

УДК 546.42

© 1996 г.

УРОВНИ НАКОПЛЕНИЯ И ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ СТРОНЦИЕМ ЖИТЕЛЕЙ СЕЛА МЕТЛИНО

*В.Ф.Хохряков, К.Г.Суслова, С.А.Романов, Р.А.Ерохин,
Л.А.Плотникова*

Филиал №1 ГНЦ РФ "Институт биофизики", г. Озерск

В работе на основе восстановленных и верифицированных данных прижизненных и посмертных исследований, проведенных в 1951-1971 гг., сделана попытка оценить уровни поступления и дозы облучения от инкорпорированного стронция у людей, проживавших в период 1949-56 гг. в селе Метлино. Содержание ^{90}Sr в организме, оцененное по результатам радиохимического анализа образцов костей, взятых при вскрытии 45 умерших жителей, отличалось значительной вариабельностью и колебалось в 1954-1971 гг. от 26 до 7400 с.е. (стронциевых единиц). Прослеживается тенденция к снижению уровней накопления с начала 60-х годов. Эквивалентная доза облучения красного костного мозга и клеток костной поверхности у взрослых людей, накопленная к 70-летнему возрасту, составит в 2000-м году от $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ - 49.7 сЗв и соответственно 85.3 сЗв. Дополнительный вклад в дозу облучения вносит короткоживущий ^{89}Sr , но не более 6% к дозе облучения костной поверхности от $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$. Эффективная доза облучения изотопами стронция-89,90 и иттрия-90 взрослых людей, проживавших в 1949-56 гг. в селе Метлино к 2000 году достигнет 7.0 сЗв, что на два порядка превысит уровни облучения населения г.Озерска.

Программа реабилитации территорий Уральского региона, пострадавших от загрязнения радионуклидами, включает в себя в качестве неперемного компонента раздел, посвященный реконструкции доз облучения населения и оценку риска радиационного воздействия. Особый интерес в этом плане представляют оценки доз для групп населения, проживавших в первые, наиболее неблагоприятные годы работы радиохимического предприятия в зоне наблюдения. Текущие систематические наблюдения, а также ретроспективный анализ за содержанием радионуклидов в организме у населения города Озерска, близко расположенного к радиохимическому предприятию

ПО Маяк" свидетельствуют, что уровни накопления осколков деления - $^{90}\text{Sr} + ^{137}\text{Cs}$ - в организме у жителей Озерска во все годы наблюдений всего в 2-4 раза превышали фоновое содержание, обусловленное глобальными выпадениями [1,2,3,4]. Однако, в результате сбросов предприятием радиоактивных отходов в реку Теча имело место высокое поступление радионуклидов с пищевым рационом у населения береговой зоны этого водоема. Так, по результатам исследований радиационной обстановки, сложившейся на загрязненных территориях, в период с 1950 по 1956 гг. у жителей села Метлино поступление нуклидов с пищевым рационом и питьевой водой значительно превышало

ПГП [5,6]. Метлино до 1956 г располагалось в верхнем течении р.Теча (рис. 1), а затем в связи с радиоактивным загрязнением Метлинского пруда, входящего в систему водоемов, связанных с эксплуатацией ПО "Маяк", жители были переселены в г. Озерск и частично в район усадьбы бывшего совхоза им. Ворошилова. Указанное переселение резко снизило уровень поступления радионуклидов в последующие годы. Однако из-за относительно медленного обмена стронция в костной ткани содержание этого радионуклида, отложившегося ранее в значительных количествах в организме переселенцев, должно сильно отличаться от такового у других групп населения зоны наблюдения. Вопрос о реконструкции доз облучения для данной группы людей приобрел особую актуальность в связи с проведением в настоящее время клинических и эпидемиологических наблюдений за состоянием здоровья населения уральского региона, пострадавшего от воздействия радиации.

Это побудило нас обратиться к работам, выполненным в Филиале-1 в прежние годы с целью переосмысления ранее полученных результатов и получения более корректных дозиметрических оценок.

В данной статье предпринята попытка с позиций современных представлений о метаболизме радиостронция восстановить уровни облучения, обусловленные инкорпорацией этого наиболее экологически опасного радионуклида, для людей, проживавших в селе Метлино. Учитывая, что при подобного рода оценках обычно предпочтение отдается фактическим результатам, полученным в опыте, в основу расчета доз были положены собственные данные прижизненных и посмертных исследований содержания радионуклидов, проведенных в 1951-1971 годах.



Рис.1. Месторасположение села Метлино

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы результаты собственных исследований, проведенных ранее в 1951-1971 гг. [7,8]. Систематическое биофизическое обследование жителей села Метлино на содержание радионуклидов в организме в те годы не проводилось. В период 1951-1956 гг. амбулаторно было проанализировано на содержание бета-излучающих нуклидов 2470 проб мочи и кала. В период 1954-1971 гг. было исследовано 55 трупов (10 детей и 45 взрослых людей) жителей Метлино. Для радиохимического анализа при вскрытии отбирали образцы нескольких костей: затылочной кости черепа, ребра, грудного позвонка и бедренной кости, массой от 20 до 50 грамм. Вследствие низкой чувствительности радиометрической аппаратуры концентрацию стронция в костях у людей, умерших в 1954-1961 гг., определяли путем измерения проб, представляющих смесь зольных остатков костей, собранных у нескольких людей определенного возраста. Применение низкофонового бета-радиометра позволило в 1963 г перейти к измерению ^{90}Sr , выделенного радиохимическим методом из зольных образцов отдельных костей. ^{90}Sr

измеряли по ^{90}Y , извлеченному из золы костей экстракционным методом с помощью ТБФ [9]. В каждой кости перманганатометрическим методом определяли концентрацию кальция. Содержание стронция в исследованных костях и целом скелете выражали в стронциевых единицах (1 с.е. = 1 пКи ^{90}Sr на грамм Са). Погрешность измерения активности ^{90}Sr , соответствующей 1 с.е. в образце сырой кости, массой 20 грамм, составляла 30%. Содержание в скелете рассчитывали по концентрации Sr в исследованных костях, пересчитывая на целый орган с использованием коэффициентов нормализации (К.Н.), характеризующих отношение концентраций ^{90}Sr (в с.е.) кость/скелет. Значения К.Н. были установлены при изучении распределения радионуклида в скелете у жителей Озерска, умерших в 1963-1971 гг. [3,8]. При расчете этих показателей все кости скелета группировали в зависимости от функций и структуры анализируемых образцов [10] и определяли долю массы костей в каждой группе от массы всего скелета. При расчете содержания стронция в скелете принимали в соответствии с рекомендациями для "Условного человека" [11] массу скелета, равной 10 кг., содержание кальция в скелете - 1000 грамм.

Материалы этих исследований были использованы для восстановления ритма поступления ^{90}Sr с пищевым рационом и динамики уровней облучения жителей Метлино. Уровни поступления оценивали косвенным методом, используя комбинацию данных о скорости экскреции ^{90}Sr с мочой и калом у взрослых людей и о содержании радионуклида в скелете у детей. При этом был сделан ряд допущений о характере выведения, поступления и накопления в организме.

Для прогностических оценок динамики содержания и доз внутреннего облучения использовали дозиметрическую и биокинетическую модели, описанные в Публикациях 30 и 56 МКРЗ [12,13]. Эквивалентные дозы облучения от $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ и ^{89}Sr рассчитывали

согласно МКРЗ-30 [12] на две ткани-мишени: клетки костной поверхности $T_{\text{кп}}$, масса которых ($M_{\text{кп}}$) принимается равной 120 грамм и на красный костный мозг $T_{\text{км}}$, массой ($M_{\text{км}}$) 1500 грамм.

Эквивалентную дозу от радионуклида, отложившегося в ткани-источнике $T_{\text{и}}$, для клеток костной поверхности $H_{\text{кп}}$ (3в) рассчитывали по формуле:

$$H_{\text{кп}} = 1.6 \cdot 10^{-10} \cdot \sum_{T_{\text{и}}} N_{T_{\text{и}}} \cdot \frac{E \cdot F(T_{\text{кп}} - T_{\text{и}})}{M_{\text{кп}}} \quad (1)$$

для клеток красного костного мозга $H_{\text{км}}$ (3в):

$$H_{\text{км}} = 1.6 \cdot 10^{-10} \cdot \sum_{T_{\text{и}}} N_{T_{\text{и}}} \cdot \frac{E \cdot F(T_{\text{км}} - T_{\text{и}})}{M_{\text{км}}} \quad (2)$$

где $N_{T_{\text{и}}}$ - количество ядерных превращений в ткани источнике $T_{\text{и}}$, E - средняя энергия излучения, $F(T_{\text{кп}} - T_{\text{и}})$ и $F(T_{\text{км}} - T_{\text{и}})$ - фракции поглощенной энергии в органе-мишени от излучения, исходящего из органа-источника (таблица 1).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УРОВНЕЙ НАКОПЛЕНИЯ СТРОНЦИЯ-90 В ОРГАНИЗМЕ У ЖИТЕЛЕЙ СЕЛА МЕТЛИНО

В условиях отсутствия дозиметрического контроля задача восстановления дозовых нагрузок для населения связана с большими неопределенностями. Необходимыми для решения этой задачи сведениями являются данные о динамике уровней накопления в организме и ритме поступления с пищевыми продуктами. К сожалению, мы располагаем ограниченными сведениями о динамике уровней накопления ^{90}Sr в организме у жителей Метлино и отсутствуют вообще какие-либо данные относительно уровней поступления с пищевым рационом.

Результаты анализа 45 случаев посмертной радиометрии содержания ^{90}Sr в скелете у взрослых жителей села, умерших в период 1954-1971 гг., представлены на рис.2 в виде гистограммы распределения частоты уровней накопления. Индивидуальные значения в исследуемых случаях колебались от 26 с.е. до 7400 с.е.. Принимая во внимание, что согласно НРБ -76/87 допустимое содержание ДСб для ^{90}Sr в скелете у населения зоны наблюдения составляет $0.1\text{ДСб}=0.2 \text{ мкКи}$ [14] (или 200 с.е. в относительных единицах с учетом содержания 1000 грамм Са в скелете), можно заключить, что примерно в 70% случаев уровень накопления у взрослых жителей превышал 1 ДСб.

Таким образом, сбросы в реку Теча в начале 50-х годов привели к значительному загрязнению пищевой цепочки и к высоким уровням поступления ^{90}Sr в организм жителей Метлино.

Вероятно, большая вариабельность индивидуальных уровней накопления, в пределах нескольких порядков, скорее всего обусловлена разными количествами радионуклида, поступившими в первые четыре года, 1950-1953 гг., когда радиационная обстановка была особенно неблагоприятной. В этих условиях поступление ^{90}Sr в организм из-за нарушения ограничений санитарного надзора связано с большими колебаниями индивидуальных уровней накопления. В 1956 г., как уже говорилось выше, жители Метлино были расселены по близлежащим населенным пунктам и в проанализированных нами случаях бывшие жители Метлино стали жителями Озерка.

На рисунке 3, где приведены результаты посмертных исследований содержания ^{90}Sr в организме взрослых людей, умерших в разные годы в период 1954-1971 гг., видно, что этот показатель варьирует в широких пределах. При этом можно отметить тенденцию к росту

Таблица 1
Значения поглощенных фракций энергии от бета-излучения радионуклидов, равномерно распределенных в объеме трабекулярной и кортикальной кости

Поглощенная фракция	Нуклид/энергия		
	Sr-90 0.196	Sr-89 0.36	Y-90 0.93
F(KП) - трабекулярная кость	0.027	0.024	0.021
F(KП) - кортикальная кость	0.015	0.015	0.014
F(KП) - трабекулярная кость	0.35	0.42	0.43
F(KП) - кортикальная кость	0.007	0.014	0.021

уровня накопления в 50-х годах и затем к снижению - в 60-х годах. В конце наблюдаемого периода в 1966-1971 гг. среднегодовое содержание радионуклида в организме

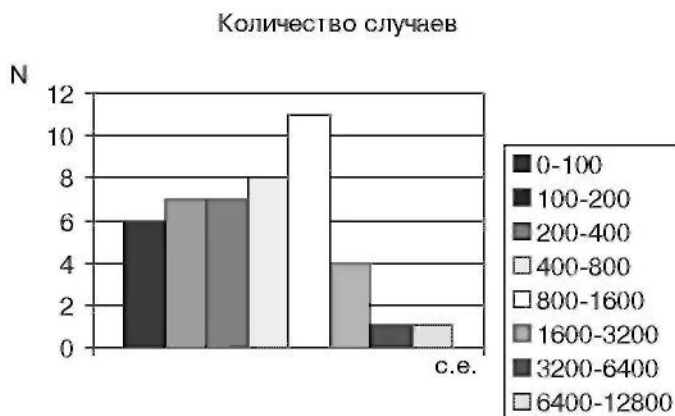


Рис.2. Гистограмма распределения содержания ^{90}Sr у взрослых жителей села Метлино. по оси абсцисс - содержание в с.е. по оси ординат - количество случаев.

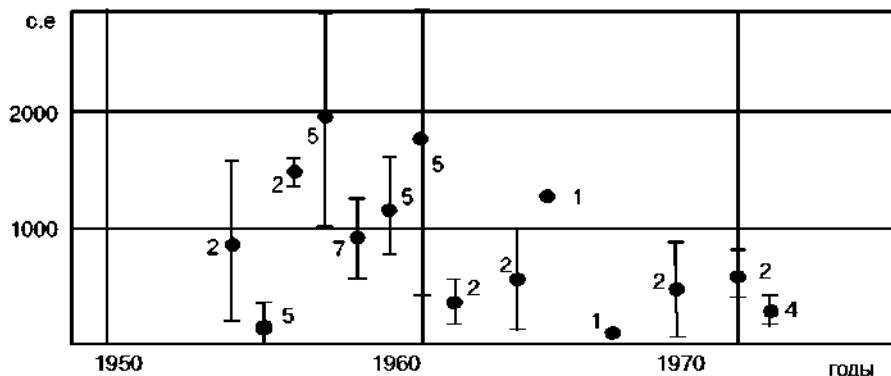


Рис.3. Динамика содержания ^{90}Sr в организме у взрослых людей, проживавших в 1949-56 гг. в Метлино. ($X \pm \sigma / \sqrt{n}$)
по оси ординат - содержание в с.е.
(на рисунке указано число исследованных случаев).

колебалось в пределах 300-500 с.е. Для сравнения: средние уровни накопления ^{90}Sr у жителей Озерска в 1966 - 1971 гг. составляли 3 - 4.5 с.е.[3], а у населения страны содержание радионуклида глобального происхождения колебалось в пределах 1.2-1.6 с.е. [15].

К сожалению, мы не располагаем сведениями об уровнях поступления радионуклида с рационом в исследованных случаях в ранний период, 1950-1961 гг. Имеются ограниченные косвенные данные, которые позволяют получить лишь общее

представление о динамике уровней поступления ^{90}Sr с рационом в организм жителей Метлино. Так, по результатам исследования радиационной обстановки, опубликованным в отчетах ИБФ МЗ РФ. [4,5], сброс высокоактивных продуктов деления в местный водоем производился в 1950-1951 гг. Следовательно в эти годы поступление в организм было наиболее высоким. В начале 1952 г. сброс был прекращен, однако потребление воды из водоема официально было запрещено только в августе 1953 г. Питьевая вода и местные

Таблица 2
Содержание бета-излучающих нуклидов в экскретах (суммарно в моче и кале)
у взрослых жителей села Метлино, нКи
($X \pm \sigma / \sqrt{n}$)

Годы исследований					
1951	1952	1953	1954	1955	1956
690±106 (29)	52±3.1 (203)	48±9.5 (23)	20±1.1 (279)	7.6±0.25 (692)	2.6±0.9 (8)

*) в скобках указано количество обследованных людей.

продукты питания были основными источниками поступления радионуклидов в организм жителей Метлино, поэтому в следующие 2-3 года уровень поступления продуктов деления с пищевыми продуктами оставался значительным. Среднесуточное поступление бета-активных радионуклидов в 1954 г достигало 1 кБк (несколько десятков тысяч с.е.). Радиоактивность была обусловлена изотопами ^{89}Sr и $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ (45-70%), ^{137}Cs (12-20%), редкоземельными элементами (около 20%) и некоторыми другими короткоживущими радионуклидами [5]. На основании этих данных можно считать, что основное количество ^{90}Sr , отложившееся в скелете, поступило в организм местных жителей в первые 4 года (1950-1953 гг.), а большая часть накопленной дозы формировалась в условиях постепенного снижения уровня накопления в организме, когда процессы выведения из организма превалировали над уровнями поступления с рационом. Это подтверждают данные таблицы 2, в которой приведены результаты измерения суммарной бета-активности в экскретах в 1951-1956 гг.

Из таблицы 2 следует, что в указанный период уровни бета-активности в выделениях снизились более, чем на 2 порядка. Ритм поступления ^{90}Sr пытались оценить приближенно косвенным методом по уровню выделений бета-излучающих нуклидов с экскретами, предполагая, что средняя скорость выведения радионуклидов с экскретами (моча + кал) за сутки равна среднему суточному поступлению их с рационом. При этом учитывали результаты радиохимического анализа проб питьевой воды, согласно которым на долю $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ в воде в этот период приходилось около 50% от общей бета-активности, т.е. 25% - на ^{90}Sr [5].

Поэтому считали, что в экскретах четвертая часть активности обусловлена присутствием ^{90}Sr . Полагая, что суточное потребление кальция с пищей составляет 1 грамм, содержание ^{90}Sr в рационе у взрослых

жителей Метлино (в с.е.) получали умножением значений, указанных в таблице 2, на коэффициент 0.25. Результаты расчета содержания радионуклида в рационе представлены в таблице 4.

В качестве подкрепления полученных оценок уровней поступления ^{90}Sr с рационом мы использовали данные радиохимического анализа образцов костей детей (таблица 3). При этом основывались на известных допущениях, описанных в собственных исследованиях [3,8] и в литературе [15,16].

Известно, что ^{90}Sr по звену биологической цепи рацион матери - скелет плода следует со своим аналогом кальцием. Основное допущение, лежащее в основе оценки ритма поступления, состоит в том, что величина, характеризующая соотношение ^{90}Sr и кальция в скелете плода (или мертворожденного ребенка) относительно соотношения этих элементов в рационе матери при переходе по биологической цепи колеблется в пределах 0.05-0.15, а накопление радионуклида в скелете в течение последующих двух лет

Таблица 3
Содержание ^{90}Sr в скелете у детей, пКи

№	Возраст	Год смерти	Содержание в скелете $\times 10^3$
1	Мертворожд.	1955	10.0
2	Мертворожд.	1956	18.0
3	Мертворожд.	1957	4.0
4	Мертворожд.	1961	0.6
5	1 месяц	1957	25.0
6	1 месяц	1957	17.0
7	4 месяца	1954	4.3
8	1 год	1956	46.0
9	1 год	1957	16.0
10	1 год 4 мес.	1956	31.0

Таблица 4

Поступление ^{90}Sr с рационом взрослым жителям села Метлино, рассчитанное двумя методами

Год	Уровни поступления ^{90}Sr с рационом, с.е. $\times 10^3$		
	по содержанию ^{90}Sr в выделениях	по содержанию ^{90}Sr в скелете детей	усредненное значение поступления с сут. рационом
1950	-	-	86.25
1951	172.50	-	172.50
1952	13.00	-	13.00
1953	12.00	-	12.00
1954	5.00	1.40	3.20
1955	1.90	3.10	2.50
1956	0.65	3.20	1.90
1957	-	0.77	0.77
1958	-	-	0.63*
1959	-	-	0.49*
1960	-	-	0.35*
1961	-	0.21	0.21
1962	-	-	0.10**
1963	-	-	0.10**
1964	-	-	0.14**
1965	-	-	0.12**
1966	-	-	0.13**
1967	-	-	0.11**
1968	-	-	0.10**
1969	-	-	0.09**
1970	-	-	0.09**
1971	-	-	0.08**

Примечания:

* - линейная интерполяция по данным 1957 и 1961 гг.;

жизни происходит с фактором дискриминации стронция по отношению к кальцию, равным 2. По результатам собственных исследований содержание ^{90}Sr в различных костях мертворожденных детей в Озерске колебалось в 1963-1965 гг. от 5.1 до 5.7 с.е. при 14 - 20 кратном превышении содержания радионуклида в рационе матери - от 73 до 140 с.е. [8]; в 1982 г. уровни поступления ^{90}Sr с пищевыми продуктами примерно в 20 раз превосходили накопление в скелете у мертворожденных детей [3]. Это совпадает с данными А.Н. Мареев [15] и J.L. Kulp [17], установившими, что накопление радионуклида глобального происхождения в костях мертворожденных детей в Москве и Нью-Йорке (в с.е.) было в 12 раз меньше по сравнению с содержанием в рационе. В данной работе показано, что накопление ^{90}Sr в скелете новорожденного составляет 1/13 от уровня ^{90}Sr в стронциевых единицах в диете матери.

Если принять следующие обозначения:

Q_p - содержание ^{90}Sr в организме у новорожденных детей (с.е.);

Q_m - содержание ^{90}Sr в рационе матери (с.е.)

ΔCa - прирост содержания кальция в скелете (в граммах) у детей в постнатальный период [18], то будет иметь место следующее соотношение:

$$Q_p = \frac{Q_m \cdot 28 \cdot \frac{1}{13} + \frac{1}{2} \cdot Q_m \cdot \Delta Ca}{28 + \Delta Ca}, \quad (3)$$

где: 28 - содержание Ca в скелете новорожденного, в граммах [18].

Отсюда, после преобразований можно получить рабочую формулу для расчета количества ^{90}Sr в суточном рационе Q_m (с.е.) для взрослых жителей села Метлино:

$$Q_m = \frac{Q_{Sr}}{28 \cdot \frac{1}{13} + \frac{\Delta Ca}{2}}, \quad (4)$$

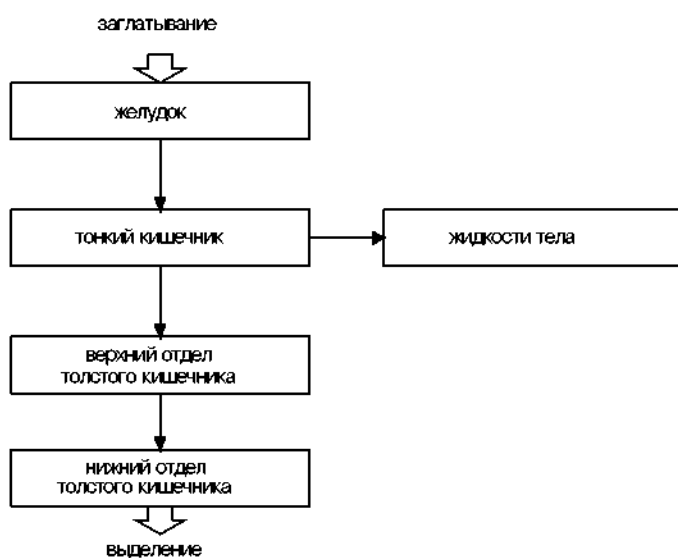


Рис.4. Структурная схема камерной модели для описания процессов выведения ⁹⁰Sr из разных отделов ЖКТ у взрослого человека

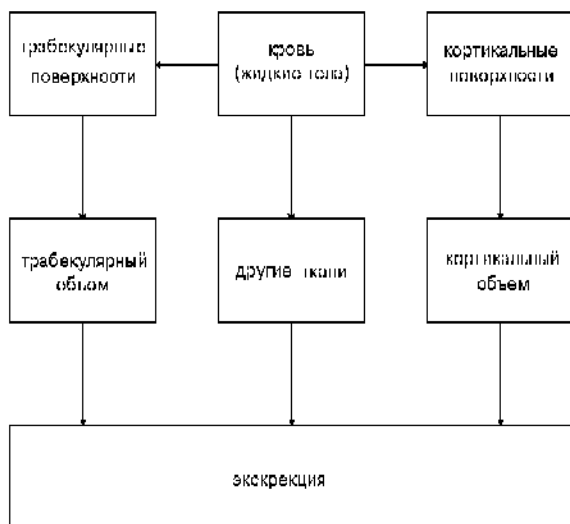


Рис.5. Структурная схема камерной модели, описывающей процессы обмена стронция в экстрапульмональном отделе взрослого человека

Таблица 5
Параметры дозиметрической модели ЖКТ

№	Отдел ЖКТ	Константа выведения, сутки ⁻¹
1	Желудок	24.0
2	Тонкий кишечник	6.0
3	Верхний отдел толстого кишечника	1.8
4	Нижний отдел толстого кишечника	1.0

Таблица 6
Параметры обмена стронция в модели экстрапульмонального отдела взрослого человека

№	Отдел	Константа
1	Фракция на кортикальные поверхности	0.06
2	Фракция на трабекулярные поверхности	0.09
3	Фракция на другие ткани	0.85
4	Удаление из трабекулярной кости (год ⁻¹)	0.18
5	Удаление из кортикальной кости (год ⁻¹)	0.03

где: Q^{Sr} - содержание ⁹⁰Sr (в нанокюри) в организме ребенка.

Результаты расчета содержания ⁹⁰Sr в суточном рационе, полученные двумя способами, представлены в таблице 4. При расчете был сделан ряд допущений о характере

поступления во времени в организм жителей села Метлино (см. примечания).

Из таблицы 4 следует, что отмечается удовлетворительное совпадение результатов, полученных двумя независимыми методами в 1954-1956 гг. Это обстоятельство позволяет надеяться на правильное представление о динамике уровней поступления ^{90}Sr с рационом в организм жителей Метлино в период 1951-1961 гг. Содержание в рационе в 1962-1971 гг. взято по данным СЭС г.Озерска [3,16], т.к. в указанный период времени переселенные из Метлино люди проживали в этом городе. О содержании радионуклида в рационе в 1950 году можно строить лишь предположения. Поскольку в этот год никаких мероприятий, направленных на улучшение радиационной обстановки, не проводилось, мы предположили, что содержание в рационе возрастало линейно от 0 в 1949 г до 172.5 тысяч с.е. в 1951 году.

3. РАСЧЕТ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ СТРОНЦИЯ У ВЗРОСЛЫХ ЖИТЕЛЕЙ СЕЛА МЕТЛИНО

Восстановленные данные по ритму поступления радионуклида с рационом были использованы для прогностических оценок доз внутреннего облучения взрослых жителей села Метлино от $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. Расчеты уровней облучения производили в рамках модели желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) МКРЗ-30 [12] и модели МКРЗ-56, описывающей обмен стронция в [13]. Структурные схемы этих моделей, описывающие процессы выведения из камер ЖКТ в жидкости тела, с принятыми обозначениями приведены на рисунках 4 и 5, параметры обмена - в таблицах 5 и 6. Принимали, что коэффициент всасывания соединений стронция из ЖКТ составляет 0.3 [13] с константой выведения из тонкого кишечника в жидкости тела $\lambda=2.5714$ сутки $^{-1}$.

Согласно МКРЗ-30 кинетика процессов обмена ^{90}Sr в организме человека описывается

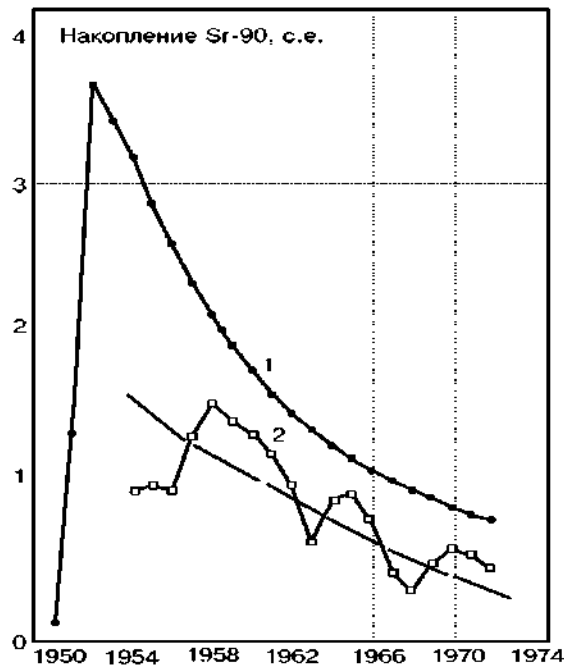


Рис.6. Расчетные и фактические уровни накопления ^{90}Sr в организме у взрослых жителей села Метлино

1 -расчет по поступлению с рационом
2 -посмертное содержание

системой линейных дифференциальных уравнений первого порядка; при этом предполагается, что транспорт и скорости обмена его дочернего нуклида - ^{90}Y - аналогичны поведению материнского нуклида. Решая систему уравнений методом, описанным Birchall [19,20], получаем содержание активности вещества и количество ядерных превращений в j-той камере в любой момент времени t после начала поступления радионуклида в организм. Суммарное количество активности в камерах характеризует величину отложения во всем организме.

На рисунке 6 представлена динамика расчетных величин накопления ^{90}Sr в организме (кривая 1), полученных по модели с учетом меняющегося уровня годового поступления радионуклида с рационом,

Ожидаемые дозы, сЗв

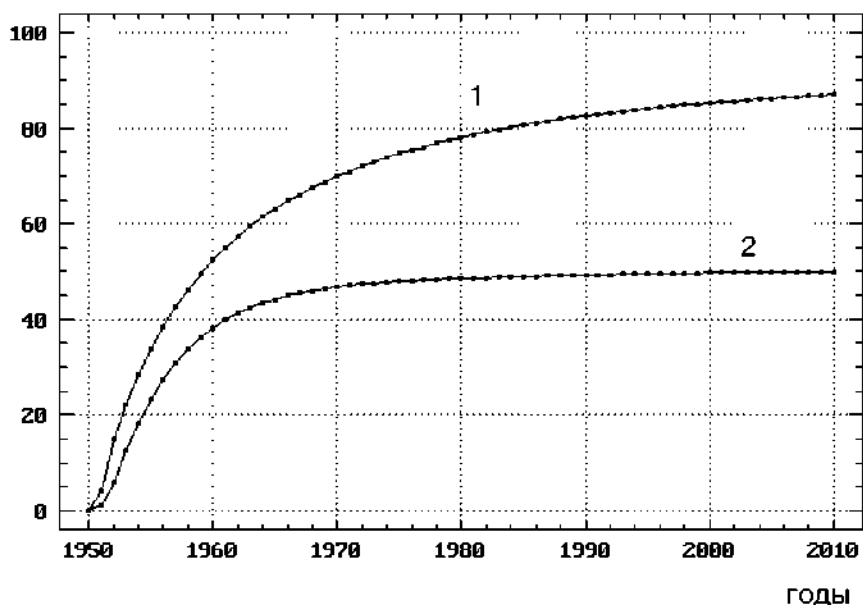


Рис.7. Динамика уровней облучения от $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ взрослых жителей села Метлино
 1 - на клетки костной поверхности
 2 - на красный костный мозг

усредненная величина которого приведена в последней графе таблице 4. На этом рисунке приведены также результаты посмертных исследований содержания ^{90}Sr в организме, усредненные по методу скользящей средней (кривая 2). При таком рассмотрении посмертных данных обнаруженный на рисунке 3 тренд к снижению уровня накопления в конце 50-х годов проявляется более выражено.

Сравнение кривых на рисунке 6 показывает, что рассчитанное по рациону содержание в организме во все сроки превышает фактическое значение. Указанное расхождение, по-видимому, является следствием влияния входных данных, использованных при расчете содержания, а именно: неточного знания динамики уровня

поступления и вариабельности индивидуальных параметров обмена. Большая неопределенность точности измерений бета-активности в пробах экскретов и образцах костей в первые годы исследований, когда чувствительность радиометрической аппаратуры, имевшейся в нашем распоряжении, была низкой, и допущения при анализе данных могли повлиять на расчетные оценки уровней поступления и накопления в организме.

Накопленная за время облучения доза пропорциональна площади, заключенной между графиком, описывающим накопление-выведение (кривые 1 и 2) и осью абсцисс (рис.6). Полагая, что данные посмертных определений содержания ^{90}Sr в скелете более правильно отражают динамику формирования

средней популяционной дозы на клетки костной поверхности и красный костный мозг, значения дозовых нагрузок, рассчитанные по поступлению с рационом, умножали на отношение площадей под графиками, равное 0.54.

Динамика скорректированных таким образом уровней облучения взрослых жителей села Метлино от ^{90}Sr + ^{90}Y в скелете представлена на рисунке 7. Оценки свидетельствуют, что эквивалентная доза облучения клеток костной поверхности (КП) и красного костного мозга (КМ) к 70-летнему возрасту у бывших жителей Метлино достигнет 85.3 сЗв и соответственно 49.7 сЗв.

Вклад дозы облучения от другого изотопа стронция - короткоживущего ^{89}Sr , метаболизм которого не отличается от обмена ^{90}Sr в организме человека, будет значительно ниже. Расчеты показали, что при условии поступления ^{89}Sr с рационом в 1950-1951 гг. в таких же количествах (по активности), как ^{90}Sr , эквивалентная доза облучения ^{89}Sr КП к 70-летнему возрасту составит 5.2 сЗв, а для КМ - 0.77 сЗв. Таким образом, суммарная дозовая нагрузка от изотопов ^{90}Sr + ^{90}Y и ^{89}Sr на КП у взрослых жителей села Метлино, у которых формирование скелета к началу 50-годов уже завершилось, будет составлять к 2000 году 90.5 сЗв, а на КМ - 50.5 сЗв.

Эффективная доза облучения от указанных изотопов достигнет к этому сроку 7.0 сЗв, что на два порядка превысит уровни облучения населения Озерска, которые по нашим оценкам составят 0.053 сЗв [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, неконтролируемые радиоактивные сбросы в реку Теча в первые годы эксплуатации ПО "Маяк", привели к высоким уровням поступления радионуклидов с пищевым рационом и облучению населения села Метлино в высоких дозах от радионуклидов стронция. Среднее содержание ^{90}Sr , обнаруженное посмертно у взрослых

жителей, колебалось в 1954-1971 гг. в пределах 26 - 7400 с.е. с выраженной тенденцией к снижению накопления с начала 60-х годов. Ритм поступления ^{90}Sr , восстановленный по результатам прижизненных измерений содержания в экскретах и посмертной радиометрии образцов костей, свидетельствует о высоких уровнях поступления радионуклида в ранние годы, 1950-1953 гг., в пределах 0.3-4.5 кБк в сутки, что отвечало 10-140 ППП (ППП=0.32 мкКи/год или 32 Бк/сут [13]). Консервативная оценка эффективной дозы облучения от изотопов ^{90}Sr + ^{90}Y и ^{89}Sr у жителей Метлино составит к 70-летнему возрасту 7.0 сЗв, что на два порядка больше по сравнению с соответствующей оценкой, полученной нами для населения города Озерска.

ЛИТЕРАТУРА

1. К.Г. Сулова, В.Ф. Хохряков. Накопление Sr-90, Cs-137 и Pu-239 в организме лиц, проживающих в зоне наблюдения. // Спецбюллетень.- 1979.- №2.- С.65-72.
2. В.Ф.Хохряков, К.Г.Сулова. Доза облучения различных костей человека при накоплении одной стронциевой единицы. // Мед.радиология.-1969.- №1.- С.15- 18.
3. Сулова К.Г. Динамика накопления некоторых долгоживущих радионуклидов и прогноз уровней внутреннего облучения населения зоны наблюдения радиохимического предприятия: Дисс. канд. биол. наук.- М.: 1966. - 224 с.
4. Разработка системы ретроспективной оценки доз внешнего и внутреннего облучения жителей г.Челябинска-65. Отчет/Фиб-1, Хохряков В.Ф., Дрожко Е.Г. и др.,Челябинск, 1992 г.
5. Влияние отходов предприятий радиохимической промышленности на санитарные условия жизни и здоровье населения: Отчет / ИБФ МЗ СССР, Марей А.Н., Семиглазова Е.Д., Иванов В.А. и др., Москва, 1954 г.

6. Оценка радиационно-гигиенической обстановки за период 1950-1963 гг в районе рек, подвергшихся загрязнению продуктами деления: Отчет / ИБФ МЗ СССР, Сауров М.М., Москва, 1967 г.
7. К вопросу об оценке дозы облучения костной ткани у жителей села М.: Отчет / Фиб-1, Хохряков В.Ф., Ерохин Р.А. и др. Челябинск, 1968 г.
8. Уровень накопления стронция-90 в костной ткани людей, проживавших в городе О.: Отчет / Фиб-1, Хохряков В.Ф., Плотникова Л.А., Одинцов Е.В. и др., Челябинск, 1966 г.
9. Голутвина М.М., Казакова Т.А., Николаев Ю.И. и др. Новый быстрый метод определения содержания стронция-90 в костях. // Мед.радиология.-1962. - №1- С.62-67.
10. Краев А.В. Анатомия человека, в 2 т. Т.1.- 1978.- 495 с.
11. Человек. Медико-биологические данные: Публикация N23 МКРЗ.-М.: Атомиздат, 1977.-495 с.
12. Пределы поступления радионуклидов для работающих с ионизирующим излучением. Публикация 30 МКРЗ. Часть 1: Пер. с англ./ Под ред. Рамзаева П.В., Моисеева А.А.- М.: Атомиздат, 1982. - 135 с.
13. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1, Part 2. ICRP Publication 56. Pergamon Press. Oxford, 1989.- 139p
14. Нормы радиационной безопасности НРБ -76/87. М.: Энергоатомиздат, 1988.-160 с.
15. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека / Под ред. А.Н.Мареев.- М.: Атомиздат, 1980.- 188 с.
16. Содержание стронция-90 в диете жителей города О. в 1962-1965. Отчет / МСО-71, Мельников Ю.И., Плотников М.Ф.и др., Челябинск, 1972 г.
17. Kulp J.L., Schubert A.R. Strontium-90 in Man. // Science.- 1962.- V.136.- № 3516.- p.619-632.
18. Mitchell H.H., Hamilton T.S., Steggerda F.R. et.al. The chemical composition of the adult human body and its bearing on the biochemistry of growth. //J.Biol.Chem.- 1945.- V.158.- №3.- p.625-634.
19. Беллман Р. Введение в теорию матриц. М.: Наука.- 1976.- 352 с.
20. Birchall A., James A.C. A microcomputer algorithm for solving first order compartmental models involving recycling.// Health Phys.- 1989.- V.56.- p.389-397.