text{Sr}$  находился преимущественно в труднорастворимой крупнодисперсной фракции топливной матрицы. Уровень загрязнения почвенного покрова убывал с расстоянием от ЧАЭС.

Ближняя зона аварии (30–100 км) была загрязнена в основном топливным компонентом радиоактивных выпадений. Более 90% утечки  $^{89,90}\text{Sr}$  приходилось на топливный компонент выпадений [1, 2].

Уровни загрязнения почвы  $^{90}\text{Sr}$ , превышающие 5,5 кБк/м<sup>2</sup>, отмечены на территориях Гомельской и Могилевской областей площадью 21,1 тыс. км<sup>2</sup> (10% от общей территории республики). Максимальный уровень загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  отмечен в пределах 30-км зоны ЧАЭС и составил 1800 кБк/м<sup>2</sup> (Хойникский район Гомельской области). В дальней зоне выпадений наблюдались значения 137 кБк/м<sup>2</sup> (Ветковский район Гомельской области) и 29 кБк/м<sup>2</sup> на расстоянии 250 км от реактора (Чериковский район Могилевской области) [3, 4].

$^{90}\text{Sr}$  является остеотропным радионуклидом и аккумулируется, главным образом, в костной ткани, равномерно распределяясь по всему объему минеральной кости.  $^{90}\text{Sr}$  становится основным источником облучения клеток канцерогенного риска – красного костного мозга и эндостальных поверхностей кости.

В условиях аварии на Чернобыльской АЭС основным путём поступления  $^{90}\text{Sr}$  в организм людей, длительно проживавших на загрязненных территориях, являлось поступление с пищевыми продуктами местного производства. Вклад ингаляционного поступления  $^{90}\text{Sr}$  во время прохождения радиоактивного облака не учитывался, так как он составил менее 1 % от алиментарного поступления.

Существует несколько методов прижизненного определения содержания  $^{90}\text{Sr}$  в организме человека: по результатам измерения поверхностной бета-активности зубов, а также измерение содержания радионуклида в физиологических выделениях людей. С 1974 года на уникальном счетчике излучения человека СИЧ-9.1 начаты измерения лиц, подвергшихся облучению вследствие сброса радиоактивных сточных вод в бассейн рек Исеть–Теча–Тобол ПО «Маяк» [5]. Однако в условиях Чернобыльской аварии уровни содержания  $^{90}\text{Sr}$  в организме людей, оцененные посмертно, был несоизмеримо ниже.

Отправной точкой в таких задачах радиационной защиты населения, как планирование вмешательства при радиационных авариях, нормирование и контроль содержания радионуклидов в объектах окружающей среды и продуктах питания, является оценка распределения поглощенных доз по органам и тканям у облучаемого контингента. Любая оценка дозы основана на метаболических и дозиметрических моде-

лях, от реалистичности которых зависит, в конечном счете, успех планируемых мероприятий.

### **Цель работы**

С учетом вновь полученных экспериментальных данных разработать модель оценки эффективной дозы внутреннего облучения населения Гомельской области от  $^{90}\text{Sr}$  чернобыльского происхождения.

### **Материал и методы исследования**

Материалами для проведения исследований служили сегменты 5-6-ой пар ребер, отобранных при вскрытии умерших от различных причин (суицид, несчастный случай, заболевания сердечно-сосудистой системы) жителей загрязненных территорий Гомельской области, 348 проб зубов, экстрагированных более чем у 6 000 человек.

Отбор проб реберных костей был организован на базе судебно-медицинской экспертизы г. Гомеля и г. Речица, а также на базе моргов Гомельской области, и проводился в течение периода 1991-1997 гг. Каждая проба отбиралась с указанием паспортных данных умершего, даты смерти и патологоанатомического диагноза. Масса образцов реберных костей составляла 150-250 г.

Пробы зубов отбирались в стоматологических поликлиниках г. Гомеля и области. Особое внимание уделялось сбору зубов, экстрагированных у детей 1984 и последующих годов рождения. Каждая проба формировалась не менее чем из 25 зубов людей одного возраста. Сбор и радиохимический анализ проб аутопсийного материала и зубов проводился на базу ГУ "ГФ НИКИ РМиЭ".

Радиохимический метод определения  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани и зубах основан на преимущественной экстракции дочернего радионуклида  $^{90}\text{Y}$  моноизооктилметилфосфоновой кислотой (МИОМФ) из азотнокислого раствора золы костной ткани.

Методика определения  $^{90}\text{Sr}$  включает в себя несколько этапов: озоление в муфельной печи при температуре 600-800 °С до получения золы светло-серого цвета, рас-

творение золы костной ткани в азотнокислом растворе, радиохимическое выделение  $^{90}\text{Y}$ , измерение  $\beta$ -активности полученного препарата на метрологически аттестованной и предварительно градуированной по источнику  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  2-го разряда установке с малым фоном УМФ-1500М с торцовым счетчиком СБТ-13, (класс точности  $\pm 20\%$ ;  $\delta=6\%$ ).

Статистическая обработка результатов определения удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани и зубах проводилась с учетом периода полураспада радионуклида.

При статистической обработке эмпирических данных использовались методы прикладной статистики: однофакторный дисперсионный анализ (U-критерий Уилкоксона (Манна-Уитни), T-критерий Уилкоксона, ранговый критерий Краскела-Уоллиса). Различия считались статистически значимыми при уровне  $p < 0,05$ . Также применялся корреляционный и регрессионный анализ. В качестве тестовой статистики использовался непараметрический коэффициент корреляции рангов Спирмена.

### **Результаты исследования**

#### Содержание $^{90}\text{Sr}$ в костной ткани жителей Гомельской области

Интенсивное накопление  $^{90}\text{Sr}$  происходит в молодом организме (особенно при недостатке в диете кальция) и обусловлено, главным образом, ростом скелета. В организме взрослого человека накопление радионуклида происходит в результате обменного процесса в костной ткани. При хроническом поступлении  $^{90}\text{Sr}$  в организм взрослого человека обмен  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани не превышает в среднем 2-3 % в год и с возрастом практически не меняется [6]. Поэтому статистический анализ эмпирических данных был проведен для взрослых и детей отдельно.

Анализ результатов показал, что для жителей Гомельской области, как детей так и взрослых, удельное содержание  $^{90}\text{Sr}$  в организме превышает глобальный уровень в

**Таблица 1** – Распределение образцов по интервалам удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани

Интервал удельного содержания $^{90}\text{Sr}$ , Бк/г золы	Доля образцов, %			
	Дети (<20 лет)		Взрослые (≥20 лет)	
	Районы	г. Гомель	Районы	г. Гомель
< 0,012	4,6	6,1	7,2	7,4
0,012-0,023	7,0	28,6	21,9	23,1
0,024-0,047	32,6	32,7	46,4	50,7
0,048-0,071	25,6	26,5	16,7	13,0
0,072-0,095	11,6	6,1	4,3	3,4
0,096-0,119	9,3	0,0	1,6	1,2
≥0,120	9,3	0,0	1,9	1,2

2 и более раз в среднем более чем в 70% случаев (таблица 1). Глобальный уровень содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани жителей Северного полушария составляет  $0,012 \pm 0,20$  Бк/г золы [7].

В таблице 2 представлены статистические параметры распределения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани детского и взрослого населения Гомельской области.

**Таблица 2** – Параметры распределения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани детей и взрослых населения Гомельской области

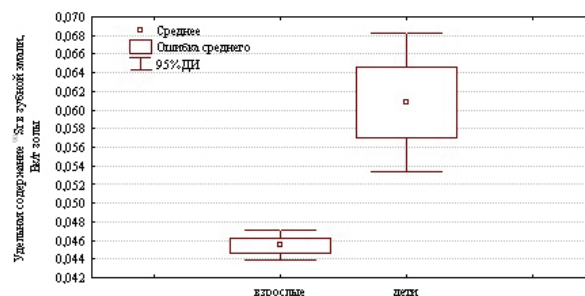
Параметры	Дети (<20 лет)	Взрослые (≥20 лет)
Объем выборки	92	2875
Среднее, Бк/г золы	0,061	0,045
Медиана, Бк/г золы	0,054	0,038
25%-й квартиль, мБк/г золы	0,030	0,026
75%-%-й квартиль, мБк/г золы	0,075	0,054
СГО*	1,94	1,99

\* – стандартное геометрическое отклонение распределения удельной активности

Как видно из данных таблицы 2, интерквартильный размах выборки детей шире, чем выборки взрослого населения. Это объясняется тем, что формирование скелета у детей разного возраста происходит с различной скоростью и в условиях потребления различных рационов питания.

С помощью непараметрического U критерия Уилкоксона (Мани-Уитни) вы-

явлено статистически значимое различие в уровнях удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани детского и взрослого населения ( $z = -4,861$ ,  $p = 0,000001$ ), что графически представлено на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Удельное содержание  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани детей и взрослых

В дальнейшем все расчеты проводились для взрослого населения (≥ 20 лет).

Показано, что среднее значение удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в организме взрослых жителей одного района на протяжении ряда лет практически не меняется (критерий Краскела-Уоллиса для множества независимых выборок).

В таблице 3 представлены значения тестовой статистики для некоторых районов Гомельской области.

**Таблица 3** – Значения тестовой статистики

Район	$\chi^2$	p-уровень
Брагинский	9,323	0,097
Буда-Кошелевский	10,546	0,104
Ветковский	10,272	0,174
Гомельский	4,263	0,641
Добрушский	15,285	0,033
Кормянский	8,286	0,141
Лоевский	11,315	0,126
Речицкий	12,045	0,099
Хойникский	6,095	0,413
Чечерский	7,092	0,419

Результаты сравнительного анализа позволили объединить в одну выборку данные, полученные на протяжении всех лет наблюдений.

Параметры распределения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани взрослого населения представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Параметры распределения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани взрослого населения по районам

Район	Количество	Среднее, Бк/г зола	Медиана, Бк/г зола	Квартили, Бк/г зола		СГО
				25%-й	75%-й	
г. Гомель	1560	0,044	0,037	0,026	0,053	2,0
Брагинский	39	0,047	0,048	0,021	0,069	2,1
Б.-Кошелевский	109	0,047	0,035	0,026	0,055	2,0
Ветковский	89	<b>0,060</b>	0,048	0,030	0,070	2,1
Гомельский	329	0,040	0,036	0,024	0,048	2,0
Добрушский	140	0,048	0,035	0,023	0,054	2,3
Житковичский	13	0,043	0,038	0,024	0,050	2,5
Жлобинский	15	0,042	0,036	0,020	0,046	2,9
Калинковичский	12	0,040	0,033	0,017	0,065	2,0
Кормянский	32	0,041	0,038	0,028	0,048	1,5
Лоевский	41	0,055	0,040	0,027	0,070	2,0
Петриковский	10	0,036	0,033	0,025	0,037	1,5
Речицкий	360	0,051	0,044	0,032	0,065	1,9
Рогачевский	13	0,045	0,032	0,023	0,046	2,0
Светлогорский	11	0,048	0,027	0,014	0,081	2,4
Хойникский	36	<b>0,058</b>	0,053	0,033	0,071	2,3
Чечерский	45	0,038	0,029	0,021	0,051	2,3
Районы в целом	1314	0,047	0,039	0,026	0,056	2,0

Отмечены статистически значимые отклонения в уровнях содержания  $^{90}\text{Sr}$  в выборках Гомельского и Добрушского районов от Ветковского района ( $p = 0,0112$  и  $p = 0,0357$ , соответственно), а также от Речицкого района ( $p = 0,0000$  и  $p = 0,0090$ , соответственно). Существенных региональных различий не выявлено, что объясняется закономерностями метаболизма стронция в организме взрослых людей.

Следует отметить более широкий интерквартильный размах данных Брагинского, Ветковского, Лоевского, Светлогорского, Калинковичского и Хойникского районов. Это объясняется, с одной стороны, распределением аварийных выпадений  $^{90}\text{Sr}$  по территории Гомельской области (Брагинский, Ветковский, Лоевский районы), с другой стороны, – малочисленностью выборок (Светлогорский и Калинковичский районы).

Наибольшее удельное содержание  $^{90}\text{Sr}$  отмечено в костной ткани умерших жителей Ветковского и Хойникского районов: 0,060 Бк/г зола и 0,058 Бк/г зола, соответ-

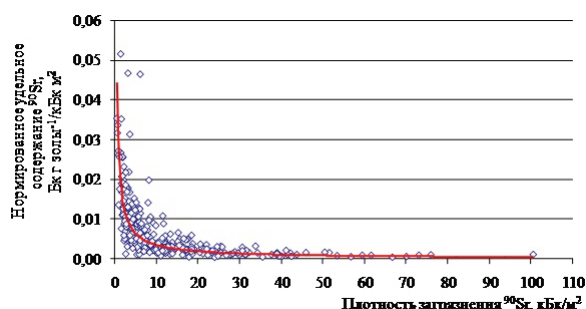
ственно. Интерквартильный размах выборки Ветковского района – 0,030 – 0,070 Бк/г зола; Хойникского района – 0,033 – 0,071 Бк/г зола.

Этот факт не противоречит общей картине загрязнения территории Гомельской области аварийными выпадениями  $^{90}\text{Sr}$ . Средние уровни удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани жителей Гомельской области превышают доаварийный уровень в 3-5 раз.

Следует отметить, что средние значения удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани жителей Гомельской области включают и  $^{90}\text{Sr}$  глобального происхождения.

Была получена высокозначимая ( $p = 0,000$ ;  $t(N-2) = -27,303$ ) регрессионная экспоненциальная зависимость нормированного на плотность загрязнения территории населенного пункта удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани от плотности загрязнения территории  $^{90}\text{Sr}$ , графически представленная на рисунке 2. Коэффициент корреляции рангов  $r_s = -0,83$ .

Нормированное на плотность загрязнения удельное содержание  $^{90}\text{Sr}$  в костной



**Рисунок 2** – Зависимость нормированного на плотность загрязнения удельного содержания <sup>90</sup>Sr в костной ткани от плотности загрязнения территории <sup>90</sup>Sr

ткани взрослого человека определяется из уравнения регрессии:

$$C_{Sr} = 0,0098 \cdot e^{-0,052 \cdot \sigma_{Sr}} \quad (1)$$

где  $C_{Sr}$  – нормированное удельное содержание <sup>90</sup>Sr в костной ткани взрослого человека, Бк·г·зола<sup>-1</sup>/кБк·м<sup>2</sup>;

$\sigma_{Sr}$  – плотность загрязнения <sup>90</sup>Sr территории населенного пункта, кБк/м<sup>2</sup>.

Из рисунка видно, что с увеличением плотности загрязнения нормированное удельное содержание <sup>90</sup>Sr в костной ткани уменьшается. Это объясняется тем, что <sup>90</sup>Sr в ближней зоне находился в крупнодисперсной трудно растворимой топливной фракции; в дальней зоне выпадений – в составе мелкодисперсной аэрозольной фракции, что обусловило его повышенную растворимость и биологическую доступность [1,2].

Сравнительный анализ средних значений удельного содержания <sup>90</sup>Sr в костной ткани, полученных эмпирическим и расчетным путем, с использованием непараметрического рангового Т-критерия Уилкоксона показал, что нулевая гипотеза о принадлежности эмпирического и расчетного рядов данных к одной генеральной совокупности принимается

с вероятностью 0,96 ( $z=0,0548$ ;  $p=0,956$ ).

В таблице 5 представлены параметры распределения эм-

пирического и расчетного удельного содержания <sup>90</sup>Sr в костной ткани взрослых жителей Гомельской области.

Как видно из данных, представленных в таблице 5, полученное уравнение регрессии удовлетворительно описывает зависимость удельного содержания <sup>90</sup>Sr в организме жителей Гомельской области от плотности загрязнения радионуклидом территории населенного пункта.

Динамика содержания <sup>90</sup>Sr в зубной ткани жителей Гомельской области

Процесс формирования зубов происходит в пределах короткого возрастного интервала и заканчивается в возрасте 20–30 месяцев. Затем в возрасте 5–13 лет происходит замена молочных зубов на постоянные. Обменные процессы заканчиваются в сравнительно небольшой период времени формирования зуба (1 год) [8, 9]. Содержание <sup>90</sup>Sr в зубной эмали точно отражает динамику поступления радионуклида с рационом лицам, формирование зубов у которых происходило в течение периода высокого загрязнения [6].

Для оценки ритма поступления <sup>90</sup>Sr в организм жителей Гомельской области были использованы результаты радиохимического анализа проб зубов, экстрагированных у детей разных лет рождения, а также у взрослого населения.

Анализ полученных результатов показал, что содержание <sup>90</sup>Sr в зубах взрослых людей в возрасте старше 15 лет на момент аварии отличается от содержания в зубах детей в среднем в 2,4 раза. По собственным экспериментальным данным, накопление <sup>90</sup>Sr в зубной ткани людей до 1960 года рождения было незначительным и со-

**Таблица 5** – Статистические параметры распределения эмпирических и расчетных значений удельного содержания <sup>90</sup>Sr костной ткани

Данные	Параметры распределения					
	Среднее, Бк/г золы	Медиана, Бк/г золы	Квантили, Бк/г золы		СГО	Коэффициент вариации, %
			25%	75%		
Эмпирические	0,048	0,043	0,029	0,058	1,80	66
Расчетные	0,045	0,048	0,030	0,062	1,69	40
Эмпирич./расчет.	1,07	0,90	0,97	0,94		

ставило ~12 мБк/г золы. В зубах, экстрагированных у людей 1961-1971 годов рождения, содержание  $^{90}\text{Sr}$  несколько увеличилось и достигло 26 мБк/г золы, что объясняется увеличением глобальных выпадений радионуклида, вызванных проведением испытаний ядерного оружия в 1956-1962 гг.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в окружающую среду было выброшено значительное количество радиоактивного стронция. В связи с этим содержание  $^{90}\text{Sr}$  в зубной ткани детей 1985 года рождения возросло до 57 мБк/г золы. На рисунке 3 представлена возрастная динамика, а в таблице 6 представлены статистические параметры распределения содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей разных лет рождения.

Средние уровни содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей 1985 года рождения превышают доаварийные значения в 3-5 раз. В таблице 7 представлены параметры распределения значения удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в эмали зубов детей по районам.

Различия в содержании  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей младше 1984 года рождения по районам Гомельской области признаются статистически значимыми. В таблице 8 приведены результаты сравнительного анализа удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей, проживающих в различных районах области, с помощью теста Краскела-Уоллиса.

Различия в удельном содержании  $^{90}\text{Sr}$

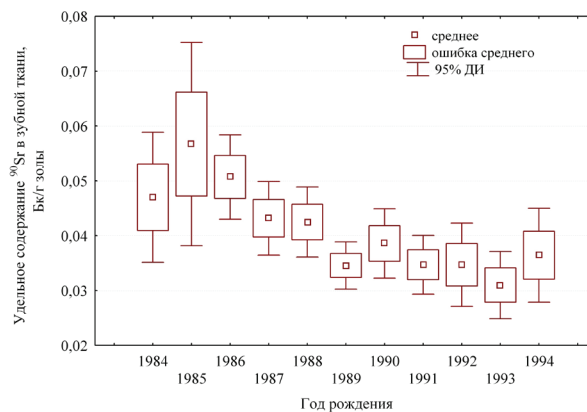


Рисунок 3 – Динамика содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей разных лет рождения

в зубах детей младше 1984 года рождения, по-видимому, обусловлены дисперсностью и характером распределения аварийного  $^{90}\text{Sr}$  по территории Гомельской области.

Анализ динамики удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$ , пронормированного на удельное содержание  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей 1986 года рождения, показал, что период полуочищения рациона питания у населения Гомельской области составляет  $0,046 \text{ год}^{-1}$  (рисунок 4).

Модель оценки эффективной дозы облучения от  $^{90}\text{Sr}$

Основой эмпирической модели являлись:

- средние по населенному пункту плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$ ;
- результаты исследования содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани человека;
- результаты исследования содержания  $^{90}\text{Sr}$  в эмали зубов детей;

Таблица 6 – Статистические параметры распределения удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей

Год рождения	Количество	Среднее, Бк/г золы	Медиана, Бк/г золы	Квартили, Бк/г золы		СГО
				25%-й	75%-й	
1984	37	0,047	0,039	0,021	0,063	2,1
1985	47	0,057	0,041	0,025	0,066	2,1
1986	44	0,051	0,045	0,031	0,073	1,7
1987	47	0,043	0,040	0,023	0,056	1,8
1988	43	0,042	0,035	0,028	0,061	1,7
1989	31	0,035	0,032	0,024	0,043	1,5
1990	27	0,039	0,035	0,027	0,045	1,6
1991	20	0,035	0,032	0,027	0,041	1,4
1992	14	0,035	0,036	0,023	0,038	1,60
1993	7	0,031	0,035			
1994	7	0,036	0,036			

**Таблица 7** – Статистические параметры распределения удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в эмали зубов детей по районам

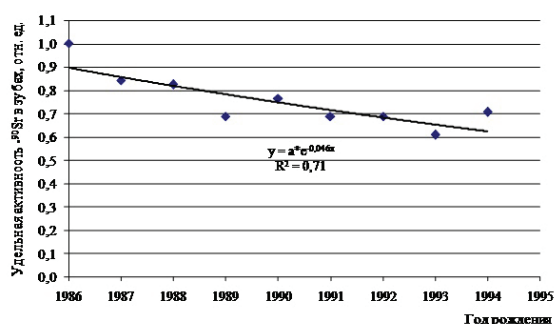
Год рождения	Количество проб	Среднее, Бк/г золы	Медиана, Бк/г золы	Квантили, Бк/г золы		СГО
				25%-й	75%-й	
Буда-Кошелевский	5	0,071	0,068	0,057	0,084	
Гомельский	38	0,051	0,050	0,040	0,062	1,55
Жлобинский	5	0,032	0,033	0,025	0,039	
Лельчицкий	5	0,076	0,081	0,056	0,093	
Мозырский	5	0,032	0,038	0,019	0,042	
Наровлянский	6	0,053	0,039	0,021	0,079	
Октябрьский	20	0,021	0,020	0,017	0,025	1,34
Речицкий	35	0,075	0,074	0,053	0,084	1,42
Рогачевский	50	0,041	0,029	0,018	0,036	1,99
Светлогорский	140	0,039	0,035	0,029	0,043	1,55

**Таблица 8** – Результаты сравнения удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей, проживающих в различных районах Гомельской области (р-уровень)

Район	Светлогорский	Рогачевский	Речицкий	Октябрьский	Мозырский	Лельчицкий	Жлобинский	Гомельский	Б.-Кошелевский	Наровлянский
Светлогорский		0,851	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	1,000	0,111	1,000	0,034	0,379	1,000
Рогачевский	0,851		<b>0,000</b>	0,632	1,000	<b>0,008</b>	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,033</b>	1,000
Речицкий	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>		<b>0,000</b>	0,081	1,000	0,051	0,285	1,000	0,827
Октябрьский	<b>0,001</b>	0,632	0,000		1,000	<b>0,000</b>	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,325
Мозырский	1,000	1,000	0,081	1,000		0,480	1,000	1,000	1,000	1,000
Лельчицкий	0,111	<b>0,008</b>	1,000	<b>0,000</b>	0,480		0,357	1,000	1,000	1,000
Жлобинский	1,000	1,000	0,051	1,000	1,000	0,357		1,000	0,797	1,000
Гомельский	<b>0,034</b>	<b>0,000</b>	0,285	<b>0,000</b>	1,000	1,000	1,000		1,000	1,000
Б.-Кошелевский	0,379	<b>0,033</b>	1,000	<b>0,000</b>	1,000	1,000	0,797	1,000		1,000
Наровлянский	1,000	1,000	0,827	0,325	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	

выявленный ритм поступления  $^{90}\text{Sr}$  в организм человека;

установленная зависимость удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани человека



**Рисунок 4** – Относительная динамика удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах детей

от плотности загрязнения территории населенного пункта.

Учитывая экспериментальные данные по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  костной и зубной тканях, полученные в результате проведения систематических и динамических исследований, и установленные закономерности поступления радионуклида в организм, величина годового поступления радионуклида с рационом питания в организм взрослого человека определяется по выражению:

$$Q_{Sr}(t) = 4,6 \cdot 10^4 \cdot \sigma_{Sr} \cdot 0,0098 \cdot e^{-0,052 \cdot \sigma_{Sr}} \cdot e^{-0,046t} \quad (2)$$

где  $\sigma_{Sr}$  – плотность загрязнения населенного пункта  $^{90}\text{Sr}$ , кБк/м<sup>2</sup>;

$t$  – время, прошедшее с момента аварии, год.

Эффективная доза внутреннего облучения от поступления с рационом  $^{90}\text{Sr}$  в организм взрослого человека за  $t_n$  лет после аварии определяется:

$$E_{Sr}^{\text{int}}(t_n) = DF_{Sr} \sum_{t=1}^{t_n} Q_{Sr}(t) \quad (3)$$

где  $DF_{Sr}$  – эффективная доза в организме представителя взрослого человека, создаваемая при поступлении единичной активности  $^{90}\text{Sr}$  с рационом, равная для взрослого человека  $2,8 \cdot 10^{-5}$  мЗв/Бк согласно [10].

### Заключение

Установлена регрессионная зависимость с высоким коэффициентом корреляции нормированного на плотность загрязнения территории населенного пункта  $^{90}\text{Sr}$  удельного содержания радионуклида в костной ткани взрослого человека от плотности загрязнения.

Представлена возрастная динамика удельного содержания  $^{90}\text{Sr}$  в эмали зубов детей. Наибольшее удельное содержание  $^{90}\text{Sr}$  отмечено у детей 1985 года рождения, что объясняется формированием молочных зубов в период начала поступления радионуклида с рационом питания.

Установлен период полуочищения рациона питания от  $^{90}\text{Sr}$ , составивший  $0,046 \cdot \text{год}^{-1}$ .

На основе экспериментальных данных разработана модель, позволяющая оценить эффективную дозу облучения от  $^{90}\text{Sr}$  за любой период времени, прошедший после аварии на Чернобыльской АЭС.

### Библиографический список

1. Кашпаров, В.А. Загрязнение территории радионуклидами топливной компоненты чернобыльских радиоактивных выпадений / В.А. Кашпаров // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий (Труды международ конф. Том 1. Пленарные

доклады (Москва 5-6 декабря 2005г.) / Санкт-Петербург, Гидрометеиздат. – С. 95-96.

2. Израэль, Ю.А. Антропогенное радиоактивное загрязнение планеты Земля / Ю.А. Израэль // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий (Труды международ конф. Том 1 Пленарные доклады (Москва 5-6 декабря 2005г.). / Санкт-Петербург, Гидрометеиздат. – С. 35-36.

3. 15 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление / Национальный доклад. Под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. – Минск: ПК ООО “ТРИОЛЕТА”, 2001. – 5-10 с.

4. Чернобыль 20 лет после Чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление / Национальный доклад. Под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. – Минск, 2006. – С. 9-12.

5. Kozheurov, V.P. SICH-9.1 – Unique whole-body counting system for measuring Sr-90 via bremsstrahlung. The main results from long-term investigation of the Techa river population / V.P. Kozheurov // Sci. Total Environ. P. 37-48.

6. Kozheurov, V.P. Dietary intake evaluation and dosimetric modeling for Techa river residents based on vivo measurements of strontium-90 in teeth and sceleton / V.P. Kozheurov, M. Degteva // The science of the Total Environment. – 1994. – № 142. – P. 63-72.

7. Dehos, R. Strontium-90 content in human bone of West German residents / R. Dehos, G. Kistner // Heath Physics. – 1980. – Vol. 39, № 4. – P. 682–683.

8. Карлсон, Б. Основы эмбриологии по Пэттену: В 2 т. / Б. Карлсон. – М.: Мир, 1983. – Т.2. – С.117-124.

9. Хэм, А. Гистология: В 5 т. / А. Хэм, Д. Кормак. – М.: Мир, 1983. – Т. 4. – С.100-115.

10. Age-dependent committed effective dose coefficients from intakes by ingestion and inhalation of radioisotopes / № 72. – Publication ICRP.



**S.V. Leshcheva, N.G. Vlasova**

**MODEL OF ESTIMATION OF DOSES AT INHABITANTS LIVING IN GOMEL  
REGION FROM  $^{90}\text{Sr}$  DUE TO CHERNOBYL ACCIDENT**

The model of an estimation of an effective dose of the inhabitants of Gomel region from  $^{90}\text{Sr}$  was developed on the basis of experimental data of  $^{90}\text{Sr}$  contents in bone and dental tissues that had been received as a result of regular and dynamic studies, and also on the basis of the stated laws of  $^{90}\text{Sr}$  intake into the organism of an adult person.

**Key words:**  $^{90}\text{Sr}$ , the radiochemical analysis, Chernobyl accident, internal doze from  $^{90}\text{Sr}$

*Поступила 12.09.10*