

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ГЛОБАЛЬНОГО ЦЕЗИЯ-137
ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ПО
ПИЩЕВЫМ ЦЕПОЧКАМ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

А.А.Моисеев, И.Е. Мухин, Р.И. Погодин
З.Г. Антропова, Г.В. Филимонов

Выпадающий на поверхность земли с радиоактивными осадками цезий-137, подобно стронцию-90, поступает в растения по двум путям: в результате прямого поглощения его всеми органами наземной части растения и при корневом усвоении из почвы.

Вследствие этого количество радиоизотопа, усваиваемое растением, зависит от ряда факторов. На эту величину влияют количество осадков, размеры частиц, биологические особенности растений, фаза их развития, - с одной стороны, и специфичность почвенных условий - с другой.

При радиоактивных выпадениях из атмосферы растительность загрязняется по обоим путям. Для оценки значимости каждого из них Рассел предложил уравнение, учитывающее как непосредственное листовое поглощение цезия-137, так и корневое усвоение его из почвы [16]. Им было показано, что основным путем загрязнения растительности цезием-137 является листовое поглощение этого радиоактивного осколка. Однако в условиях снижения количества радиоактивных осадков возрастает роль корневого канала накопления цезия-137 растениями из кумулятивных запасов этих продуктов деления в почве.

Вследствие этого для проведения долгосрочных прогнозов уровней загрязнения цезием-137 продуктов сельскохозяйственного производства, а также уровней накопления данного нуклида в организме людей, необходимо иметь данные о закономерностях миграции цезия-137 по цепочке почва-растение-животное-человек. При этом необходимо учитывать различные почвенные и климатические условия, характер распределения изотопа в почвенном профиле и ряд других факторов.

Как было показано многими исследователями, стронций-90 и цезий-137 примерно одинаково интенсивно поступают из водных растворов в растения. Но при усвоении из почвы вследствие различий в сорбции в отношении стронция-90 и цезия-137 уровень загрязнения растений этими осколками деления неодинаков. В то время как радиостронций адсорбируется почвой в основном по типу необменного поглощения, большая часть цезия-137 в почвах вступает в необратимые кристаллохимические реакции [1,2,3]. Ввиду этого миграцион-

ная способность радиоцезия, а следовательно, и поступление его в растения через корневую систему будет значительно ниже, чем поступление стронция-90 [1,4]. Так, по данным Миддлетона, корневое поглощение цезия-137 растительностью в 4-10 раз меньше, чем поглощение стронция-90. Кроме того, большое значение при усвоении растениями цезия-137 имеет физикохимический и механический состав почвы. Накопление данного нуклида в зависимости от варьирования этих факторов может изменяться в 5-10 раз. Не исключено, что в почвах, содержащих мало глинистых минералов и обменного калия, переход цезия-137 в пищевую цепочку будет сравнительно высоким, соизмеримым с переходом стронция-90 и даже выше.

Более того, рядом исследований, направленных на изучение диффузии этих изотопов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, было показано, что подвижность цезия-137 и стронция-90 в большом интервале влажности (от 5 до 25% по объему) примерно одинакова [5, 6]. Все эти факты говорят о том, что миграционная способность цезия-137 сильно варьирует в зависимости от типа почв. Как показали многочисленные исследования, основными факторами, влияющими на переход радиоактивного изотопа цезия в пищевую цепочку по корневому пути, являются содержание слоистых и слюдяных минералов, обменного калия и стабильного цезия в почвах [9,10,11,12].

Следует отметить, что основная информация о поведении долгоживущих продуктов деления стронция-90 и цезия-137 в почвах и в системе почва-растение получена, как правило, в лабораторных условиях путем внесения этих изотопов в почву в виде различных соединений.

Однако в естественных условиях влияние привходящих факторов весьма существенно и может коренным образом изменить картину миграции стронция-90 и цезия-137, полученную в лабораторных условиях [7,8]. Вследствие этого целью настоящей работы явилось изучение миграции цезия-137 из дерново-подзолистых песчаных почв по пищевым цепочкам в организм человека в натуральных условиях.

Район исследования

Для исследования в Черниговской области Украинской ССР был выбран Городнянский район (районный центр - г.Городня; географическое положение - примерно 51° сев.широты, высота над уровнем моря - 140 м.), большая часть территории которого представлена

маломощными дерново-подзолистыми песчаными почвами. Основное направление сельского хозяйства в районе - мясо-молочное животноводство. Незначительная часть пахотных земель используется для производства зерна. Сенокосные угодья располагаются на пониженных элементах рельефа, чаще всего заболоченных. Большая часть территории района занята лесами, под которыми развиваются подзолистые почвы. Среднегодовое количество выпадающих атмосферных осадков колеблется от 413 до 755 мм. Данные, характеризующие количество атмосферных осадков, выпавших в 1963-1966 гг. в данном районе, приведены в табл. 1.

Городнянский район не отличается от других районов средних широт Северного полушария по количеству радиоактивных выпадений. Среднее содержание цезия-137 в почве, согласно полученным нами данным, составляет примерно 110 мкюри/км². Эта величина очень близка к данным, характеризующим суммарное количество цезия-137, содержащееся в верхнем слое почв Полесья (104-112 мкюри/км²). Некоторые данные о динамике выпадения цезия-137 в районе г. Чернигова в 1962-1966 гг. представлены в табл. 2.

Методы исследования

В данном районе в ноябре 1966 г. были отобраны для исследования пробы почвы, сена, зерновых, молока, мяса, целых рационов жителей двух населенных пунктов и с помощью переносного одноканального гамма-спектрометра типа "Север" (весом 13,8 кг) измерялось содержание цезия-137 в организме людей различных возрастных групп.

Пробы почвы отбирались с различных сельскохозяйственных угодий. На целинных участках (сенокосы, пастбища) почва отбиралась с трех разрезов с учетом мощности генетических горизонтов до глубины 21 см. Вес отдельной пробы составлял от 1 до 4 кг. На пахотных угодьях пробы отбирались на глубину пахотного слоя (0-20 см). Отбор проб сена и соломы (до 3 кг) производился непосредственно на сенокосных и пахотных угодьях. Пробы силоса (до 5 кг) отбирались в силосной яме. Пробы молока (10 л), мяса (3 кг) и зерна (3 кг) соответственно отбирались на молочных фермах, пищекомбинате и в зерновых амбарах.

Все пробы перед исследованием объединялись (по данному участку района) для получения усредненных данных, исключающих возможные случайные ошибки за счет отбора непредставительной для данного участка пробы. Определение концентрации цезия-137 в исследуемых

Количество атмосферных осадков в Городнянском районе
в 1962-1966 гг.

Месяцы годы	Количество осадков, мм												Сум- марно за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1963 г.	31	57	23	11	35	51	42	61	27	8	41	26	413
1964 г.	18	19	65	31	28	16	114	89	9	45	29	62	525
1965 г.	32	19	28	30	44	94	95	115	13	21	40	54	587
1966 г.	102	55	76	32	84	56	78	30	26	34	92	90	755

Таблица 2

Плотность выпадения и содержание цезия-137 в почве
изучаемого района (вблизи г.Чернигова)

Кварталы годы	Плотность выпадения цезия-137, мкюри/км ²					Содержание цезия-137 в почве к концу года, мкюри/км ² х)
	I	II	III	IV	за год	
1962	-	-	-	-	26,5	57,5
1963	7,4	16,4	15,4	5,7	44,9	100,0
1964	3,5	10,0	8,6	3,1	25,2	123,0
1965	2,8	4,9	3,1	2,0	12,8	133,0
1966	0,8	3,7	1,7	1,1	7,3	137,0

х) Принимается, что к середине 1961 года в почве по данным Е.Р.Hardy, Л.Т.Alexander и др. (цитируется по [7]) содержалось 32,4 мкюри цезия-137 на кв.км.
Данные о содержании цезия-137 в почве приведены с учетом поправки на радиоактивный распад изотопа.

пробах проводилось по общепринятым методам: радиохимически (сурьмяно-иодидная методика) и гамма-спектрометрически. Относительная ошибка измерений цезия-137 в пробах как радиохимически, так и гамма-спектрометрическим методом не превышает $\pm 10\%$. Содержание в пробах стабильных изотопов цезия, калия и кальция определялось с помощью метода пламенной фотометрии.

Результаты исследований и их обсуждение

Данные, характеризующие содержание и распределение цезия-137 в почве, представлены в табл.3. Повышенное содержание цезия-137 в целинных почвах по сравнению с пахотными, очевидно, может быть объяснено наличием горизонтальной миграции и концентрацией его в пониженных элементах рельефа, на которых находятся сенокосные угодья.

В табл.4 приведены результаты исследования механического состава дерново-подзолистых песчаных почв, отобранных в районе сел Невкля и Моложава. Из приведенных в табл. 4 данных видно, что преобладающей фракцией в исследуемых почвах является крупный песок. Физико-химические свойства этих почв (табл.5) своеобразны и значительно отличаются от свойств почв других типов. Эти особенности заключаются прежде всего в том, что песчаные почвы обладают низкой поглощающей способностью. В соответствии с этим сумма обменных оснований в исследуемых почвах очень незначительна. Почвы очень бедны подвижным кальцием и калием, характеризуются низкой гидролитической кислотностью и небольшими величинами pH почвенного раствора.

Работами В.М. Клечковского, А.А.Титляновой и других исследователей [9,10,11] было установлено, что микроколичества цезия в почвах вступают в различные специфические необратимые реакции. Это обуславливает низкую подвижность элемента в почвах и вследствие этого сильно ограничивает поступление цезия-137 в последующие звенья пищевой цепи.

Способность цезия к прочной фиксации у различных типов почв различна: наибольшая отмечается у черноземов, наименьшая - у дерново-подзолистой почвы. Это явление связано с наличием в почвах вторичных слоистых и слюдяных минералов, способных к практически необменному закреплению цезия. В основу оценки подвижности указанного элемента в различных типах почв многими исследователями положен метод анализа сорбционно-десорбционных кривых [12]. В соответ-

Распределение цезия-137 в почвах

Населенный пункт	Почва	Слой, см	Концентрация цезия-137, пкюри/кг воздушно-сухого веса	
			гамма-спектрометр "Канал" цезий-137 ^{х)}	Радиохимический метод
Невкля	Пахотная	0-20	350	-
	Целинная	0-4	4200	2800
		4-16	600	500
		16-21	150	-
		0-21	4950	3300
Городня	Целинная	0-21	1910	420
Добрянка	Целинная	0-21	2400	870

^{х)} Дополнительные гамма-спектрометрические и радиохимические исследования показали, что в исследованных почвах содержатся торий в концентрации $6,7 \cdot 10^{-4}\%$ и радий-226 в концентрации 1700 пкюри/кг.

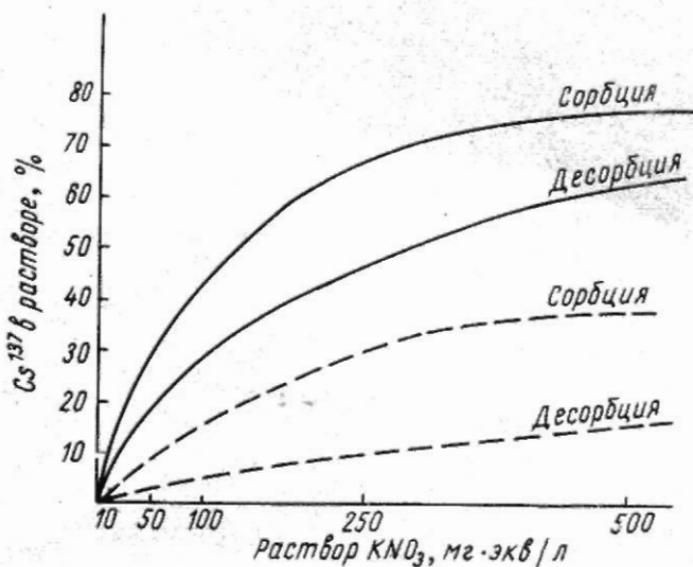
Механический состав почвы Городнянского района
(в районе сел Невкля и Коложава)

Глубина, см	Потери при обработке НСС, %%	Содержание фракций %% (размер частиц, в мкм)						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001 > 0,01	
<u>Целинная</u>								
0-4	3,4	42,0	53,7	0,62	0,20	0,05	0,05	96,3
4-16	0,6	53,0	44,2	0,04	0,04	0,02	0,10	99,2
16-21	0,7	33,5	64,5	0,70	0,30	0,20	0,10	98,7
<u>Пахотная</u>	4,2	23,5	70,8	0,92	0,15	0,26	0,12	95,3

Физико-химические свойства почв, отобранных в районе
сел Невкля и Моложава

Глубина, см	pH солевой вытяжки	Гумус, %	Кальций (обменный), г/кг	Калий (обменный), г/кг	Гидролитичес- кая кислот- ность, мг-экв/100 г	Степень насы- щенности ос- нованиями, %
Целинная						
0-4	6,8	10,5	3,4	0,12	5,8	65,0
4-16	6,0	2,0	1,2	0,02	2,4	65,5
16-21	5,8	1,9	2,2	0,05	1,9	58,0
Пахотная						
0-20	5,1	2,6	1,0	0,02	4,1	51,5

ствии с этим авторами был проведен лабораторный опыт по определению сорбции и десорбции цезия-137 в системе почв (наблюдаемого района) - раствор KNO_3 . Результаты этих исследований представлены на рисунке. Там для сравнения приведены данные А.А.Титляновой [10]. Из этих кривых видно, что исследуемые почвы обладают наименьшей способностью к необратимой фиксации цезия-137 и наибольшей подвижностью его в системе почва-раствор электролита. Причиной такой повышенной активности цезия-137 в исследуемых почвах может быть либо минимальное количество слоистых и слюдяных минералов, либо повышенное содержание в почвах стабильного цезия.



Сорбция и десорбция цезия-137 в системе почва-раствор KNO_3 . Сплошная кривая - для почв изучаемого района; пунктирная кривая - по данным А.А. Титляновой

На основании полученной авторами характеристики почвенного покрова, а также учитывая, что содержание стабильного цезия составляет примерно $10^{-4}\%$ для пахотных почв и $2 \cdot 10^{-4}\%$ для целинных почв (что ниже кларка цезия для земной коры $10^{-3}\%$), можно предположить, что основной причиной повышенной биологической миграции цезия-137

является низкое содержание в почве следящих минералов. В результате этого выпавший из атмосферы цезия-137 в основном вступает в обратимые ионообменные реакции в почвах, относительно бедных обменным калием, что и влечет за собой повышенный переход цезия-137 в растительный покров.

На основании полученной характеристики почв исследуемого района можно предположить, что коэффициент перехода цезия-137 в системе почва-растительность должен увеличиваться по сравнению с другими типами почв в 5-10 раз. Это следует из кривых, приведенных на рисунке, согласно которым содержание обменного цезия-137 в этих почвах составляет примерно 60-70% от его валового количества. В то же время по данным А.А.Титляновой [10] в изучаемых ее почвах процент обменного цезия-137 в среднем составил примерно 10-15% (наблюдаемый диапазон от 0,5 до 32%). Кроме того, на коэффициент перехода цезия-137 из почвы в растения заметное влияние оказывает и количество обменного калия в почве. В нашем случае содержание обменного калия сравнительно невелико (от 0,02 до 0,12 г/кг).

Результаты анализов растительности, отобранной в районе сел Невкля и Моложава (табл. 6), подтвердили этот вывод. Содержание цезия-137 в растительности, выращенной на этих почвах, оказалось значительно выше, чем в растительности из других районов как Черниговской области, так и ряда центральных областей страны.

Из данных, приведенных в табл.6, видно, что полученные авторами коэффициенты перехода цезия-137 из почвы в растения отличаются в 4-10 раз от средних значений, характерных для умеренных широт Северного полушария.

Для того, чтобы проследить дальнейшую миграцию цезия-137 по пищевой цепочке почва-растение-корова-человек, авторы изучили кормовой рацион мясо-молочного скота на 1966 г. в совхозе "Городнянский" (в селе Невкля) и проанализировали его составляющие. Полученные данные представлены в табл.7 и 8. Из приведенных в табл. 8 данных видно, что суточное поступление цезия-137 с рационом коровы в среднем составляло 32000 пкюри.

Для данных почв коэффициент перехода между уровнем загрязнения почвы цезием-137 и содержанием цезия-137 в растительности - отношение сено/почва равен

$$\frac{80 \text{ пкюри цезия-137/кг сена}}{\text{мкюри/км}^2}$$

Согласно расчетам, проведенным авторами по уравнению Расседа [16], величина этого коэффициента должна равняться 8,5, то есть

Содержание цезия-137 в пробах растительности

Проба	Населенный пункт	Удельная концентрация цезия-137, пкюри/кг воздушно-сухого веса			Коэффициент перехода ^{х)}	
		определенная		средняя	По нашим данным	по данным других авторов [14, 15]
		γ -спектрометрически	радиохимически			
Сено	с. Невкля	9200	11200	10200	5,0	0,4-0,8
Сено	с. Невкля	7700	10600	9100	4,5	0,4-0,8
Сено	с. Моложава	6800	7700	7200	3,6	0,4-0,8
Зерно	с. Невкля	300	240	270	0,8	0,06

^{х)} При расчете коэффициента перехода цезия-137 из почвы в растительность использовалась та часть активности, которая содержится в слое почвы 0-16 см, так как глубина питаемого слоя обычно не превышает 15 см [13].

Кормовой рацион мясо-молочного скота (с.Невкля)

Животные	Количество потребляемого корма, кг/сутки				
	сено	солома	сочные корма (картофель)	барда	силос(люпин)
Коровы	2,5	3,0	3,0	30	20
Нетели	2,0	3,0	2,0	-	20

Содержание цезия-137 в продуктах кормового рациона
мясо-молочного скота (с.Невкля)

Продукт	Среднее содержание це- зия-137, пкюри/кг воз- душно-сухого веса	Вклад в рацион коровы, пкюри/сутки	Вклад в рацион нетели, пкюри/сутки
Сено	8800	22000	17600
Солома	650	1950	1950
Барда	30	900	-
Силос	350	7000	7000
Картофель	30	90	60
Итого:	-	31900	26600

примерно в 9,5 раз меньше фактической полученной авторами величины.

Для оценки степени перехода цезия-137 в последующее звено изучаемой пищевой цепочки - продукты питания человека проводилось определение цезия-137 в молоке и мясе (табл.9) и целых рационах (табл. 10).

Из приведенных в табл. 9 данных видно, что коэффициент перехода цезия-137 из рациона коровы в молоко и в мясо в изучаемом районе не отличается от аналогичных показателей, полученных другими авторами [17,18,19].

На основании приведенных в табл.8 и 9 данных рассчитаны средние значения коэффициентов перехода:

$$\text{молоко/сено} = 0,035 \frac{\text{пкюри цезия-137/л молока}}{\text{пкюри цезия-137/кг сена}} ;$$

$$\text{молоко/почва} = 2,8 \frac{\text{пкюри цезия-137/л молока}}{\text{мкюри цезия-137/км}^2} ;$$

$$\text{мясо/сено} = 0,13 \frac{\text{пкюри цезия-137/кг мяса}}{\text{пкюри цезия-137/кг сена}} ;$$

$$\text{мясо/почва} = 10 \frac{\text{пкюри цезия-137/кг мяса}}{\text{мкюри цезия-137/км}^2} .$$

Для оценки уровней накопления цезия-137 в организме людей, проживающих в данном районе, и формируемых этим изотопом тканевых доз с помощью переносного одноканального гамма-спектрометра типа "Север"[20] было измерено содержание цезия-137 у 229 взрослых людей (мужчин и женщин) и детей-школьников (в возрасте от 9 до 16 лет), а также у 62 человека контрольной группы (жители г.Чернигова).

Для сравнения в табл.10 приведены те же данные о среднем содержании цезия-137 в суточном рационе населения УССР в этот же период времени.

Сводные данные, характеризующие среднее содержание цезия-137 в организме жителей обследованных населенных пунктов и наибольшие измеренные величины цезиевой нагрузки, приведены в табл. II.

Как следует из табл. II, среднее содержание цезия-137 в

Среднее содержание цезия-137 в молоке и в мясе

Пищевой продукт	Населенный пункт	Содержание цезия-137, пкюри/л или кг найденное			Коэффициент перехода, % ^{х)}	
		методом гамма-методом спектрометрии	методом радиохимии	Средняя концентрация	по данным авторов	по данным других авторов [17,18,19]
Молоко	с.Невкля	295	285	290	0,91	1,0
Молоко	с.Моложава	300	340	320	1,01	1,0
Мясо (говядина)	с.Невкля	1000	1300	1150	3,6	4,0

^{х)} Коэффициент перехода выражается в виде доли изотопа (в %), выделяемой коровой с 1 л молока или содержащегося в 1 кг мяса от общей активности изотопа, поступающей в желудочно-кишечный тракт коровы в сутки.

организме взрослых людей, проживающих в этом районе (жители сел Невкля и Моложава), составляет 55 нкюри, достигая у отдельных лиц величины в два раза большей среднего значения (110 нкюри). Эта средняя цезиевая нагрузка в 8,5 - 14 раза статистически достоверно выше, чем у жителей других районов Черниговской области (г.Чернигов, 5 нкюри во всем теле) и г.Москвы (8,5 нкюри во всем теле) [21].

Годовые дозы внутреннего облучения жителей сел Невкля и Моложава за счет инкорпорированного цезия-137 (дозы на гонады) ко-

Таблица 10

Содержание цезия-137 в рационе жителей
изучаемого района

Населенный пункт	Содержание цезия-137 в суточном рационе		Среднее
	γ-спектро- метрич.мет.	найденное !радиохими- !ческий мет.	
В среднем по СССР	-	-	60-85
г. Чернигов (школа-интернат)	60	40	50
г.Городня (школа-интернат)	120	140	130
село Невкля	-	-	500 ^{x)}

x) Для с.Неvkля содержание цезия-137 в рационе рассчитано на основании данных опроса жителей о характере их питания и данных о содержании цезия-137 в основных продуктах питания (молоке, мясе и зерне).

Сводные данные о содержании цезия-137 в организме
жителей Черниговской области

Населенный пункт	Взрослое население			Детское население (5-16 лет)		
	количество во обследо- ванных	Содержание цезия-137 во всем теле, нкюри		количество во обследо- ванных	Содержание цезия-137 во всем теле, нкюри	
		среднее	максимальное		среднее	максимальное
с. Невкля	17	55	110	44	20	50
с. Моложава	13	55	85	50	30	55
г. Городня	39	15	45	66	15	45
г. Чернигов	-	-	-	62	5	23

лебались от 3 до 17 мрад/год. При расчетах принималось, что ~~10~~ нкюри цезия-137, содержащееся во всем теле "стандартного человека", создает среднюю тканевую дозу 10 мрад/год 23.

Средние коэффициенты перехода для звеньев - человек/почва, человек/молоко и человек/мясо для изучаемого района равны соответственно:

$$\text{человек/почва} = 0,5 \frac{\text{нкюри цезия-137/все тело}}{\text{мкюри цезия-137/км}^2}$$

$$\text{человек/молоко} = 0,18 \frac{\text{нкюри цезия-137/все тело}}{\text{пкюри цезия-137/л.молока}}$$

Выводы

1. При миграции цезия-137 из дерново-подзолистых песчаных почв по пищевым цепочкам отмечается повышенное (по сравнению с другими почвами) содержание цезия-137 в растительности, в продуктах сельскохозяйственного производства (мясе и молоке) и в организме людей, проживающих в этом районе.

2. Для изучаемого района (для данного периода времени) средние коэффициенты перехода равны соответственно:

$$\text{сено/почва} = 80 \frac{\text{пкюри цезия-137/кг сена}}{\text{мкюри/км}^2};$$

$$\text{молоко/почва} = 2,8 \frac{\text{пкюри цезия-137/л молока}}{\text{мкюри/км}^2};$$

$$\text{мясо/почва} = 10 \frac{\text{пкюри цезия-137/кг мяса}}{\text{мкюри/км}^2};$$

$$\text{молоко/сено} = 0,035 \frac{\text{пкюри цезия-137/л молока}}{\text{пкюри цезия-137/кг сена}};$$

$$\text{мясо/сено} = 0,13 \frac{\text{пкюри цезия-137/кг мяса}}{\text{пкюри цезия-137/кг сена}};$$

$$\text{человек/почва} = 0,5 \frac{\text{нкюри цезия-137/все тело}}{\text{мкюри/км}^2};$$

$$\text{человек/молоко} = 0,18 \frac{\text{нкюри цезия-137/все тело}}{\text{пкюри цезия-137/л молока}};$$

$$\text{человек/мясо} = 0,048 \frac{\text{нкюри цезия-137/все тело}}{\text{пкюри цезия-137/кг мяса}}.$$

3. Повышенное содержание цезия-137 в звеньях пищевой цепи — растительность — продукты животноводства — человек обусловлено только специфическим составом почв данного района, слабо фиксирующих цезий-137, выпадающий с радиоактивными осадками.

4. Среднее содержание цезия-137 в организме взрослых людей, проживающих в этих районах, равно 55 нкюри на все тело. У одного обследованного мужчины содержание цезия-137 было 110 нкюри. Дозы внутреннего облучения взрослого населения изучаемого района за счет инкорпорированного цезия-137 (доза на гонады) колебались от 3 до 17 мрад/год, в среднем составляя 8 - 10 мрад/год.

Литература

1. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. No14 (A/6314), 1966.
2. Jacobs D.G. Sorption of caesium by Conasaugue Shale. Health Phys., 4, No.2, pp 157-163 (1960).
3. Wijk H.F. van, Braams R. Incorporation of caesium-137 from nuclear debris into the biosphere. Nature, 188, No.4754, pp.951-952 (1960).
4. Johnson J.S. et al. Transfer of fallout caesium-137 from soil to dairy cattle feeds. Soil Sci.Soc.Am.Proc., 30, No.3, pp.416-417, (1966).
5. Прохоров В.М., Чай-дянь-ин. Диффузия цезия-137 в почве. "Радиохимия". № 5, 639-642 (1963).
6. Прохоров В.М. - Диффузия некоторых радиоактивных продуктов деления в почвах. Информационный бюллетень АН СССР "Биология", № 9, 46-51 (1966).
7. Павлоцкая Ф.И., Зацепина Л.Н., Тюржанова Э.Б., Баранов В.И. К вопросу об изучении форм поступления и нахождения в почвах некоторых продуктов деления. Информационный бюллетень АН СССР "Биология", № 9, 3-9 (1966).
8. Махонько К.П., Чумичев В.Б. Вертикальная миграция основных продуктов деления в почве. Информационный бюллетень АН СССР "Биология", № 9, 52-55 (1966).
9. Клечковский В.М. и др. Сорбция микроколичеств стронция и кальция в почвах. II Международная конференция по мирному использованию атомной энергии, 1958.
10. Титлянова А.А., Тимофеева Н.А. Сорбция радиоактивных изотопов почвой. Сб. работ лаборатории биофизики, Свердловск (1962).

11. Nishita H. et al. Influence of K and Cs on release of Cs-137 from three soils. Soil. Science, 89, No.3, (1960).
12. Кокотов Д.А., Вилькен С.Р., Попова Р.Ф. Исследование десорбции микроколичеств цезия-137, сорбированного почвами, глинами и слюдами. Информационный бюллетень АН СССР "Биологга", № 9, 39-46 (1966).
13. Семенова-Тяньшанская А.М. Динамика степной растительности. Издательство "Наука" (1966).
14. Гулякин И.В., Единцева Е.В. Радиоактивные продукты деления в почве и растениях. Москва, Атомиздат (1962).
15. Nishita H. et al. Uptake of Radioactive Fission Products by Crop Plants. J. Agric. and Food Chem., 9, No.2, (1961).
16. Bartlett B.O. and Rassel R.S. Prediction of future levels of long-lived fission products in milk. Nature, Vol.209, No.5028 (1966).
17. Garner R.J. Environmental Contamination and Grazing Animals. Health Physics, Vol.9, No.6, (1963).
18. Garner R.J. An Assessment of the Quantities of Fission Products Likely to be Found in Milk in the Event of Aerial Contamination of Agricultural Land. Nature, Vol.186, No.4730 (1960).
19. Watson E.C. et al. Environmental Radioactive Contamination as a Factor in Nuclear-Facility Site Selection. In Siting of Reactors and Nuclear Research Centres. Vienna, 1963.
20. Комплекс установок для прижизненного измерения радиоактивности тела человека. II Symposium on Health Physics. Pecs, Hungary, September, 26-30, 1966.
21. Марей А.Н., Столяров В.П., Стяжкин В.М., Герасимова М.П. Цезий-137 в организме жителей г.Москвы, Атомиздат (1967).
22. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. A/5216 (1962).